

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR MINYAK KANOLA MENGGUNAKAN KOMBINASI ADSORPSI DAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI POLIMER

CANOLA OIL WASTEWATER TREATMENT USING A COMBINED ADSORPTION AND POLYMERIC ULTRAFILTRATION MEMBRANE

Sri Martini^{1*}, Elfidiah¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhamaddiyah Palembang
Jalan Ahmad Yani 13 Ulu Seberang Ulu II Palembang
Telp/Fax: (0711) 513022/ (0711) 513078
*E-mail: sri_martini79@yahoo.co.id

ABSTRACT

Industrial oily wastewater needs treatment before its discharge to open waters or reuse purpose. Membrane filtration as one of the most reliable options for water and wastewater treatment processes can experience fouling problem, reducing its efficiency. This research studies the improvement of polymeric ultra-filtration (UF) membrane performance by integrating membrane filtration with adsorption process using activated carbon to treat raw canola oil wastewater prior to sending it through the membrane system. The results show that pre-treatment process increased the permeate flux by more than 39 % compared to using a stand-alone UF membrane. Additionally, the integrated system resulted in excellent removal efficiencies of oil, total suspended solid (TSS), total dissolved solid (TDS) and chemical oxygen demand (COD) by 97, 100, 98 and 90 %, respectively. The integrated activated carbon – UF membrane system was further investigated under different conditions of pressure (P) (1, 2, 3 bar) and velocity (V) (300, 400, 600 mL/min). Using Hermia's model, it was assumed that the cake formation model controlled fouling regardless of the applied P and V conditions. The inclusion of the pre-treatment stage is therefore, beneficially important for improving polymeric UF membrane performance for treating industrial oily wastewater as it can increase flux permeate and lengthen membrane lifespan.

Key words: UF membrane, Activated carbon, Fouling, Hermia's models

1. PENDAHULUAN

Pembuangan limbah cair yang memiliki kandungan minyak teremulsi dapat menimbulkan pengaruh negatif terhadap kualitas lingkungan hidup dan kesehatan manusia. Berbagai kontaminan organik dan non organik yang terdapat dalam limbah cair tersebut dapat bersifat karsinogenik sehingga ekosistem yang terpapar pencemaran limbah secara terus menerus dalam waktu yang lama, tidak hanya merusak estetika lingkungan tetapi juga keberlangsungan hidup makhluk hidup biotik dan manusia yang bersinggungan dengan ekosistem tercemar tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan semakin meningkatnya jumlah dan kapasitas industri penghasil limbah cair berminyak seperti industri pengolahan minyak untuk kebutuhan konsumsi (*edible oil*) seperti minyak kelapa sawit, minyak kanola, minyak zaitun, dan minyak untuk kebutuhan bahan bakar seperti petroleum, maka semakin meningkat pula potensi kuantitas limbah cair yang dibuang di perairan terbuka seperti sungai dan laut.

Untuk mengatasi dampak langsung perkembangan industrialisasi terhadap peningkatan produksi limbah cair, berbagai usaha mitigasi harus dilakukan untuk mencegah dampak buruk yang mengancam lingkungan.

Salah satu langkah efektif yang bersifat preventif yaitu pengolahan limbah cair industri di kolam pembuangan sementara atau pengolahan limbah internal (*wastewater treatment plant*). Dengan pengolahan yang baik dan terukur, air limbah tersebut bahkan dapat ditingkatkan kualitasnya sehingga dapat digunakan ulang secara produktif, contohnya untuk air proses atau air irigasi.

Salah satu teknologi pengolahan limbah cair yang terbukti efektif dan efisien adalah aplikasi membran filtrasi. Penggunaan membran baik yang terbuat dari bahan polimer atau keramik memiliki beberapa keunggulan dibanding metode pengolahan lainnya, antara lain tingkat kemurnian air yang tinggi, rangkaian peralatan yang hanya membutuhkan lahan yang relatif tidak terlalu luas, proses pemisahan berdasarkan ukuran pembuangan tertentu yang dapat disesuaikan, tidak membutuhkan banyak bahan kimia khusus dan dapat dioperasikan oleh seorang operator dengan tingkat keahlian menengah (Xia dkk, 2004; Ahmad dkk, 2005). Membran keramik dan polimer memiliki kemampuan yang relatif sama dalam hal efisiensi, namun secara umum membran polimer memiliki lebih banyak pilihan tipe dan jenis polimer yang dapat disesuaikan dengan jenis limbah serta harga yang relatif lebih terjangkau (Allgeier, 2005). Permasalahan utama yang dihadapi

oleh pengguna teknologi membran adalah sumbatan pada pori atau permukaan membrane yang dikenal dengan istilah fouling yang menyebabkan penurunan jumlah aliran air terfiltrasi (permeate). Peristiwa fouling terjadi karena partikel polutan terperangkap dalam pori sehingga menurunkan kuantitas permeate (Peiris dkk, 2013). Secara umum, fouling dapat dikategorikan kedalam dua jenis yaitu *reversible* dan *irreversible fouling*.

Reversible fouling bersifat sementara karena sebagian besar kemampuan filtrasi membran tersumbat dapat dipulihkan dengan proses pencucian membran dengan menggunakan air atau larutan kimia tertentu sesuai jenis dan tipe membrane, sedangkan *irreversible fouling* bersifat permanen sehingga menurunkan performa filtrasi membran secara signifikan sampai tingkat *steady state* (Peiris dkk, 2013). Untuk meningkatkan efisiensi filtrasi dan memperpanjang usia pakai membrane, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pengolahan awal limbah (pre-treatment) sebelum memasuki sistem filtrasi membran.

Penelitian yang dilakukan penulis meliputi investigasi peningkatan efisiensi membran ultrafiltrasi (UF) berbahan polimer *Polyvinylidene difluoride* (PVDF) dengan melakukan pre-treatment secara adsorpsi menggunakan karbon aktif. Sampel limbah cair yang dipilih adalah limbah cair pengolahan minyak kanola (LCMK). Dalam penelitian ini, dilakukan uji perbandingan efisiensi membran yang digunakan baik secara tunggal maupun dengan kombinasi karbon aktif – membran UF.

Selain itu, pengaruh tekanan (P) dan kecepatan aliran (V) terhadap profil flux permeate dalam kaitannya dengan lama waktu filtrasi (t) juga diteliti. Parameter yang digunakan untuk menguji efektifitas dan efisiensi penggunaan membrane UF adalah kandungan minyak, TDS, COD yang masing – masing dilakukan terhadap sampel LCMK mentah dan yang telah diolah sebagai permeate.

Hal tersebut untuk menggambarkan bahwa terjadi peningkatan kualitas limbah cair setelah proses filtrasi membran. Selanjutnya, asumsi mekanisme fouling juga didiskusikan lebih lanjut dengan menggunakan pemodelan Hermia.

2. METODE

2.1 Alat dan bahan

Limbah cair yang digunakan diperoleh dari pabrik pengolahan minyak bunga kanola. Sampel limbah cair disaring menggunakan media saring (*sieve*) untuk memisahkan partikel padatan berukuran lebih besar dari 1 mm yang terkandung dalam limbah.

Selanjutnya sampel limbah cair dianalisa untuk mengetahui konsentrasi minyak, COD, TDS, TSS dan pH (Tabel 1). Keseluruhan sampel disimpan dalam lemari pendingin yang memiliki suhu dibawah 4⁰C untuk menghindari proses perubahan karakter yang signifikan akibat aktifitas biologi.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Minyak Kanola

Parameter	Nilai konsentrasi
COD	450 mg/L
TSS	486 mg/L
TDS	250 mg/L
Oil	682 mg/L
pH	9.5

Reaktor HACH DRB200, DR890 *colorimeter* dan tabung reagen COD (HACH COD *reagent vials*), HR 0–1500 mg/L, digunakan untuk mengetahui konsentrasi COD. Karbon aktif granulasi komersil digunakan untuk proses adsorpsi pada tahap pre-treatment.

Konsentrasi minyak diukur berdasarkan metode gravimetri menggunakan Butchi Rotavapor R-210 series. TSS, TDS dan pH diukur menggunakan alat analisa digital terkait (Hanna instruments). Bahan kimia; Na₂SO₄, n-Hexane, NaOH, H₂SO₄, *dry ice* dan air murni (*Ultrapure water*) digunakan dalam penelitian.

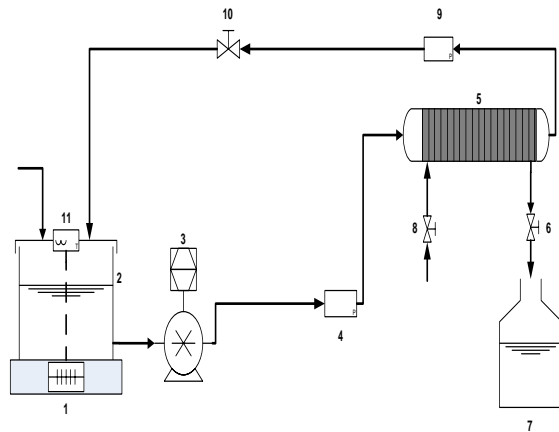
Membran UF yang digunakan terbuat dari bahan PVDF dengan ukuran panjang 30 cm dan *molecular weight cut-off* (MWCO) 100 kDa dan luas permukaan aktif membran 0.024 m² produksi Xylem Water, UK. Membran diletakan dalam penyangga membran (*membrane holder*) yang terbuat dari bahan *stainless steel*.

2.2 Metodologi

Sistem rangkaian membran UF skala laboratorium dideskripsikan pada gambar 1. Rancangan percobaan terbagi menjadi tiga komponen utama yaitu tanki yang berisi limbah, pompa peristaltic digital yang dilengkapi pengaduk (*stirrer*) dan membrane UF yang berada dalam penyangga membran.

Rangkaian tersebut dilengkapi dengan dua alat pengukur tekanan (*pressure gauge*) untuk mengukur tekanan aliran fluida yang masuk dan keluar dari membran. Permeate didapatkan dengan mengalirkan LCMK yang telah melalui proses filtrasi ke dalam tanki khusus permeate dan volume yang didapatkan dalam interval waktu 10 menit diukur untuk mendapatkan profil nilai flux permeate.

Proses pre-treatment secara adsorpsi dilakukan dengan cara menempatkan LCMK ke dalam tabung yang telah diisi karbon aktif yang telah ditimbang. Selanjutnya tabung tersebut diletakan dalam *incubator shaker* selama 6 jam. Sebelum digunakan dalam sistem filtrasi membrane UF, LCMK dalam tabung diendapkan beberapa waktu lalu disaring untuk memisahkannya dengan karbon aktif.



(1) Digital thermally controlled plate and stirrer (2) Tanki limbah, (3) Pompa peristaltic digital (4) Pengukur tekanan (5) Membran ultrafiltrasi (6) Katup (valve) (7) Tanki permeate (8) Katup tertutup (9) Pengukur tekanan (10) Katup konsentrat (11) Thermometer

Gambar 1. Rangkaian sistem membran ultrafiltrasi

Laju alir atau flux permeate (*permeate flux*) diukur dengan menggunakan persamaan berikut (Mohammadi dkk, 2003):

$$J = \frac{v}{(A) \cdot t} \quad (1)$$

Dimana J , v , A and T adalah flux permeate (L/m^2h), volume permeate (L), luas area membrane (m) and interval waktu permeate (h).

Tekanan dihitung berdasarkan rumusan berikut (Ahmad dkk, 2005):

$$P = \frac{P_i + P_o}{2} \quad (2)$$

Dimana P_i dan P_o adalah tekanan masuk dan tekanan keluar (bar) aliran pada modul membran.

Salah satu pemodelan utama tentang mekanisme fouling yang dapat digunakan adalah model Hermia yang terdiri dari empat kategori, yaitu; *cake formation*, *intermediate pore blocking*, *standard pore blocking* dan *complete pore blocking models* (Mohammadi dkk, 2003; Salahi dkk, 2010).

Cake filtration model; Pembentukan lapisan *cake* diatas permukaan membran yang terdiri dari akumulasi polutan dan dapat digambarkan melalui persamaan berikut:

$$\frac{1}{J^2} = \frac{1}{J_0^2} + Kc t \quad (3)$$

Dimana Kc , t , J and J_0 adalah konstanta, waktu filtrasi (h), flux permeate dan flux awal permeate (L/m^2h) atau nilai intersep.

Complete pore blocking model; Model ini mengasumsikan bahwa pori membrane mengalami penyumbatan karena setiap partikel polutan menutupi lubang pori pada permukaan membran dan diilustrasikan dengan persamaan dibawah ini:

$$\ln(J) = \ln(J_0) - K_c t \quad (4)$$

Dimana K_c adalah konstanta.

Standard pore blocking model; Model ini menjelaskan bahwa penurunan flux permeate disebabkan oleh penurunan luas ruang dinding pori membran karena posisi partikel yang terdeposit. Persamaan untuk model ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{J^{1/2}} = \frac{1}{J_0^{1/2}} + K_s t \quad (5)$$

Dimana K_s adalah konstanta.

Intermediate pore blocking model; Model ini mengasumsikan probabilitas tersumbatnya pori membran oleh partikel polutan yang datang pada sisi pori yang sudah terisi partikel polutan aliran sebelumnya dan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_0} + K_i t \quad (6)$$

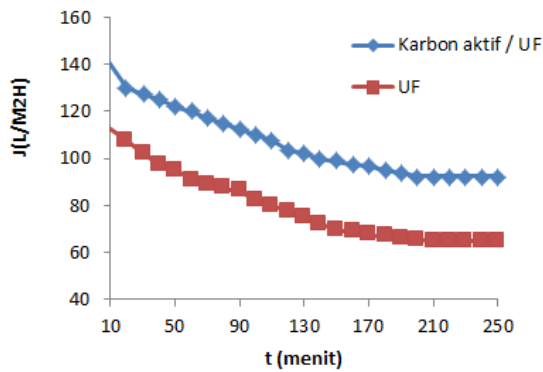
Dimana K_i adalah konstanta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

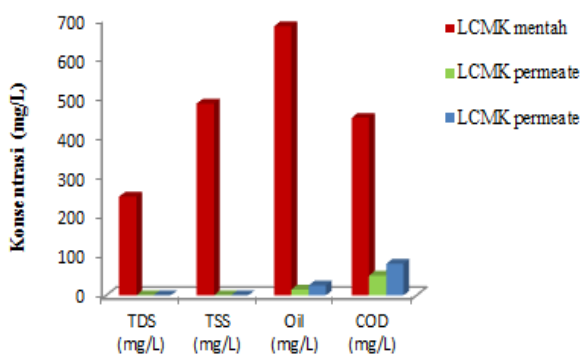
3.1 Pengaruh pre-treatment terhadap nilai flux

Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara flux permeate yang langsung dialirkan menuju sistem membran UF dan flux permeate yang terlebih dahulu diberikan proses pengolahan awal (pre-treatment) sebelum memasuki rangkaian membran. Berdasarkan hasil uji eksperimen yang dideskripsikan pada gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlakuan awal terhadap LCMK secara adsorpsi menggunakan karbon aktif memberikan pengaruh yang positif terhadap pengurangan nilai fouling pada pori membran sehingga meningkatkan jumlah flux permeate secara signifikan.

Flux permeate sampel limbah tanpa pre-treatment mengalami penurunan sebesar 45% dari nilai flux awalnya selama proses filtrasi berlangsung. Sedangkan persentase penurunan flux permeate pada kombinasi karbon aktif dan membran adalah 38% dalam jangka waktu yang sama. Selain itu, nilai flux permeate pada kombinasi karbon aktif dan membran UF saat mendekati *steady state* mengalami peningkatan sebesar 39 %. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sebagian partikel polutan yang berpotensi menyumbat pori dan permukaan membran seperti partikel minyak, padatan tersuspensi dan kandungan organik serta non-organik lainnya telah diserap oleh permukaan karbon aktif selama proses pre-treatment. Efektivitas proses pre-treatment secara adsorpsi yang menurunkan konsentrasi polutan sehingga meningkatkan kinerja membrane UF dalam memurnikan limbah juga ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 2. Pengaruh pre-treatment terhadap nilai flux permeate (pH = 9,5, T = 25°C, v = 600 mL/menit, P = 1 bar



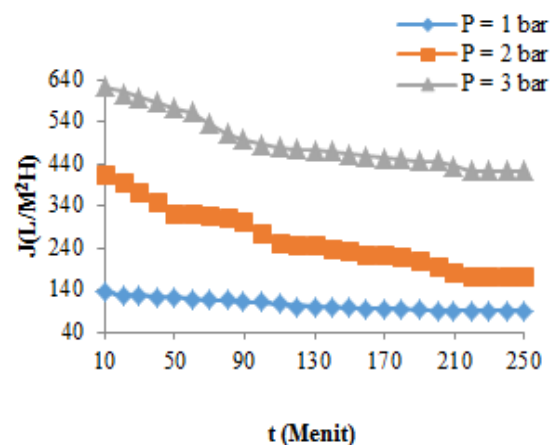
Gambar 3. Karakteristik limbah cair minyak kanola

Berdasarkan gambar 3, dapat diketahui bahwa membran UF memiliki kemampuan menyaring partikel polutan yang dapat diandalkan meskipun diaplikasikan sebagai sistem tunggal dalam proses pengolahan limbah cair yang mengandung partikel padatan dan emulsi minyak. Hal itu dibuktikan dengan nilai TDS, TSS, kandungan minyak (*oil*) dan COD pada permeate yang mencapai penurunan sebesar 98, 100, 97 dan 90 %, secara berturut - turut. Namun nilai flux dan kualitas permeate pada membran UF tunggal dan kombinasi karbon aktif / membran UF menampilkan perbedaan profil nilai flux awal dan persentase penyusutan flux permeate yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh peristiwa fouling pada membran UF tunggal yang terjadi lebih cepat karena kapasitas polutan yang lebih besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pre-treatment terhadap limbah cair sebelum memasuki sistem membran UF sangat berperan terhadap kinerja membran dalam memperbaiki nilai flux permeate. Selain itu, proses pre-treatment dapat memperpanjang usia pakai membran dan mencegah terjadinya fouling permanen (*irreversible fouling*) yang menyebabkan kerusakan yang bersifat tetap pada permukaan membrane (Martini dan Ang, 2019). Hasil yang positif pada proses pengolahan LCMK dengan mengaplikasikan proses pre-treatment adsorpsi karbon aktif dengan membran UF selanjutnya digunakan untuk

menguji pengaruh tekanan (P) dan kecepatan aliran (V) terhadap nilai flux permeate.

3.2 Pengaruh tekanan (P) terhadap nilai flux

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4, dapat digarisbawahi bahwa perbedaan tekanan memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan nilai flux permeate. Secara umum, semakin tinggi tekanan yang diberikan pada aliran maka semakin besar pula peningkatan nilai flux permeate. Hasil eksperimen sebagaimana yang dideskripsikan pada gambar 4 dengan menggunakan parameter variasi tekanan sebesar 1, 2 dan 3 bar menunjukkan adanya perbedaan nilai flux permeate yang signifikan dengan masing - masing peningkatan sekitar 67 dan 79 % untuk tekanan 2 dan 3 bar dibandingkan dengan nilai awal flux permeate pada tekanan 1 bar. Selain itu, untuk masing - masing nilai tekanan, peningkatan nilai flux permeate awal dan penurunan profil flux permeate selama jangka waktu pengamatan terjadi secara linear sampai mencapai titik jenuh yaitu suatu kondisi dimana membran akan mencapai batas kemampuan penyaringan karena kondisi pori - pori pada permukaan membran yang telah berikatan sepenuhnya dengan partikel polutan terdeposit. Peristiwa peningkatan nilai flux permeate seiring penambahan tekanan disebabkan oleh semakin banyaknya nilai energi yang dapat diproduksi untuk diberikan pada aliran limbah sehingga permeate dapat terdorong lebih kuat menembus pori - pori membran. Sebagaimana yang telah diuraikan dalam prinsip - prinsip hukum Darcy (*Darcy's law*) bahwa tekanan merupakan salah satu variable yang berkontribusi dalam perolehan volume permeate dan flux permeate hingga sampai pada tingkatan waktu tertentu (Elmaleh dan Ghaffour, 1996).

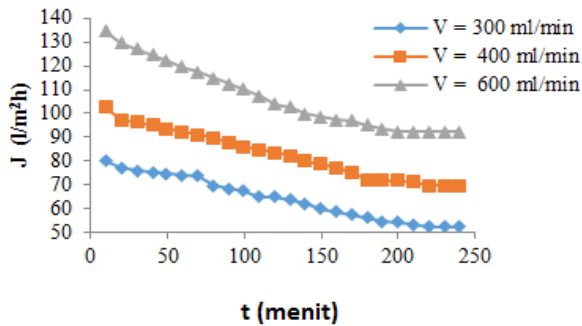


Gambar 4. Pengaruh tekanan terhadap flux permeate (pH = 9,5, T = 25°C, V = 600 mL/menit)

Setelah mencapai titik saturasi dalam periode tertentu, penurunan nilai flux yang sebelumnya dapat berlangsung secara linear, akan berubah mengikuti pola non-linear hingga mencapai kondisi stagnan yaitu suatu kondisi dimana jumlah volume dan flux permeate bersifat tetap atau relatif sama. Peristiwa ini disebabkan oleh fenomena polarisasi konsentrasi pada pori dan

permukaan membran akibat banyaknya deposit partikel polutan yang semakin memadat pada keseluruhan pori dan permukaan membran UF sehingga menjadi penyebab utama fouling. Pada saat kondisi ini terjadi, alternatif yang dapat dilakukan adalah proses pencucian membran menggunakan larutan kimia tertentu sesuai tipe membran dan jenis limbah atau proses penggantian material membran.

3.3 Pengaruh kecepatan (V) terhadap flux permeate



Gambar 5. Pengaruh tekanan terhadap nilai permeate flux (pH= 9.5, T = 25 °C, P = 1 bar).

Gambar 5 menunjukkan pengaruh perbedaan kecepatan aliran dalam kaitannya dengan nilai flux permeate dan waktu filtrasi. Dari gambar tersebut dapat diasumsikan bahwa kecepatan laju alir umpan limbah cair dalam rangkaian membrane UF memiliki peran yang penting terhadap besaran nilai flux permeate dan volume permeate yang didapatkan dalam interval waktu yang telah ditentukan.

Sebagaimana yang telah diilustrasikan pada gambar 5, meningkatnya nilai kecepatan aliran yang diprogram pada pompa akan meningkatkan nilai flux permeate dan secara bersamaan dapat menurunkan potensi terjadinya fouling pada membran selama proses filtrasi. Seperti halnya pada variabel tekanan, keadaan penurunan profil flux permeate selama proses filtrasi dipengaruhi oleh peristiwa konsentrasi polarisasi. Sedangkan peningkatan nilai awal flux permeate dan titik saturasi membran pada kecepatan alir fluida yang lebih besar disebabkan oleh peningkatan gaya friksional atau *shear stress* fluida terhadap permukaan dan pori – pori membran.

Dengan kata lain, semakin tinggi kecepatan aliran fluida pada permukaan membran maka akan semakin menurunkan kecenderungan penumpukan partikel polutan terdeposit penyebab fouling. Perubahan profil kecepatan pembentukan endapan yang lebih lambat pada laju alir yang lebih besar akan memperpanjang waktu yang diperlukan oleh partikel polutan tersebut untuk berakumulasi dan membentuk lapisan endapan polutan pada pori – pori terdalam ataupun pada lapisan permukaan membran.

3.4. Analisa mekanisme Fouling

Gambaran mengenai mekanisme fouling pada permukaan dan pori membran UF dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan model Hermia (Salahidkk, 2010). Pemodelan Hermia mengilustrasikan proses pembentukan endapan terdeposit pada pori dan permukaan membran UF baik sebelum dan selama fouling terjadi. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan data volume dan flux permeate yang diperoleh secara eksperimen (Sarfaz dkk, 2012). Berdasarkan hasil analisa, diperoleh asumsi bahwa mekanisme fouling yang terjadi dalam penelitian ini cenderung mengikuti mekanisme model *cake filtration* karena pada tipe model Hermia tersebut dihasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga model Hermia lainnya .

Nilai R^2 dengan parameter pengaruh tekanan terhadap flux permeate ditampilkan pada tabel 2. Mekanisme *Cake filtration model* yang diasumsikan paling mendekati keadaan yang terjadi selama proses filtrasi LCMK mengilustrasikan bahwa proses fouling yang terjadi adalah akibat dari terbentuknya lapisan demi lapisan partikel polutan pada permukaan membran yang menyerupai lapisan susun yang memadat dan akan semakin menebal berbanding lurus dengan lamanya waktu filtrasi hingga tercapai keadaan saturasi (Decloux dkk, 2007; Kong dan Li, 1999).

Tabel 2. Model Hermia

P (bar)	R^2			
	<i>Complete pore blocking model</i>	<i>Standard pore blocking model</i>	<i>Intermediate pore blocking model</i>	<i>Cake filtration model</i>
1	0.903	0.914	0.925	0.944
2	0.949	0.921	0.982	0.983
3	0.857	0.871	0.884	0.906

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa limbah cair berminyak yang dihasilkan oleh industri termasuk industri pengolahan minyak kanola sebagai bagian dari industri pengolahan bahan makanan (*food grade industry*) dapat dilakukan dengan menggunakan membran UF berbahan polimer. Hasil analisa sampel limbah aktual minyak kanola tersebut menunjukkan efisiensi penurunan nilai TDS, TSS, minyak dan COD secara berturut - turut sebesar lebih dari 98, 100, 97 dan 90 %. Selain itu, proses pre-treatment dengan menggunakan karbon aktif terbukti dapat mengurangi kecepatan dan kuantitas fouling pada permukaan membran UF karena sebagian polutan dapat dieliminasi dari dalam limbah cair oleh adsorben karbon aktif. Parameter tekanan dan kecepatan berperan penting untuk meningkatkan nilai flux permeate dimana semakin tinggi nilai tekanan dan kecepatan, maka volume dan flux permeate akan semakin meningkat. Pemodelan Hermia digunakan untuk mengetahui

mekanisme terjadinya fouling, dan dari hasil analisa, diasumsikan bahwa peristiwa fouling yang berlangsung mengikuti mekanisme *cake filtration model*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Ismail, S dan Bhatia, S. 2005. *Membrane Treatment for Palm Oil Mill Effluent: Effect of Transmembrane Pressure and Crossflow Velocity*. Desalination. 179(1-3), 245-255.
- Allgeier, S. 2005. *Membrane Filtration Guidance Manual*. Environmental Protection Agency. USA.
- Decloux, M., Martin, L., Brocard., Aurelis, B.E., Emelie, P and Michel, S.A. 2007. *Treatment of Acidic Wastewater Arising from The Refining of Vegetable Oil by Crossflow Microfiltration at Very Low Transmembrane Pressure*. Process Biochemistry. 42(4), 693-699.
- Elmalleh, S dan Ghaffor, N. 1996. *Cross-flow Ultrafiltration of Hydrocarbon and Biological Solid Mixed Suspensions*. Journal of Membrane Science. 118(1), 111-120.
- Goh, P.S. 2018. *A Review on Inorganic Membranes for Desalination and Wastewater Treatment*. Desalination. 434. 60-80.
- Kong, J dan Li, K. 1999. *Oil Removal from Oil-in-Water Emulsions using PVDF Membranes*. Separation and Purification Technology. 16(1), 83-93.
- Martini, S dan Ang, H.M. 2019. *Hybrid TiO₂/UV/PVDF ultrafiltration membrane for raw canola oil wastewater treatment*. Desalination and Water Treatment. 148, 51-59.
- Mohammadi, T .. Kazeminoghadam, M dan Saadabadi, M. 2003. *Modeling of Membrane Fouling and Flux Decline in Reverse Osmosis during Separation of Oil in Water Emulsions*. Desalination. 157(1-3), 369-375.
- Peiris, R.H. 2013. *Assessing The Role of Feed Water in Irreversible Membrane Fouling of Pilot-Scale Ultrafiltration Drinking Water Treatment Systems*. Water Research. 47(10), 3364-3374.
- Salahi, A., Mohammadi, T., Mosayebi, B., Reza, H dan Moahmood. 2015. *Asymmetric Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes for Oily Wastewater Treatment: Synthesis, Characterization, ANFIS Modeling, and Performance*. Journal of Environmental Chemical Engineering. 3(1). 170-178.
- Sarfraz, M. V. 2012. *Experimental Investigation and Modeling Hybrid Nano-Porous Membrane Process for Industrial Oily Wastewater Treatment*. Chemical Engineering Research and Design. 90(10), 1642-1651.
- Xia, S . Ruipinbg, L dan Guibai, 2004. *Study of Drinking Water Treatment by Ultrafiltration of Surface Water and Its Application to China*. Desalination. 170(1), 41-47