

Pengembangan Sistem Filter Putar Berbasis Aliran Couette-Taylor

Prajitno

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2 Kampus UGM Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

E-mail : prajitno72@yahoo.com

Abstract:

The main hinder in the crossflow filtration is the increase of the cake formation on the filter surface during the operation, therefore resulting in declining the performance until the next back-washing. This research was conducted in order to take the advantage of the Couette-Taylor flow instabilities to control of the flux decline relating to concentration polarization and fouling in water treatment. The vortex-Taylor pattern flow in annulus can be an effective the mixing and separation in filtration process. Due to the vortex-Taylor also move axially it have an cleaning effect on the filter surface then the cake formation is retarded and the filter have a longer running period. In the present experiment study the rotating filter was a filter cartridge with the outer diameter of 65 mm, the inner diameter of 28 mm, and the length of 508 mm. The inner diameter of the outer cylinder was 90 mm, therefore the annulus gap was 12.5 mm. The working fluid was an solution of the plastic powder with the city water with the concentration of 2 gram per liter of water. The rotation speeds of the filter were varied from 0 to 58.25 rpm, and the trans-membrane pressure were varied from 0.494 to 4.299 kPa. The influent flow rate was constant at 2 gpm, and every running time test was 45 minute. From the studies, it was concluded that the rotation have an increasing effect on the flux of the permeate in comparison to without no rotation. It was also found that the flux increases with the rotation and the trans-membrane pressure.

Key words: *Rotating Filter, Couette-Taylor*

Abstrak

Gangguan utama dalam filtrasi aliran melintang adalah peningkatan pembentukan *cake* pada permukaan filter selama operasi, sehingga menurunkan kinerja sampai masa pembersihan berikutnya. Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan keuntungan instabilitas aliran Couette-Taylor untuk mengatur penurunan fluks akibat polarisasi konsentrasi dan fouling dalam system pengolahan air. Pola aliran Couette-Taylor di dalam annulus dapat mengakibatkan pencampuran dan pemisahan menjadi efektif dalam proses filtrasi. Karena pola aliran vortex-Taylor juga bergerak aksial, ia memberikan efek membersihkan pada permukaan filter sehingga pembentukan *cake* dapat dihambat dan umur pakai filter menjadi lebih panjang. Dalam penelitian ini filter putar yang digunakan adalah filter *cartridge* yang mempunyai ukuran diameter luar 65 mm, diameter dalam 28 mm, dan panjang 508 mm. Filter berada di dalam silinder dari bahan acrylic berdiameter dalam 90 mm, sehingga membentuk annulus dengan jarak celah 12,5 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah campuran antara serbuk plastik dan air dengan konsentrasi 2 gram per liter air. Filter diputar dengan variasi putaran 0 – 58,25 rpm, dan tekanan transmembran divariasikan 0,494 – 4,299 kPa. Laju aliran umpan dibuat konstan sebesar 2 gpm, dan setiap pengujian berlangsung 45 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter yang diputar menghasilkan fluks yang lebih besar daripada yang tidak diputar. Selain itu, fluks juga meningkat dengan bertambahnya putaran dan tekanan transmembran.

Keywords: *Filter Putar, Couette-Taylor*

Pendahuluan

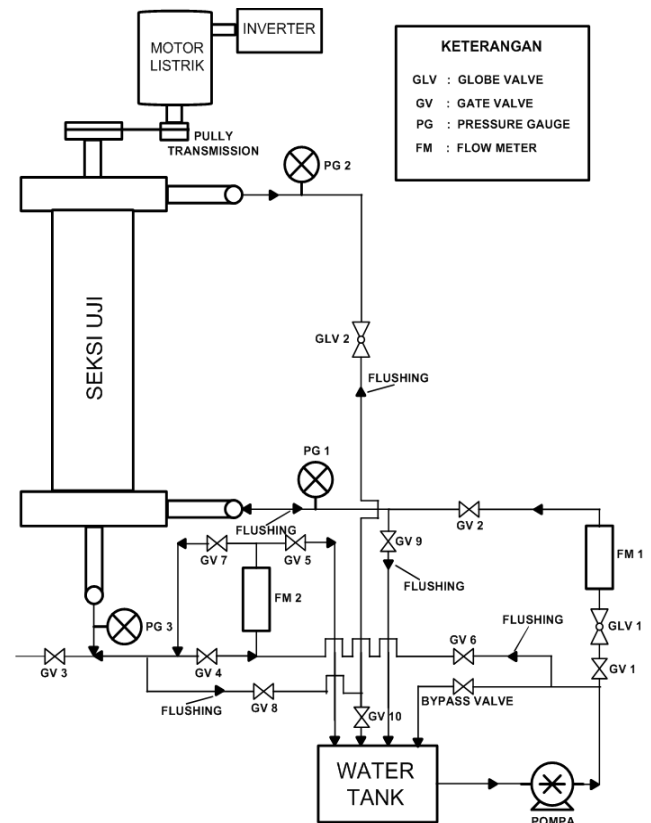
Gangguan utama dalam filtrasi aliran melintang adalah peningkatan pembentukan *cake* pada permukaan filter selama operasi, sehingga menurunkan kinerja sampai masa pembersihan berikutnya. Filter putar adalah sebuah inovasi system filtrasi yang memanfaatkan instabilitas aliran di

dalam annulus dengan silinder dalam berpori yang berputar sedangkan silinder luar diam. Filtrat atau permeat mengalir menembus filter yang berputar dan dikeluarkan melalui poros berlubang. Konsentrat dikeluarkan dari celah annulus pada ujung filter yang berlawanan dengan ujung sisi masuk umpan. Jika filter silindris diputar hingga melampaui putaran

dikeluarkan tertentu maka akan terjadi instabilitas aliran, karena gaya sentrifugal lebih besar daripada gaya viskos fluida. Pola aliran di dalam annulus yang semula berupa aliran Couette melingkar dan bersifat laminar berubah menjadi aliran transisi yang ditandai dengan terbentuknya pola aliran vortex berpasangan dan bergerak melingkar yang disebut juga aliran vortex Taylor atau aliran Couette-Taylor. Jika putaran makin tinggi maka pola aliran berubah menjadi aliran vortex-Taylor bergelombang dan selanjutnya aliran menjadi turbulen. Dalam filtrasi putar yang berbasis aliran Couette-Taylor, gerakan partikel di dalam suspensi tergantung pada sedimentasi sentrifugal dan perpindahan akibat gerakan vortex-Taylor. Gerakan partikel yang densitasnya lebih besar daripada cairan ditentukan oleh kompetisi antara sedimentasi sentrifugal yang berkaitan dengan aliran Couette melingkar, dan gerakan aksial dan radial dari aliran vortex-Taylor. Partikel yang berada di sisi luar vortex bergerak spiral masuk, sedangkan partikel yang berada di dekat pusat vortex bergerak spiral ke arah luar vortex. Walaupun terdapat aliran radial melalui filter, partikel masih dapat berada di zona yang jauh dari permukaan filter. Dengan demikian, dinamika medan aliran mengakibatkan partikel cenderung terlempar menjauh dari permukaan, sehingga filter terhindar dari penyumbatan oleh partikel. Vortex-Taylor juga menimbulkan geseran yang kuat pada permukaan filter sehingga terjadi penurunan fouling yang sangat signifikan, dan kinerja filter meningkat. Suspensi yang bergerak aksial di dalam annulus menimbulkan geseran aksial sehingga juga mempunyai efek membersihkan permukaan filter. Hasil penelitian Schwille dkk. (2001) menunjukkan bahwa putaran mempunyai efek anti fouling yang paling dominan dibandingkan dengan sedimentasi sentrifugal, geseran aksial maupun vortex-Taylor. Kajian teoritis terhadap kinerja Reverse-Osmosis (RO) putar berbasis aliran Couette-Taylor yang dilakukan oleh Lee dan Lueptow (2004) menunjukkan bahwa parameter-parameter operasional yaitu tekanan transmembran, kecepatan putar, dan debit konsentrat berpengaruh terhadap kinerja RO putar yang dinyatakan dengan fluks, rejeksi, *recovery*, dan konsumsi energi. Hasil kajian menunjukkan bahwa fluks dan rejeksi meningkat dengan, tekanan transmembran dan kecepatan putar. Debit konsentrat yang lebih tinggi meningkatkan fluks, tetapi menurunkan *recovery*. Dalam penelitian ini, filter putar difungsikan sebagai mikrofiltrasi pada penyaringan awal dalam tahapan pengolahan air menggunakan filter jenis cartridge yang banyak dijual di pasaran. Dalam jangka panjang filter putar akan dikembangkan sebagai ultrafiltrasi untuk memperoleh air bersih yang berasal dari air limbah atau air kotor.

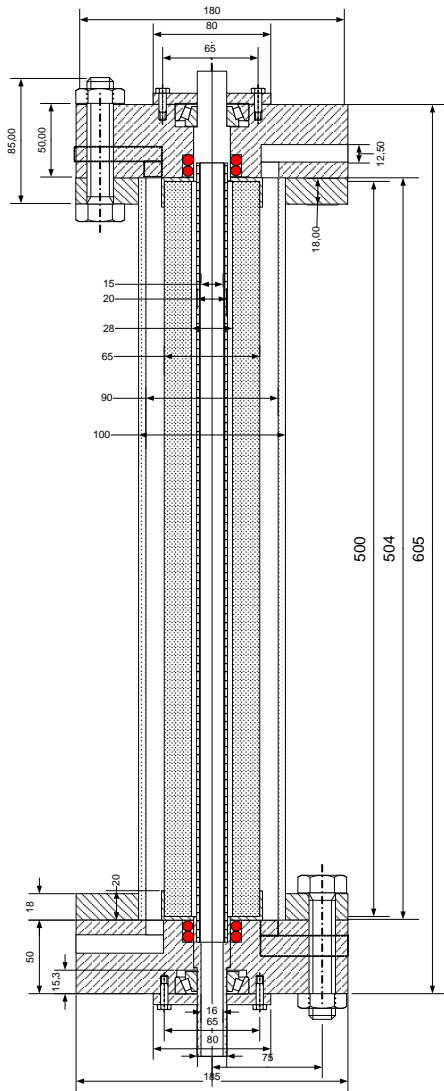
Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Fluida umpan dialirkan dari tangki penampung menuju ke seksi uji menggunakan pompa torak. Debit aliran umpan diukur menggunakan flometer FM1, dan debit permeat diukur menggunakan flowmeter FM2. Variasi putaran filter diperoleh dengan cara mengubah frekuensi listrik yang memutar motor penggerak menggunakan inverter.



Gambar 1. Skema alat penelitian

Tekanan transmembran adalah rata-rata tekanan PG1 dan PG2 dikurangi dengan tekanan PG3. Dalam penelitian ini filter putar yang digunakan adalah filter *cartridge* yang mempunyai pori 1 mikron dengan ukuran diameter luar 65 mm, diameter dalam 28 mm, dan panjang 508 mm, sehingga mempunyai luas permukaan $0,104 \text{ m}^2$. Filter berada di dalam silinder dari bahan acrylic berdiameter dalam 90 mm, sehingga membentuk annulus dengan jarak celah 12,5 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah campuran antara serbuk plastik dan air dengan konsentrasi 2 gram per liter air. Filter diputar dengan variasi putaran 0 – 58,25 rpm, dan tekanan transmembran divariasi 0,494 – 4,299 kPa. Laju aliran umpan dibuat konstan sebesar 2 gpm, dan setiap pengujian berlangsung 45 menit.



Gambar 2. Seksi uji

Hasil dan Pembahasan

Putaran filter (0 – 58,25) rpm menghasilkan bilangan Taylor, $Ta = 0 - 1402$. Bilangan Taylor dihitung dengan persamaan:

$$Ta = \frac{\rho \omega R_1 d}{\mu} \sqrt{\frac{2d}{R_1 + R_2}} \tag{1}$$

Putaran terendah sebesar 11,65 rpm menghasilkan bilangan Taylor, $Ta = 280$ yang telah melampaui bilangan Taylor kritisnya sebesar $Ta_c = 48$, sehingga filter beroperasi dengan pola aliran vortex-Taylor bergelombang.

Fluks permeat adalah debit aliran permeat per satuan luas permukaan filter, dengan satuan liter/(menit.m²). Berdasarkan model *cake filtration*, fluks permeat dapat dihitung dengan persamaan (Belfort dkk. (1993)

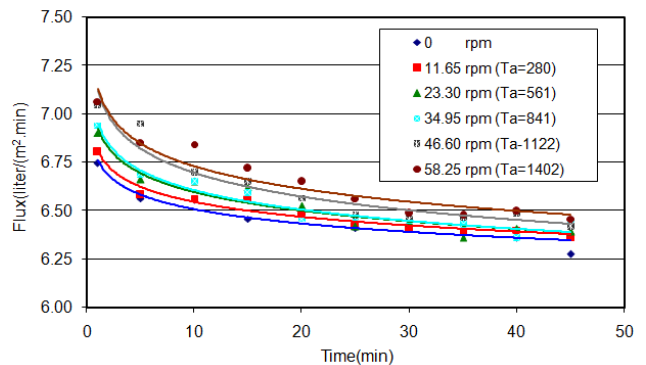
$$Jp = \frac{\Delta p_{TMP}}{(R_m + R_c)} \tag{2}$$

dengan : Δp_{TMP} adalah tekanan transmembran, μ adalah viskositas dinamis, R_m adalah hambatan filter, R_c adalah hambatan filtrasi melalui *cake*. Hambatan filtrasi melalui *cake* dipengaruhi oleh tekanan transmembran (Belfort dkk. (1999) dan tegangan geser melingkar pada permukaan filter (Choi, dkk. (1999). Penurunan fluks (*fluxs drop*) dihitung dengan persamaan :

$$\Delta J = \left(1 - \frac{J_p}{J_i}\right) \times 100\% \tag{3}$$

dengan J_f adalah fluks umpan.

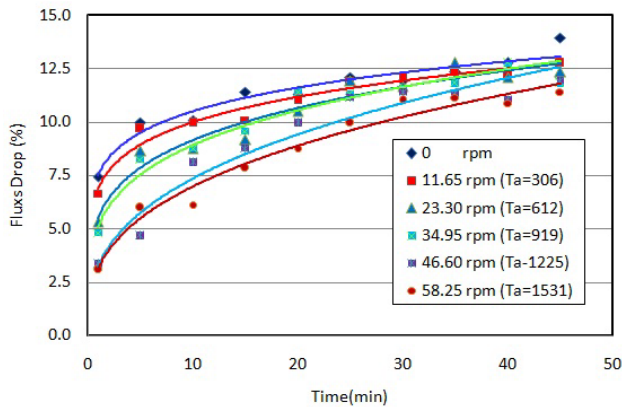
Gambar 3 menunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap fluks permeat untuk debit umpan 0,2 gpm dan tekanan transmembran 2.245 kPa. Pada Gambar 3 tampak bahwa ketika filter diputar menghasilkan fluks yang lebih besar daripada jika tidak diputar. Hal ini menunjukkan bahwa putaran mempunyai efek meningkatkan terhadap fluks permeat. Fluks juga meningkat dengan bertambahnya kecepatan putar, karena laju geseran (*shear rate*) akibat putaran filter makin besar, dan gerakan melingkar dari vortex makin kuat, sehingga mekanisme anti fouling makin baik. Pada putaran 11,65 rpm dan 58,25 rpm, *shear rate* yang terjadi masing masing 13 s⁻¹ dan 143 s⁻¹. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa fluks permeat menurun selama operasi filter, karena terjadi peningkatan pembentukan lapisan *cake* pada permukaan filter.



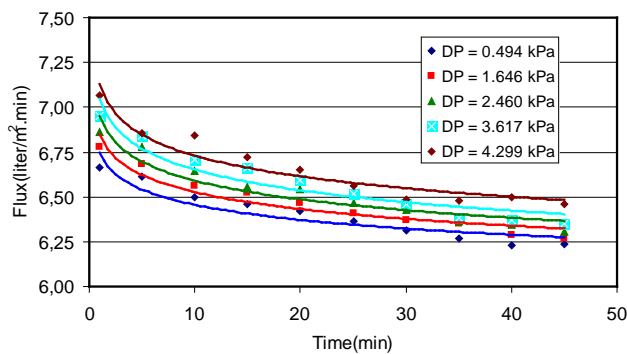
Gambar 3. Pengaruh kecepatan putar terhadap fluks selama operasi 45 menit. Debit umpan 0,2 gpm dan tekanan transmembran 2,245 kPa

Gambar 4 menunjukkan pengaruh putaran filter terhadap penurunan fluks selama operasi filtrasi. Laju penurunan fluks cukup besar pada awal operasi, kemudian berkurang dengan berjalannya waktu. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan *cake* lebih besar pada awal operasi kemudian berkurang ketika lapisan *cake* makin tebal. Satu menit setelah operasi fluks berkurang sebesar 7,4% dan setelah beroperasi selama 45 menit fluks turun sebesar 13,9% ketika filter tidak diputar. Pada putaran 58,25 rpm, satu

menit setelah operasi fluks berkurang sebesar 3,1% dan setelah beroperasi selama 45 menit fluks turun sebesar 11,4%.



Gambar 4. Pengaruh kecepatan putar terhadap penurunan fluks selama operasi 45 menit. Debit umpan 0,2 gpm dan tekanan transmembran 2,245 kPa



Gambar 5. Pengaruh tekanan transmembran terhadap fluks selama operasi 45 menit. Debit umpan 0,2 gpm dan putaran 58,25 rpm

Gambar 5 menunjukkan pengaruh tekanan transmembran terhadap fluks selama operasi 45 menit. Debit umpan 0,2 gpm dan putaran 58,25 rpm. Tampak bahwa fluks permeat meningkat dengan bertambahnya tekanan transmembran. Karena fluks permeat sebanding dengan tekanan transmembran, maka dengan tekanan transmembran yang makin besar berarti permeat mempunyai kemampuan yang makin besar untuk menembus filter dengan hambatan aliran yang terjadi.

Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Fluks menurun selama beroperasi akibat fouling. *Cake* terbentuk lebih cepat pada awal operasi, kemudian melambat
2. Flux untuk filter yang berputar lebih besar daripada untuk filter yang diam. Fluks meningkat dengan bertambahnya putaran, karena tegangan geser pada permukaan filter makin besar, dan vortex yang terbentuk makin kuat

3. Fluks meningkat dengan pertambahannya tekanan transmembran pada putaran konstan, karena tekanan transmembran hampir tidak tergantung pada hambatan aliran

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan biaya Hibah Penelitian Program S2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM tahun 2011.

Nomenklatur

d	jarak celah annulus (m)
J	fluks permeat (liter min ⁻¹ m ⁻²)
R	jari-jari atau radius (m)
	hambatan filtrasi (m ⁻¹)
Ta	bilangan Taylor
p	tekanan (Pa atau Nm ⁻²)

Greek letters

Δp	penurunan tekanan (Pa atau N m ⁻²)
ΔJ	penurunan fluks (%)
ρ	densitas (kg m ⁻³)
μ	viscositas dinamis (Pa.s)
ω	kecepatan sudut (rad s ⁻¹)

Subsripts

1	silinder bagian dalam
2	silinder bagian luar
c	<i>cake</i>
m	membrane/filter
p	permeat
f	Umpan
TMP	Transmembrane pressure

Referensi

- Belfort, G., Pimbley, J.M., Greiner, A., Chung, K.Y., Diagnosis of membrane fouling using a rotating annular filter. 1. Cell culture media, *Journal of Membrane Science*, 77, 1 – 22 (1993)
- Choi, C.K., Park, J.Y., Park, W.C., Kim, J.J., A study on dynamic separation of silica slurry using a rotating membrane filter: 2. Modelling of cake formation, *Journal of Membrane Science*, 157, 177 – 187 (1999)
- Lee, S. and Lueptow, R.M., Rotating reverse osmoses for water recovery in space: influence of operational parameters on RO performance, *Desalination*, Vol. 169, 109-120 (2004)
- Schwille, J.A., Mitra, D., and Lueptow, R.M., Anti-Fouling Mechanisms in Rotating Filtration, 12th International Couette-Taylor Workshop, Evansville, USA, September 6-8 (2001)