

Simulasi Fluks Membran PVDF dengan Penambahan CNTs-O dan CNTs-P Menggunakan Penurunan Persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille

MIA GLADYSSIA, ANDRIANTO, JONO SUHARTONO

¹Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung

²Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung

Email: miaglad21@mhs.itenas.ac.id

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Di Indonesia kebutuhan air bersih tiap tahun mengalami peningkatan. Namun, ketersediaannya terbatas karena adanya pengotor-pengotor yang terdapat dalam air. Ada berbagai teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah air salah satunya teknologi membran. Adapun kelebihan teknologi ini yaitu sederhana, praktis, dan tidak mencemari lingkungan. Penelitian ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan nilai turtuositas. Dari nilai tersebut digunakan untuk memperoleh fluks membran kalkulasi. Adapun persamaan yang digunakan adalah pendekatan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille. Air dialirkan ke membran PVDF murni dan membran yang ditambahkan 0,05%; 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% CNTs-O dan CNTs-P dalam satuan %massa. Operasi membran dilakukan selama 400 detik dengan tekanan berturut-turut sebesar 1,80; 2,80; dan 4,85 bar. Simulasi dilakukan dengan software MATLAB.

Kata kunci: CNT, Membran ultrafiltrasi, persamaan Darcy, persamaan Hagen Poiseuille, PVDF

ABSTRACT

Every year, the need for clean water in Indonesia grows. However, due to the presence of pollutants in the air, its availability is limited. Membrane technology is one of the several technologies that may be used to treat air. This technology's benefits are straightforward, practical, and environmental. The turtosity value was calculated via a simulation in this study. The membrane flux is calculated using this value as a starting point. The Darcy and Hagen Poiseuille equation technique is employed. The membrane added is 0.05 percent, 0.1 percent, 0.2 percent, 0.3 percent, and 0.4 percent CNTs-O and CNTs-P in percent by mass to the PVDF membrane. The membrane operation lasted 400 seconds, with pressures of 1.80, 2.80, and 4.85 bars applied in that order. MATLAB software was used to run the simulation.

Keywords: CNT, Darcy equation, Hagen Poiseuille equation, PVDF, Ultrafiltration membrane

1. PENDAHULUAN

Setiap manusia memerlukan air bersih untuk menunjang aktivitas sehari-hari. Peranan air sangat penting untuk tubuh manusia, misalnya sebagai media transportasi, mencegah timbulnya penyakit, dan membangun sel. Penggunaan air bersih cukup luas tidak hanya untuk rumah tangga, tetapi dapat diaplikasikan pada sarana dan prasarana umum.

Berdasarkan PERMENKES NO.492/ 2010 menyatakan bahwa air bersih yang akan digunakan harus memenuhi syarat kesehatan dan layak dikonsumsi. Metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan NOM dalam suatu campuran yaitu dengan teknologi membran. Saat ini membran telah mengalami kemajuan yang pesat dalam hal pemurnian, pemisahan.

Teknologi membran mempunyai keunggulan di antaranya sederhana, praktis, dan mudah diaplikasikan berdasarkan terhadap mudah atau sukarnya suatu zat melewati membran. Hal tersebut karena membran memiliki kelebihan dalam separasi. Adapun perbedaan membran dan teknologi pemisahan lainnya yaitu dapat mengatur laju serta kualitas permeat dari larutan yang ingin disingkirkan dengan karakterisasi pori membran.

Secara fisik membran berbentuk lapisan tipis dengan karakter semipermeabel dimana membran dapat menahan spesi-spesi/zat kimia tertentu. Zat kimia dengan ukuran lebih besar daripada pori-pori membran akan tertahan. Sedangkan zat kimia dengan ukuran lebih kecil daripada pori-pori membran akan lolos (Riani, P., 2014).

Penelitian ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan nilai turtuositas. Dari nilai tersebut digunakan untuk memperoleh fluks membran kalkulasi. Adapun persamaan yang digunakan adalah pendekatan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille. Air dialirkan ke membran PVDF murni dan membran yang ditambahkan 0,05%; 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% CNTs-O dan CNTs-P dalam satuan %massa. Operasi membran dilakukan selama 400 detik dengan tekanan berturut-turut sebesar 1,80; 2,80; dan 4,85 bar. Simulasi dilakukan dengan *software* MATLAB.

Adapun tujuan penelitian ini untuk membuat program simulasi fluks membran pada MATLAB, mengetahui pengaruh penambahan CNTs-O terhadap fluks membran, Mengetahui pengaruh penambahan CNTs-O terhadap fluks membran, dan mengetahui fluks membran kalkulasi berdasarkan penurunan persamaan dengan *software* MATLAB

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Membran yang digunakan dalam penelitian ini dari Jono Suhartono dan Chedly Tizaoui (2015) yaitu membran PVDF dan CNT. PVDF dengan tipe Kynar 761 dan CNTs-O disuplai secara gratis oleh Arkem, Ltd. Kedua CNT baik CNTs-O dan CNTs-P yang digunakan tanpa *treatment* lebih lanjut. Permeasi air dari murni buatan membran PVDF dan CNTs/PVDF dievaluasi menggunakan aliran sistem membran ultrafiltrasi. Adapun persen penambahan CNT berturut-turut sebesar 0%; 0,05%; 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% dalam %massa. Luas efektif membran adalah 9,6 cm² dan debit air retentat ditetapkan pada 1 L/menit sementara tekanan transmembran (TMP) diatur pada 1,80; 2,80; dan 4,85 bar.

2.2. Pembentukan Model

Berdasarkan hukum Darcy, fluks membran pada membran ultrafiltrasi dinyatakan:

$$J_v = L_p \frac{dP}{dx} \quad (1)$$

J_v menyatakan fluks membran dengan satuan $L/(m^2 \cdot h)$. L_p disebut juga sebagai koefisien filtrasi sebagai fungsi viskositas dinamis untuk konsentrasi tetap dari larutan yang mengalir melintasi membran. dP menyatakan beda tekanan dan dx menyatakan beda ketebalan.

Berdasarkan hukum Hagen Poiseuille, dV adalah diungkapkan di bawah ini:

$$dV = \frac{1}{\eta} \frac{\pi r^4 dP dt}{8 dx} \quad (2)$$

Sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{8\eta}{\pi r^4} \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Penjelasan L_p secara fisik dapat ditunjukkan dengan

$$L_p = \frac{\varepsilon r^2}{8\eta\tau} \quad (4)$$

ε menyatakan porositas. τ menyatakan turtositas.

Dari persamaan (1), (3), dan (4) dapat ditulis kembali persamaan fluks membran, yaitu:

$$J_v = \frac{\varepsilon r^2}{8\eta\tau} \frac{8\eta}{\pi r^4} \frac{dV}{dt} \quad (5)$$

$$J_v = \frac{\varepsilon}{\pi r^2 \tau} \frac{dV}{dt} \quad (6)$$

2.3. Karakteristik Membran

2.3.1. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume total membrane. Hal ini dapat ditentukan dengan metode gravimetri dimana ukuran membrane yang telah dikeringkan dan dibasahi diukur cairan yang terkandung pada pori-pori membrannya.

$$\varepsilon = \frac{(m_{wet} - m_{dry}) / \rho_l}{(m_{wet} - m_{dry}) / \rho_l + m_{dry} / \rho_p} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan:

ε	= Porosity
m_{wet}	= Massa membran basah
m_{dry}	= Massa membran kering
ρ_l	= Densitas <i>solvent</i>
ρ_p	= Densitas polimer

2.3.2. Turtuositas

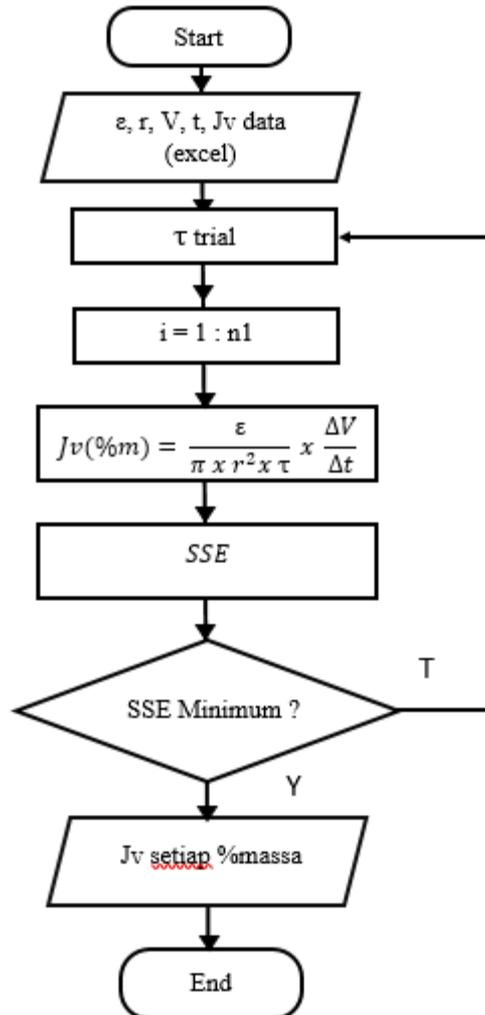
Tortuositas adalah sifat kurva yang berliku-liku (memiliki banyak belokan). Hal ini umumnya digunakan untuk menggambarkan difusi dan aliran fluida dalam berpori. Ini sering digunakan sebagai parameter yang dapat disesuaikan dalam model properti transfer melalui media berpori.

$$\tau = \frac{L^*}{L} \quad (8)$$

Dengan:

- τ = Turtuosity
- L^* = Rasio panjang pori rata-rata
- L = Panjang membran

2.4 Script MATLAB



Gambar 1. Flow Chart Simulasi Fluks Membran

Tahapan:

1. Memasukkan data ε , r , V , t , J_v data eksperimen
2. Menebak nilai τ sebanyak n kali
3. Memperoleh nilai τ dengan SSE minimum. Jika SSE tidak minimum akan *looping*
4. Mengkalkulasi nilai J_v menggunakan nilai τ dengan SSE minimum
5. Memperoleh grafik J_v kalkulasi dengan berbagai penambahan %CNTs

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan percobaan dari pemodelan dan simulasi fluks membran dengan menggunakan turunan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille. Persamaan Hagen Poiseuille merupakan model matematika yang mendeskripsikan banyaknya volume fluks yang melewati pori – pori membran, dan telah dicoba untuk menghitung fluks dari proses pengolahan air membran UF.

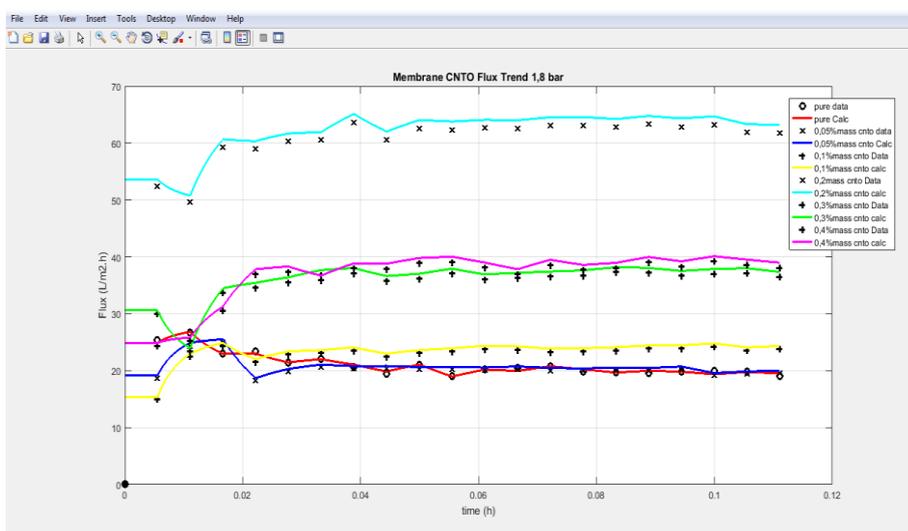
Simulasi Fluks Membran PVDF dengan Penambahan CNTs-O dan CNTs-P Menggunakan Penurunan Persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille

Dari percobaan pemodelan dan simulasi fluks membran dengan menggunakan turunan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille diperoleh hasil seperti berikut:

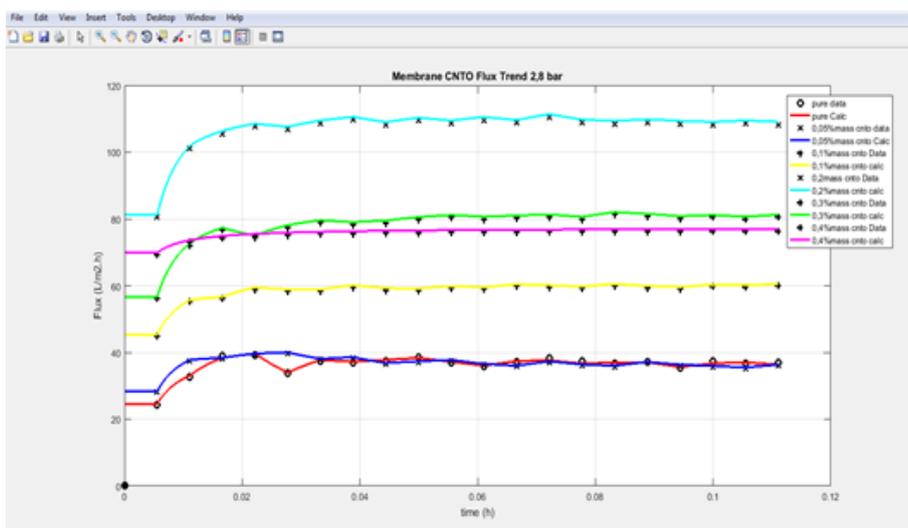
3.1. Pengaruh Penambahan CNTs-O Terhadap Fluks Membran

Porositas dapat didefinisikan ruang kosong pada membran yang dapat diisi oleh air atau suatu larutan tertentu. Porositas suatu membran semakin besar maka volume cairan semakin besar yang dapat mengisi membran tersebut. Porositas dapat ditentukan dari massa membran basah dan membran kering yang dibagi dengan data densitas *solvent* dan polimer sehingga diperoleh nilainya dalam %.

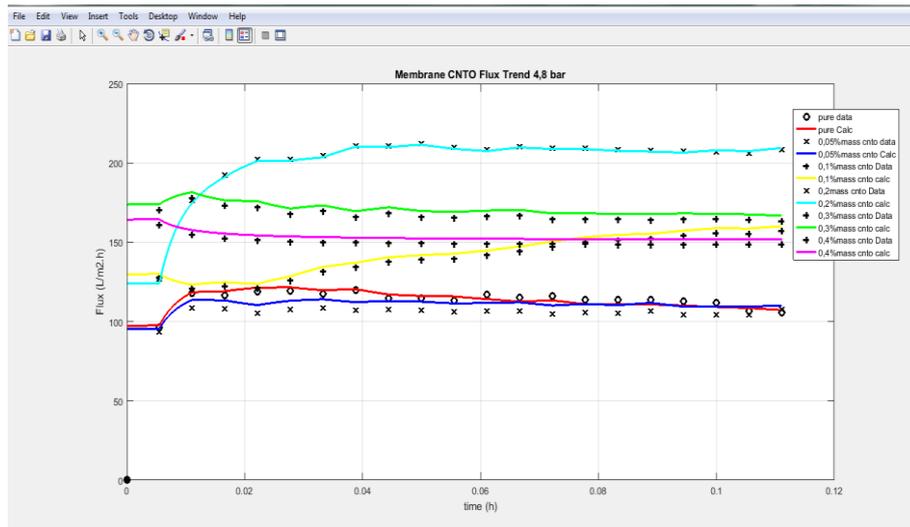
Fluks membran adalah jumlah penurunan laju permeat yang lolos melewati membran pada operasi membran persatuan luas permukaan membran dan persatuan waktu. Pada penelitian ini diperoleh hasil fluks membran kalkulasi dengan menggunakan membran PVDF dengan penambahan CNTs-O dengan konsentrasi %massa nya 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; dan 0,4.



Gambar 2. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 1,80 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-O



Gambar 3. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 2,80 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-O



Gambar 4. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 4,85 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-O

Porositas dapat ditingkatkan dengan penambahan CNT. Nilai porositas semakin besar maka nilai fluks membran juga semakin besar karena semakin banyak permeat yang lolos membran. Penambahan CNTs-O lebih dari 0,2 %massa akan menyebabkan porositas berkurang sehingga permeat yang lolos membran akan berkurang. Grafik 0,2 %massa ditunjukkan grafik berwarna *cyan*. Pada penambahan 0,3 %massa dan 0,4 %massa terjadi penurunan fluks setelah penambahan 0,2% massa.

Permeat yang berkurang disebabkan adanya porositas yang berkurang. Hal tersebut karena aglomerasi pengotor atau pengumpulan partikel pengotor pada konsentrasi yang relatif tinggi. Sehingga, pengotor akan menutup pori-pori yang mengakibatkan permeat berkurang serta pembentukan pori *macro-void* akan terhambat. Konsentrasi %massa CNT meningkatkan viskositas dari campuran CNTs-O/PVDF dimana akan menyebabkan laju transfer antara pelarut dan non-pelarut melambat.

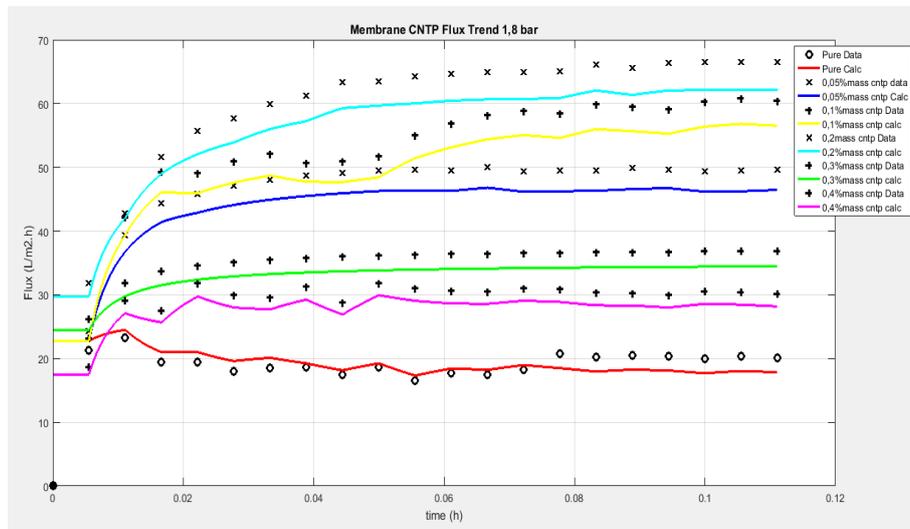
Berdasarkan pemodelan dan simulasi yang dilakukan dengan turunan persamaan Hagen Poiseuille, didapatkan nilai turtousity CNTs-O pada penambahan CNTs-O 0,05%; 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% berturut – turut sebesar 1,7024; 1,7720; 1,7750; 1.7767;1,7480; dan 1,7420, dengan nilai SSE 0,3509; 0,3184; 0,3361; 0,3123; 0,3564; dan 0,3346. Dari nilai tortuosity yang diperoleh diinput ke dalam turunan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille sehingga didapatkan grafik fluks membran kalkulasi di berbagai penambahan CNTs-O.

3.2. Pengaruh Penambahan CNTs-P Terhadap Fluks Membran

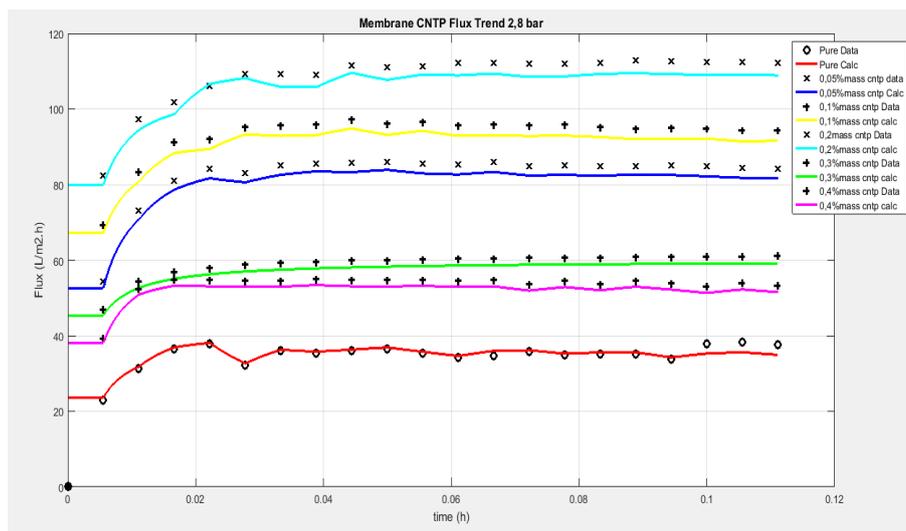
Porositas dinyatakan ruang kosong pada membran yang dapat diisi oleh air atau suatu larutan tertentu. Semakin besar porositas suatu membran maka semakin besar volume cairan yang dapat mengisi membran tersebut. Dalam perhitungan porositas dapat ditentukan dari massa membran basah dan membran kering yang dibagi dengan data densitas *solvent* dan polimer sehingga diperoleh nilainya dalam %.

Fluks membran yaitu penurunan laju permeat yang lolos melewati membran pada operasi membran persatuan luas permukaan membran dan persatuan waktu. Pada penelitian ini diperoleh hasil fluks membran kalkulasi dengan menggunakan membran PVDF dengan penambahan CNTs-P dengan konsentrasi %massa nya 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; dan 0,4.

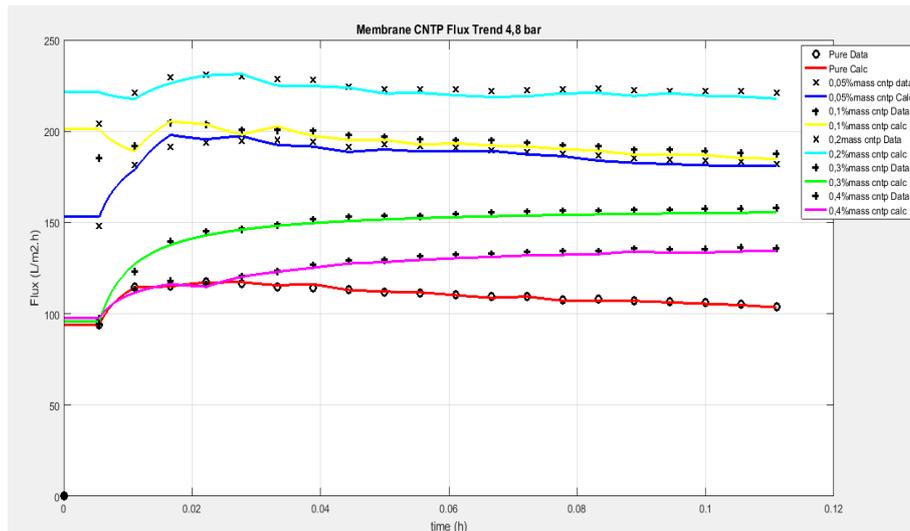
Simulasi Fluks Membran PVDF dengan Penambahan CNTs-O dan CNTs-P Menggunakan Penurunan Persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille



Gambar 5. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 1,80 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-P



Gambar 6. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 2,80 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-P



Gambar 7. Fluks Membran Kalkulasi terhadap Waktu pada Tekanan 4,85 Bar pada Berbagai Penambahan CNTs-P

Porositas dapat ditingkatkan dengan penambahan CNT. Nilai porositas semakin besar maka nilai fluks membran juga semakin besar karena semakin banyak permeat yang lolos membran. Penambahan CNTs-P lebih dari 0,2 %massa akan menyebabkan porositas berkurang sehingga permeat yang lolos membran akan berkurang. Grafik 0,2 %massa ditunjukkan grafik berwarna *cyan*. Pada penambahan 0,3 %massa dan 0,4 %massa terjadi penurunan fluks setelah penambahan 0,2% massa.

Permeat yang berkurang disebabkan adanya porositas yang berkurang. Hal tersebut karena aglomerasi pengotor atau pengumpulan partikel pengotor pada konsentrasi yang relatif tinggi. Sehingga, pengotor akan menutup pori-pori yang mengakibatkan permeat berkurang serta pembentukan pori *macro-void* terhambat. Konsentrasi %massa CNT meningkatkan viskositas dari campuran CNTs-P /PVDF dimana akan menyebabkan laju transfer antara pelarut dan non-pelarut melambat.

Berdasarkan pemodelan dan simulasi yang dilakukan dengan turunan persamaan Hagen Poiseuille, didapatkan nilai turtousity CNTs-P pada penambahan CNTs-P 0,05%; 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% berturut – turut sebesar 1,7751; 1,7793; 1,7777; 1,7997; 1,7642; dan 1,7568, dengan nilai SSE 8,8313; 8,1628; 8,8583; 8,7832; 8,9374; dan 8,2348. Dari nilai tortuosity yang diperoleh diinput ke dalam turunan persamaan Darcy dan Hagen Poiseuille sehingga didapatkan grafik fluks membran kalkulasi di berbagai penambahan CNTs-P.

CNTs-O memiliki sifat *wettable* sehingga berpengaruh pada proses pembentukan membran, dimana porositas seharusnya lebih besar dibanding penambahan CNTs-P. Akan tetapi, fluks kalkulasi yang diperoleh lebih tinggi saat penambahan CNTs-P. Hal ini disebabkan aspek rasio dan ukuran partikel CNTs-O jauh lebih kecil. Selain itu, disebabkan juga karena densitas CNTs-O lebih ringan dibandingkan dengan CNTs-P yang mana akan mengurangi porositas membran sehingga *permeate* yang lolos juga akan semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut persamaan dapat digunakan sebagai pemodelan dalam menentukan fluks membran pada *software* MATLAB, nilai fluks membran kalkulasi τ optimum didapatkan saat penambahan 0,2% massa CNTs-O, dimana jika penambahan lebih dari 0,2 % massa maka nilai fluksnya akan menurun, dan nilai

fluks membran kalkulasi dengan τ optimum didapatkan saat penambahan 0,2% massa CNTs-O, dimana jika penambahan lebih dari 0,2 % massa maka nilai fluksnya akan menurun.

Tabel 1. Hasil *Turtuosity* dan SSE Setiap %massa

%massa	CNTs-O		CNTs-P	
	T	SSE	T	SSE
Pure	1.7024	0,3509	1,7751	8,8313
0,05	1,7720	0,3184	1,7793	8,1628
0,1	1,7750	0,3361	1,7777	8,8583
0,2	1.7767	0,3123	1,7997	8,7832
0,3	1,7480	0,3564	1,7642	8,9374
0,4	1,7420	0,3346	1,7568	8,2348

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal penelitian ini. Penulis menyadari akan banyaknya bantuan serta dukungan dari banyak pihak selama penyusunan jurnal penelitian ini. Penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang sebesar besarnya kepada bapak Jono Suhartono S.T., M.T., PhD. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan wawasan, pengarahan dan dukungan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker. 2004. *Membrane Technology and Application*, England: John Wiley&Sons Ltd.
- Behzad,dkk. 2013. *Turtuosity In Porous Media : Critical Reviews*. University of Southern California. 77(5):1461.
- PERMENKES RI NOMOR 492/2010.(2010).Tentang *Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Diakses dari : pamsimas.org
- Riani, P. 2014. *Preparasi dan Karakterisasi Membran Polisulfon dengan Pengisi Mikrobentoit Sebagai Penyaring Air Gambut*. Medan: Universitas Sumatra Utara. (pp, 1-2).
- Suhartono, J & Tizaoui, C. 2015. *Polyvinylidene Fluoride Membranes Impregnated at Optimised Content of Pristine and Functionalised Multi-walled Carbon Nanotubes for Improved Water Permeation, Solute Rejection and Mechanical Properties*. Swansea: Swansea University. 154 (2015) 290–300