



Penyaringan Air Limbah Industri Kelapa Sawit Menggunakan Membran Berbasis Zeolit-Silika untuk Menurunkan Tingkat Kebutuhan Oksigen (BOD)¹

Industrial Palm Oil Wastewater Filtration Using Zeolite-Silica Based Membrane to Reduce Biochemical Oxygen Demand (BOD) Levels

Tika Kumala Sari^{a,2}

Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
Jl. Kalimantan No. 37, Jember, 68121, Indonesia

ABSTRAK

Industri kelapa sawit di Indonesia menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah cairnya yang memiliki kandungan BOD tinggi. Hal ini mengharuskan adanya proses pengolahan sebelum limbah tersebut dialirkan ke badan air. Salah satu solusi yang dapat ditetapkan adalah penggunaan teknologi membran berbahan anorganik, khususnya kombinasi zeolite dan silika. Pengolahan limbah menggunakan membran zeolite-silika ini dilakukan melalui reaktor dengan sistem aliran cross flow. Penelitian ini mengkaji penggunaan membran zeolite-silika dengan variasi konsentrasi silika sebesar 3%, 1,5%, dan 0,5% untuk mengolah limbah cair kelapa sawit. Tujuan utamanya adalah mengevaluasi efektivitas membran dalam menurunkan kadar BOD serta menawarkan alternatif pengolahan limbah menggunakan membran anorganik zeolite-silika. Pengujian dilaksanakan menggunakan reaktor cross flow dengan durasi 100 menit. Pengambilan permeate dilakukan setiap interval 20 menit. Analisis morfologi dan komposisi unsur membran, baik sebelum maupun sesudah proses filtrasi, dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran mencapai nilai fluks tertinggi sebesar 48,2 L/m².jam, sementara efisiensi penyisihan BOD terbaik diperoleh pada membran dengan penambahan silika 3% yang mampu menyisihkan BOD hingga 88%.

Kata kunci: BOD, membran, cross flow, limbah cair kelapa sawit, zeolit, silika

ABSTRACT

Liquid waste generated from the palm oil industry in Indonesia contains high BOD pollutants so it needs to be treated before the waste is discharged into water bodies. One of the liquid waste treatment techniques that can be used is using membran technology with inorganic materials such as zeolite and silica. Zeolite-silica membrane is used to treat palm oil liquid waste through a reactor with cross flow. In this study, the variables used include the addition of silica mass at 3%, 1.5%, and 0.5% proportion. The aim of this research is to determine the ability of zeolite-silica membranes to remove BOD content from palm oil wastewater. This study also aims to provide an alternative way for processing palm oil wastewater using inorganic zeolite-silica membrans. Testing on the cross flow reactor was conducted for 100 minutes, and permeate was taken every 20 minutes. The zeolite-silica membrane before and after the filtration process will undergo morphological analysis and elemental content assessment using *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). The research results show that the highest membrane flux value is 48.2 L/m².hour, while the highest BOD removal value is found in the membran with a 3% silica addition, in which BOD removal is 88.0%.

Keywords: BOD, membrane, cross flow, palm oil mill wastewater, zeolite, silica

¹Info Artikel: Diterima (*received*) 23 Agustus 2024. Disetujui (*accepted*) 29 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 31 Desember 2024.

²Email: tikakumalasari@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Di Indonesia kelapa sawit telah menjadi salah satu komoditas utama yang memiliki nilai ekonomi tinggi di berbagai wilayah (Fadilah *et al.*, 2014). Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai skala yang signifikan dengan keberadaannya di 24 provinsi. Pertumbuhan area perkebunan menunjukkan tren positif yang konsisten setiap tahunnya. Berdasarkan data tahun 2019, total lahan yang dimanfaatkan untuk perkebunan kelapa sawit mencapai 14.724.600 hektar, dengan porsi perkebunan rakyat yang cukup substansial yaitu sebesar 6.035.700 hektar (BPS, 2020). Industri kelapa sawit memberikan dampak ganda bagi lingkungan dan perekonomian. Di satu sisi, peningkatan produksi kelapa sawit berkontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Namun di sisi lain, proses produksi ini menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat. Dalam proses produksinya, industri kelapa sawit menghasilkan dua kategori limbah utama. Kategori pertama adalah limbah padat yang terdiri dari material seperti sabut, cangkang, dan janjang kosong. Kategori kedua adalah limbah cair yang berasal dari proses produksi, termasuk kondensat dari proses perebusan dan larutan kalsium karbonat (Melisa dan Apriyanto, 2020). Data konsumsi minyak sawit global menunjukkan tren yang signifikan. Menurut Oil World, selama periode 2003-2007, minyak sawit menyumbang 21,5% dari total konsumsi minyak nabati dunia. Indonesia mempertahankan posisinya sebagai produsen CPO terbesar di dunia dengan capaian produksi 21,8 juta ton pada tahun 2010. Dalam proses pengolahan kelapa sawit, terdapat rasio limbah yang perlu diperhatikan. Dari setiap ton TBS yang diproses, sekitar 50% berupa limbah cair, sementara 23% merupakan tandan kosong. Secara spesifik, pengolahan satu ton TBS menghasilkan 600-700 kg limbah cair. Konsekuensinya, peningkatan produksi CPO berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah yang dihasilkan.

POME (*Palm Oil Mill Effluent*), yang merupakan limbah cair dari pengolahan kelapa sawit, memiliki karakteristik yang khas. Cairan ini berwarna kecokelatan dengan komposisi yang terdiri dari 95% air, 4-5% material terlarut dan tersuspensi, serta 0,5-1% residu minyak dalam bentuk emulsi. POME mengandung padatan terlarut dan tersuspensi dalam bentuk koloid dengan kadar COD yang tinggi. Sifat keasamannya ditunjukkan oleh pH yang rendah, berkisar antara 3,5 hingga 4. Selain itu, POME juga dicirikan dengan kandungan Total Suspended Solids (TSS) yang signifikan, mencapai 1.330 hingga 50.700 mg/L (Ahmad *et al.*, 2011). Selain karakteristik zat organik yang sangat tinggi, limbah cair kelapa sawit juga mengandung zat besi (Fe) sebesar 6,5 mg/L, seng (Zn) sebesar 2,3 mg/L dan amoniak 35 mg/L (Ma, 2000). Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair kelapa sawit berkisar 40.000-80.000 mg/L, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sekitar 20.000-30.000 mg/L, TSS (4-5%), minyak dan lemak (0,6-0,7%) serta pH 3,5-4. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair kelapa sawit perlu diolah sebelum dibuang ke badan air agar tidak terjadi pencemaran yang mengakibatkan turunnya kualitas perairan (Ilmannafian *et al.*, 2020).

Pengolahan limbah cair kelapa sawit pada umumnya menggunakan teknologi konvensional yang dibagi terdiri atas proses aerobik digester, anaerobik digester dan metode fisik kimia. Namun, sistem pengolahan biologi mempunyai beberapa kelemahan di antaranya membutuhkan perawatan yang tepat, pemantauan secara terus menerus, tenaga kerja yang banyak dan biaya yang cukup tinggi dan penggunaan lahan yang cukup luas (Azmi dan Yunos, 2014).

Teknologi pengolahan air limbah dengan menggunakan membran merupakan salah satu teknologi yang cukup meyakinkan dan berkembang dengan cepat. Penggunaan teknologi membran saat ini sudah semakin luas digunakan dan biasanya digunakan untuk mengolah limbah yang berminyak seperti limbah cair kelapa sawit (Aryanti *et al.*, 2013). Namun, teknologi membran memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan teknologi pengolahan lain. Kekurangan dari teknologi membran yaitu dari bahan dan modul membran yang mahal. Karena itu, diperlukan alternatif teknologi pembuatan membran dengan bahan baku murah (Afifah dan Damayanti, 2016). Pengolahan air limbah menggunakan zeolit alam telah banyak dilakukan. Sifat zeolit yang unik seperti kemampuan pertukaran ion, adsorpsi, porositas tinggi, dan tahan terhadap panas membuat zeolit alam cocok untuk diaplikasikan untuk pengolahan air bersih maupun air limbah (Margeta *et al.*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan memanfaatkan bahan alam zeolit dan silika sebagai bahan pembuatan filtrasi. Alternatif pengolahan dengan membran filtrasi zeolit silika diharapkan dapat menyisihkan polutan BOD yang terkandung dalam limbah cair kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan proses pengolahan membran zeolite-silika menggunakan ball milling hingga mencapai ukuran 200 mesh. Membran tersebut kemudian melalui proses aktivasi menggunakan larutan HCl dengan durasi 24 jam untuk mengeliminasi kontaminan pengotor. Setelah dicuci, zeolit-silika dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kandungan air. Selanjutnya dilakukan penimbangan zeolit-silika dengan tiga variasi penambahan massa silika 3%, 15% dan 0,5% dari berat total zeolit. Masing-masing variasi tersebut dicampurkan dengan 35 mL 2-Propanol. Campuran tersebut kemudian dipindahkan ke dalam botol sentrifuge untuk proses sentrifugasi pada kecepatan 600 rpm. Endapan yang terbentuk dari proses sentrifugasi dikumpulkan dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer. Tahap berikutnya adalah penambahan 3,5 gram NH₄Cl dan aquadest ke dalam endapan yang dilanjutkan dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam.

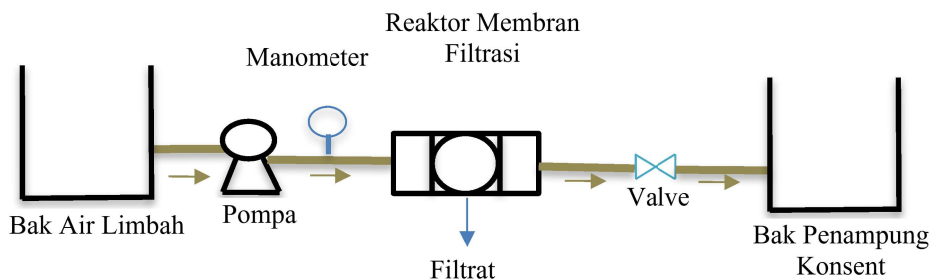
Proses selanjutnya adalah mencampurkan campuran zeolite-silika yang telah dengan PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan PEG (*Poly Ethylen Glicol*). Campuran zeolit-silika kemudian dipanaskan bersama sampai semua bahan larut dan mengental. Larutan yang mengental dicetak ke dalam cawan petri dengan ukuran diameter 4 cm dengan tebal yang sama. Membran yang telah dicetak diangin-anginkan selama 30 jam. Selanjutnya, membran dioven pada suhu 70°C untuk menghilangkan kadar air. Proses penambahan PVA bertujuan untuk merekatkan zeolit sehingga membran yang terbentuk padat. Adapun penambahan PEG digunakan untuk memperbesar pori membran dan menjaga ketahanan membran terhadap faktor eksternal (Rosnelly, 2012). Membran yang selesai dicetak ditunggu sampai kering sampai terlepas dari cetakan.

Tahap selanjutnya yaitu pengujian kinerja membran menggunakan reaktor *cross flow* untuk menganalisis kadar BOD pada berbagai jenis membran yang digunakan. Pengujian reaktor dilaksanakan dengan durasi total 100 menit. Pengambilan sampel dilakukan secara berkala setiap interval 20 menit. Sistem reaktor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari

beberapa komponen utama, meliputi pompa booster, wadah penampungan limbah, sistem perpipaan, katup pengatur aliran, serta alat pengukur tekanan. Reaktor dan skema aliran cross flow yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Reaktor *Cross Flow*



Gambar 2. Skema Reaktor *Cross Flow*

Pompa

Spesifikasi pompa yang digunakan untuk pengujian membran pada reaktor cross flow adalah sebagai berikut.

- Jenis pompa : Booster pump
- Voltase : 220 – 240 Volt
- Arus : 0,22 ampere
- Debit : 0,31 gpm (galon per menit)

Analisis sampel

Analisis sampel limbah cair kelapa sawit dilakukan sebelum dan sesudah proses filtrasi dengan membran zeolit-silika. Sampel dianalisis nilai BOD-nya. Pengujian BOD mengacu pada SNI 6989.72-2009 mengenai prosedur pengujian kadar BOD menggunakan metode Titrasi Winkler.

Permeabilitas membran

Nilai fluks menunjukkan permeabilitas dari membran. Perhitungan nilai fluks membran menggunakan Persamaan 1.

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (1)$$

dengan :

- J = Fluks (L/m².jam)
- V = volume *permeate* (L)
- A = Luas permukaan membran (m²)
- t = Waktu (jam)

Permselektivitas atau Nilai Rejeksi

Permselektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu ini diukur dengan rejeksi (R) yang dapat ditulis :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan:

- R = nilai rejeksi (%)
- C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate* (mg/L)
- C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini sampel limbah cair dari industri kelapa sawit diambil dari PT. Riset Perkebunan Nusantara menggunakan wadah jerigen berkapasitas 25 liter. Sampel tersebut memiliki karakteristik fisik warna coklat dan berbau asam. Untuk mengevaluasi efektivitas variasi membran, dilakukan pengujian karakteristik nilai BOD awal pada limbah tersebut. Pengukuran BOD dilaksanakan menggunakan metode Titrasi Winkler. Prosedur ini melibatkan pengamatan terhadap penurunan kadar oksigen terlarut dalam sampel yang disimpan dalam botol kedap udara. Sampel air diinkubasi pada suhu 20°C selama periode 5 hari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi BOD awal dalam limbah cair kelapa sawit mencapai 14.497 mg/L.

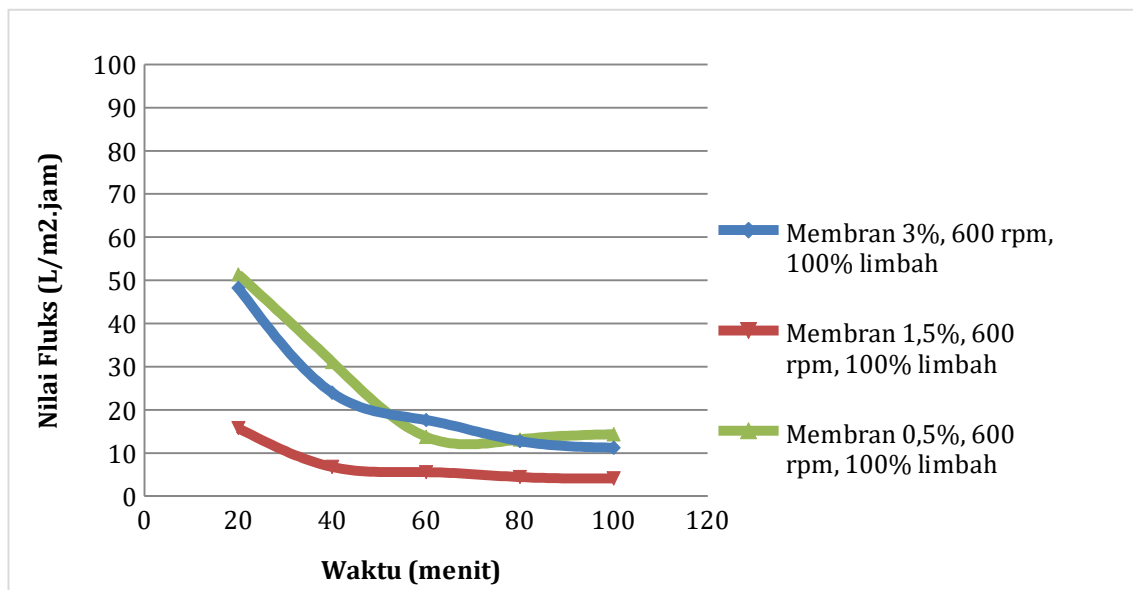
Pengaruh penambahan massa silika terhadap nilai fluks

Pada proses pengoperasian membran, nilai fluks merupakan indikator utama untuk mengevaluasi efektivitas kinerja membran tersebut. Fluks mengindikasikan volume *permeate* yang dapat menembus membran per satuan luas permukaan dalam interval waktu tertentu. Proses ini dipengaruhi oleh gaya dorong tekanan. Perhitungan luas permukaan membran yang efektif dilakukan pengukuran pada area membran yang berbentuk lingkaran tempat air limbah mengalir. Pada penelitian ini Smembran yang digunakan memiliki

diameter efektif sebesar 4 cm. Hasil perhitungan nilai fluks membran ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Nilai Fluks Membran

Waktu pengambilan permeate (menit)	Variasi penambahan massa silika pada membran	Volume permeate (mL)	Nilai Fluks (L/m ² .jam)
20	3%	20,2	48,2
40		10,0	24,0
60		7,4	17,6
80		5,3	12,8
100		4,7	11,2
20	1,5%	15,8	37,6
40		6,8	16,1
60		5,6	13,3
80		4,4	10,5
100		4,1	9,8
20	0,5%	21,5	51,4
40		13,0	31,1
60		5,8	13,7
80		5,5	13,1
100		5,0	14,3



Gambar 3. Pengaruh Penambahan massa silika terhadap nilai fluks pada konsentrasi limbah 100%

Berdasarkan data pada Tabel 1, nilai fluks membran pada variasi membran 3%, 1,5% dan 0,5% menunjukkan terjadinya penurunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja tertinggi membran yang diperoleh pada variasi dengan penambahan silika 3% yang mencapai fluks maksimal 48,2 L/m².jam pada menit ke-20. Pengamatan menunjukkan pola nilai fluks yang mencapai puncak pada menit ke-20 dan mengalami penurunan berkelanjutan hingga menit ke-100. Penurunan nilai fluks ini dapat dikaitkan dengan durasi

pengoperasian membran. Konsentrasi tinggi pada air umpan berkontribusi pada pembentukan fouling yang lebih cepat di permukaan membran yang kemudian mengakibatkan penurunan nilai fluks. Pada tahap awal operasi, permukaan membran masih bersih dari deposit partikel, sehingga memungkinkan nilai fluks yang tinggi. Namun seiringnya berjalannya waktu, akumulasi polutan pada permukaan membran menyebabkan penyempitan pori-pori yang berakibat pada penurunan nilai fluks secara progresif. Hal ini juga didukung penelitian Sutrisna (2010) yang menyebutkan nilai fluks membran akan cenderung semakin menurun seiring dengan lamanya waktu pengoperasian membran. Hasil penelitian Afifah dan Damayanti (2016) menyebutkan kecenderungan penurunan nilai fluks seiring bertambahnya waktu operasi. Hal ini dapat dijelaskan melalui konsep fouling membran yaitu perubahan karakteristik membran akibat interaksi fisik dan/atau kimia spesifik antara membran dengan komponen dalam aliran proses. Seiring bertambahnya waktu operasi membran kompaksi pori membran mulai terjadi disebabkan oleh tekanan yang diberikan kepada membran. Kompaksi menyebabkan mengecilnya ukuran pori membran sehingga jumlah *permeate* yang dihasilkan menurun. Selain itu adanya zat terlarut yang berdifusi ke permukaan membran akan membentuk suatu lapisan filter di permukaan membran. Lapisan tersebut juga akan berakibat pada menurunnya jumlah *permeate* sehingga nilai fluks juga semakin kecil.

Pengaruh Penambahan Massa Silika Terhadap Penyisihan BOD

Nilai rejeksi penyisihan BOD menggambarkan kemampuan membran zeolite-silika untuk menapis kandungan BOD yang terdapat pada air limbah. Nilai rejeksi atau dapat disebut juga nilai permselektivitas. Apabila suatu membran memiliki nilai rejeksi 100%, maka membran tersebut mempunyai nilai rejeksi sempurna yang menunjukkan kualitas *permeate* yang dihasilkan. Nilai rejeksi atau permselektivitas adalah salah satu parameter untuk menunjukkan kinerja membran. Pengaruh penambahan massa silika terhadap penyisihan BOD ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyisihan BOD pada Variasi Penambahan Massa Silika

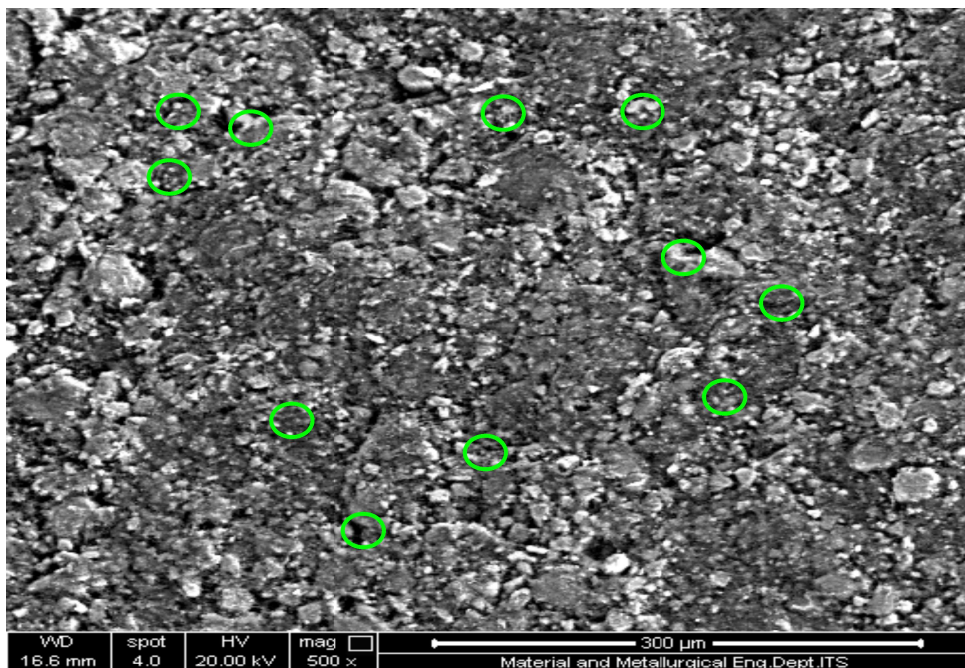
No.	Waktu (menit)	Variasi Membran			Penyisihan BOD (%)
		3%	1,5%	0,5%	
2.	20	67,8	64,5	64,3	67,8
3.	40	78,2	80,2	73,3	78,2
4.	60	80,3	84,3	77,6	80,3
5.	80	85,5	84,4	79,9	85,5
6.	100	88,0	86,5	81,6	86,5

Pada penelitian ini, nilai BOD dianalisis setiap 20 menit selama 5 kali untuk mengetahui nilai rejeksi membran zeolite-silika pada setiap variasi membran. Berdasarkan dari hasil penelitian, Penambahan masa silika 0,5% memberikan penyisihan BOD yang paling kecil yaitu sebesar 81,6%, pada penambahan masa silika 3% penyisihan BOD terbesar yaitu 88,0% sedangkan pada penambahan masa silika 1,5% penyisihan BOD terbesar yaitu 86,5%. Menurut penelitian Susetyaningsih *et al.*, (2010), peningkatan massa pasir silika yang ditambahkan berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penyerapan polutan

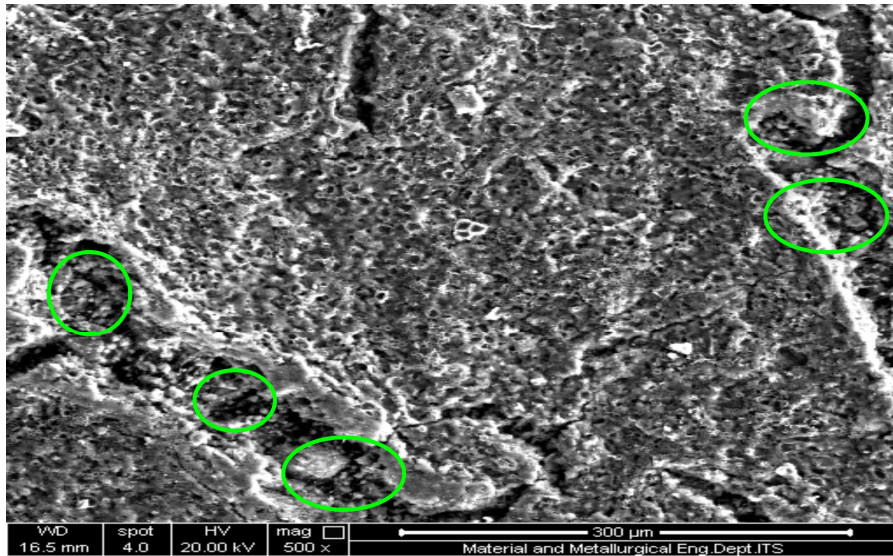
dalam limbah cair. Pasir silika berperan penting dalam mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan. Kondisi ini mengakibatkan partikel zeolit dapat bekerja lebih optimal dalam proses penyaringan polutan karena terciptanya jarak yang memadai antar partikel zeolit. Sedangkan menurut Azmi *et al.*, (2013), kenaikan persen penyisihan BOD karena adanya polutan pada air limbah yang tidak bisa melewati membran namun terjebak pada pori-pori membran. Oleh karena itu pori – pori membran diblokir oleh partikel yang terdapat pada air limbah dan menyebabkan polarisasi konsentrasi. Polarisasi konsentrasi mengacu pada kondisi dimana terjadi akumulasi partikel dengan konsentrasi yang lebih tinggi di area dekat permukaan membran dibandingkan dengan konsentrasi partikel pada aliran.

Analisis Morfologi Membran

Analisis morfologi membran dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam membran. Analisis morfologi membran menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). Analisis ini dilakukan sebelum dan sesudah membran digunakan untuk proses filtrasi air limbah. Hasil analisis SEM ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4 Morfologi Membran Sebelum Filtrasi



Gambar 5 Morfologi Membran Setelah Filtrasi

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, hasil analisis morfologi menunjukkan adanya perubahan morfologi membran. Morfologi membran menunjukkan perbedaan antara membran sebelum dan sesudah dilakukan proses filtrasi. Pada Gambar 4 awalnya membran terlihat memiliki banyak pori sedangkan setelah digunakan untuk proses filtrasi pori yang terlihat semakin sedikit. Pada hasil foto SEM membran setelah digunakan (Gambar 5) terlihat adanya padatan pada permukaan membran. Padatan tersebut terbentuk karena polutan pada air limbah yang tertahan pada permukaan membran.

Analisis EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray) juga dilakukan untuk mengetahui komponen unsur yang terdapat pada membran sehingga mengetahui perbedaan komposisi unsur pada membran sebelum dan sesudah digunakan untuk proses filtrasi. Komponen C, O, N Al dan Si merupakan komponen utama penyusun membran yaitu zeolit dan silika. Komponen C, N, O, Al dan Si mengalami peningkatan dan penurunan pada membran yang telah digunakan untuk proses filtrasi. Selain unsur utama juga terdapat unsur tambahan pada membran setelah proses filtrasi seperti Mg, S, P dan Ca. Adanya penambahan unsur – unsur tersebut dapat berasal polutan air limbah yang tertahan pada membran. Hal ini didukung juga oleh penelitian Rupani *et al.* (2010) yang menyebutkan bahwa limbah cair kelapa sawit mengandung sejumlah unsur N, P, K, Mg dan Ca.

Tabel 3. Komposisi dan konsentrasi unsur membran sebelum dan sesudah filtrasi

Unsur	Konsentrasi sebelum filtrasi	Konsentrasi setelah filtrasi
	wt%	wt%
C	44,12	46,83
N	0,66	6,47
O	34,84	34,53
Al	1,97	1,37
Si	12,98	3,67
Cl	1,63	0,15
Fe	0,38	1,137
Mg	0	0,53
P	0	1,82
S	0	0,58
Ca	0	0,39

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah didapatkan dapat ditarik beberapa kesimpulan. Nilai fluks membran tertinggi yaitu 48,2 L/m².jam pada variasi membran dengan penambahan massa silika 3%. Formulasi membran dengan penambahan massa silika 3% massa zeolite memiliki nilai rejeksi terbesar untuk mengolah kandungan BOD pada limbah cair kelapa sawit sebesar 88,0%. Hasil analisis morfologi dan kandungan unsur menggunakan SEM EDAX pada membran sebelum dan sesudah proses filtrasi menunjukkan adanya perubahan pada ukuran pori membran dan penambahan kandungan unsur pada membran zeolite-silika.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.S dan Damayanti, A. (2016). Filtrasi Limba Laundry dengan Membran Zeolit-Silika untuk Menurunkan COD. *Jurnal Purifikasi*, Vol. 16, No. 2.
- Ahmad, A., Bahruddin., Rahmi, A. (2011). Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia
- Azmi, N.S dan Yunos, K.F. Md. 2014. Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration membran Separation Technique Coupled with Adsorption treatment as Pre-treatment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2, 257-264
- Azmi, N, S., Yunos, K,F,Md., Baharuddin,A,S., Dom, Z, Md. 2013. The Effect of Operating Parameters on Ultrafiltration and reverse Osmosis of Palm Oil Mill Effluent for Reclamation and reuse of Water. *Bioresources* 8 (1), 76-87.
- Aryanti, N., Prihatiningtyas, I., Ikhsan, D., Wardhani, D.H. (2013). Kinerja Membran Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Limbah Emulsi Minyak-Air Sintetis. *Reaktor* 14(4), 277-283

- BPS. 2020. Statistik Indonesia - Statistical Yearbook of Indonesia. (2020). Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Fadilah, N.U., Sunarsih, E., & Faisya, H.A.F. (2014). Analisis Pelaksanaan Prinsip Produksi Bersih dalam Pengelolaan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PT. Hindoli Cargill Tropical Palm, PTE, LTD Sungai Lilin Tahun 2012. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat* Vol. 5 No. 1.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Filtrasi Dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *J. Teknologi Lingkungan*, 21(2): 244–253.
- Ma, A. N. (2000). Environmental Management for the Oil Palm industri. *Palm Oil Development* 30, 1-10
- Margeta, K., Logar, N.Z., Siljeg, M dan Farkas, A. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. *INTECH*.
- Melisa dan Apriyanto. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(2), 86-93.
- Rosnelly, C. M. (2012). Pengaruh Rasio Aditif Polietilen Glikol terhadap Selulosa Asetat pada Pembuatan Membran Selulosa Asetat secara Inversi Fasa, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 9(1), 25-29.
- Rupani, P. F., Sigh, R. P., Ibrahim, M. H., and dan Esa, N. (2010). Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: Vermicomposting as a sustainable practice. *World Appl. Sci. J.*, 11: 70-81.
- Sutrisna, P.D. (2010). Pemisahan Emulsi Minyak dalam Air dengan Membran Berslot Mode Operasi Dead End. Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. ISSN 1693-439. Yogyakarta, 26 Januari 2010.
- Susetyaningsih, R., Kismolo, E., Nurimaniwathy. (2010). Reduksi Limbah B3 Cair Menggunakan Zeolit dan Pasir Silika. Seminar Nasional IV. SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 18 November 2010.