

## Pengaruh Ukuran Serbuk Sekam dan Kecepatan Putar terhadap Kinerja *Rotating Filter* yang Menggunakan Filter Keramik

Prajitno<sup>1,a\*</sup>, Rialino<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, Indonesia

email: prajitno@ugm.ac.id, haryorialino@ymail.com

### Abstrak

*Rotating filter* merupakan inovasi dalam sistem pengolahan air untuk mengurangi laju *fouling* akibat polarisasi konsentrasi dan pembentukan *cake* pada permukaan filter. *Rotating filter* bekerja berdasarkan instabilitas aliran di dalam annulus dengan silinder bagian dalam berupa filter yang berputar dan silinder luar diam. Pada kecepatan putar yang rendah, aliran dalam keadaan laminar yang stabil, dan pola aliran di dalam annulus berupa aliran Cuette melingkar. Jika kecepatan putar silinder bagian dalam mencapai kecepatan tertentu maka terjadi instabilitas dan transisi aliran yang ditandai dengan terbentuknya pola aliran vortex-Taylor berpasangan yang bergerak melingkar dan aksial. Geseran akibat aliran aksial dan melingkar, aliran vortex, dan gaya sentrifugal memberikan kontribusi terhadap pembersihan permukaan filter sehingga dapat menurunkan laju fouling dan memperpanjang masa operasi sampai saat diperlukan pembersihan berikutnya. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh ukuran serbuk sekam dan kecepatan putar terhadap kinerja rotating filter yang menggunakan filter keramik. Filter yang digunakan mempunyai ukuran panjang 50 cm, diameter luar 65 mm dan diameter dalam 28 mm. Silinder luar berdiameter 90 mm sehingga annulus yang terbentuk mempunyai jarak celah 12,5 mm. Filter dibuat dari campuran antara tanah liat dan bahan organik berupa serbuk sekam, dengan perbandingan komposisi 1:1. Tanah liat dibuat serbuk dengan mesh 120, sedangkan ukuran serbuk sekam bervariasi mesh 30, 50, dan 80. Adonan yang berupa campuran tanah liat dan serbuk sekam dicetak, kemudian dikeringkan selama 1 minggu, selanjutnya dibakar pada temperatur 850 °C. Kecepatan putar bervariasi yaitu 0;15;30;45;60; dan 75 rpm. Fluida umpan berupa air sungai dengan debit dibuat konstan sebesar 0,8 gpm. Setiap pengujian dilakukan selama 90 menit dan flushing selama 15 menit. Dari 3 macam ukuran serbuk sekam di atas diperoleh hasil pengujian porositas menurut ASTM C373 – 88 masing-masing 49,5%;57,1%;57,5%. Hal ini menunjukkan bahwa makin halus serbuk sekam yang digunakan menghasilkan pori-pori yang makin kecil tetapi makin banyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fluks menurun tajam pada awal operasi kemudian menjadi landai pada waktu-waktu berikutnya. Hal ini terjadi karena pada awal operasi terjadi penyempitan pori-pori filter akibat adsorbsi oleh partikel padatan pada permukaan pori-pori kemudian mulai terbentuk *cake* pada permukaan filter akibat deposisi partikel-partikel padatan pada permukaan filter. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa serbuk sekam yang lebih halus menghasilkan fluks yang lebih kecil daripada filter yang menggunakan serbuk sekam lebih kasar. Jika filter diputar dengan kecepatan makin tinggi, fluks yang dihasilkan makin besar. Hal ini menunjukkan bahwa efek aliran sekunder memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pembersihan permukaan filter dan penurunan laju fouling.

**Kata kunci :** *Rotating filter*, filter keramik, serbuk sekam, fluks, *fouling*.

### Pendahuluan

Filter keramik adalah filter yang pada umumnya berbentuk seperti pot tanaman, dan terbuat dari campuran tanah liat dan bahan organik dengan perbandingan komposisi tertentu untuk memperoleh sifat porositasnya. Filter keramik berbentuk pot telah banyak digunakan untuk penyediaan air bersih karena sistemnya sederhana, murah harganya, dan sudah mampu

menyaring bakteri dan protozoa. Selain belum efektif untuk memisahkan virus, filter jenis ini masih mempunyai kelemahan lain yaitu mudah pecah, debit yang dihasilkan rendah karena bekerja berdasarkan gaya gravitasi, dan harus sering dibersihkan karena terjadi fouling pada permukaan filter. Kinerja suatu filter yang dinyatakan dengan debit aliran permeat per satuan luas permukaan filter adalah sebanding dengan

tekanan transmembran, dan berbanding terbalik dengan hambatan aliran filter yang dipengaruhi oleh porositas filter. Untuk mengurangi laju penurunan fluks dapat dilakukan dengan perlakuan terhadap air baku misalnya dengan pengendapan sebelum dilakukan filtrasi. Selain itu cara filtrasi dilakukan dengan mengalirkan air baku secara tangensial atau melintang terhadap permukaan filter sehingga deposisi partikel padatan terbawa oleh aliran konsentrat, atau dengan menimbulkan gaya sentrifugal untuk mengurangi deposisi partikel pada permukaan filter. Lee dan Lueptow [1] melakukan penelitian filtrasi Reverse Osmoses (RO) menggunakan filter berbentuk silinder yang diputar dengan memanfaatkan geseran dan instabilitas aliran sentrifugal untuk mengurangi polarisasi konsentrasi dan menurunkan fouling. Sistem filtrasi terdiri atas filter berbentuk silinder yang diputar di dalam silinder luar yang diam. Pola aliran vortex yang terjadi akibat instabilitas sentrifugal dan geseran melingkar menghasilkan penurunan yang sangat signifikan terhadap deposisi partikel di dekat permukaan filter jika dibandingkan dengan filtrasi dengan cara *dead-end* atau aliran melintang. Karena pola aliran vortex-Taylor juga bergerak aksial, mekanisme yang berperan dalam penurunan fouling adalah (1) geseran aksial akibat aliran Poiseuille di dalam annulus, (2) geseran akibat aliran Couette melingkar yang ditimbulkan oleh putaran, (3) sedimentasi sentrifugal yang dihasilkan oleh medan kecepatan putar, dan (4) vortex- Taylor yang terdapat di dalam annulus yang mencuci partikel menjauh dari permukaan filter [2]. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh ukuran serbuk sekam dan kecepatan putar terhadap kinerja *rotating filter* dari bahan keramik.

### Metodologi

Filter dibuat dengan bahan baku sekam padi kering dan tanah liat. Tanah liat yang digunakan berupa genteng cetak yang sudah dikeringkan, kemudian dihaluskan menjadi serbuk dengan ukuran 120 mesh. Sekam padi dihaluskan menggunakan crusher, dan dibuat menjadi 3 macam variasi ukuran, yaitu masing-masing 30, 50, dan 80 mesh. Bahan baku kemudian dibuat adonan dengan perbandingan volume tanah liat, serbuk sekam, dan air yang digunakan adalah 1,2 : 1,2 : 1. Adonan dicetak dengan cara ditekan menggunakan alat cetak yang khusus dibuat untuk keperluan ini. Gambar 1 menunjukkan bahan baku yaitu sekam padi dan serbuk tanah liat yang sudah dikeringkan. Gambar 2 menunjukkan sekam dan tanah liat yang sudah dihaluskan menggunakan

*crusher*. Gambar 3 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk membuat filter.



(a) (b)

Gambar 1. Bahan baku :

- (a) sekam padi
- (b) tanah liat kering



(a) (b)

Gambar 2. Bahan baku yang telah dihaluskan :

- (a) Sekam
- (b) Tanah liat



Gambar 3. Peralatan cetak filter

Filter hasil cetakan kemudian dikeringkan dengan cara tidak langsung terkena sinar matahari selama 2 minggu agar tidak terjadi retak, atau menggunakan pengering dengan lampu sebagai pemanas, seperti tampak pada Gambar 4(a). Filter yang sudah kering kemudian dioven dengan pemanasan secara bertahap hingga temperaturnya mencapai 850 °C. Dalam proses ini, serbuk sekam yang terbakar membentuk pori-pori di antara partikel-partikel keramik.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Pengering dengan lampu pemanas  
(b) Filter kering



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Oven  
(b) Filter setelah dioven

Gambar 5 (a) menunjukkan oven yang digunakan, dan Gambar 5 (b) menunjukkan filter yang telah dioven. Filter direndam selama 24 jam di dalam air untuk mengeluarkan abu dari filter, kemudian dikeringkan lagi sebelum dilakukan pengujian porositas mengikuti standar ASTM C373 – 88. Gambar 6 (a) menunjukkan perendaman filter setelah dioven, dan Gambar 6 (b) menunjukkan pengujian porositas dengan cara gravimetri. Perhitungan-perhitungan dilakukan berdasarkan massa kering (D), massa filter ketika berada di dalam air (S), dan massa filter dalam keadaan jenuh air (M). Volume eksterior dihitung dengan persamaan

$$V = \frac{(M - S)}{\rho_w} \text{ cm}^3, \quad (1)$$

dengan asumsi densitas air,  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ .

Porositas menyatakan perbandingan antara volume rongga pori dan volume eksterior, dan dinyatakan dalam persen dengan persamaan

$$P = \frac{(M - D)}{V} \times 100\% \quad (2)$$

Massa jenis filter diperoleh dari massa kering (D) dibagi dengan volume eksterior (V) atau

$$\rho_B = \frac{D}{V} \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

Kemampuan penyerapan air dihitung dengan persamaan

$$A = \frac{(M - D)}{D} \times 100\% \quad (4)$$

Berat spesifik (*specific gravity*) dihitung dengan persamaan

$$T = \frac{D}{D - S} \quad (5)$$

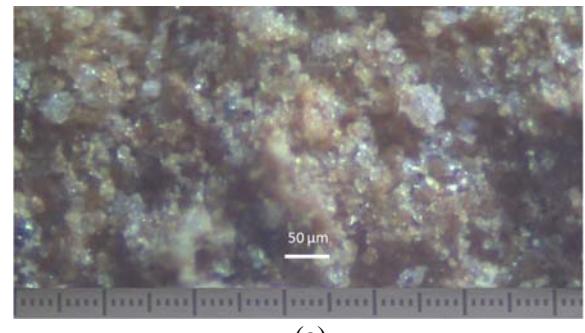


(a)

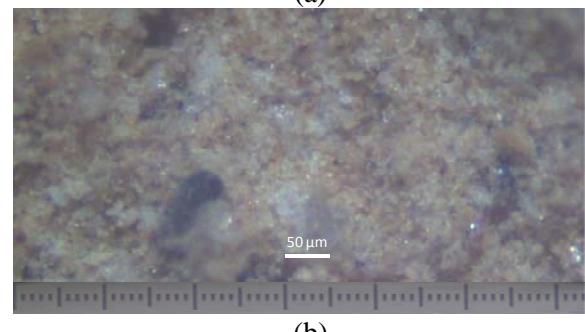


(b)

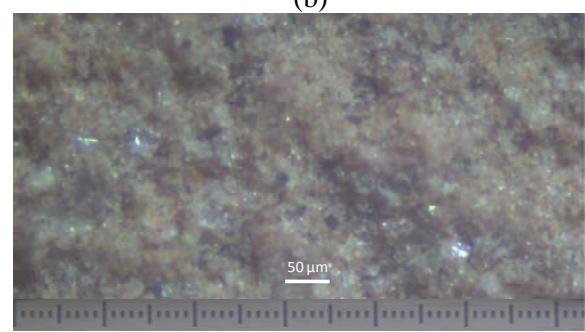
Gambar 6. (a) Perendaman filter  
(b) Pengujian sifat porositas



(a)



(b)



(c)

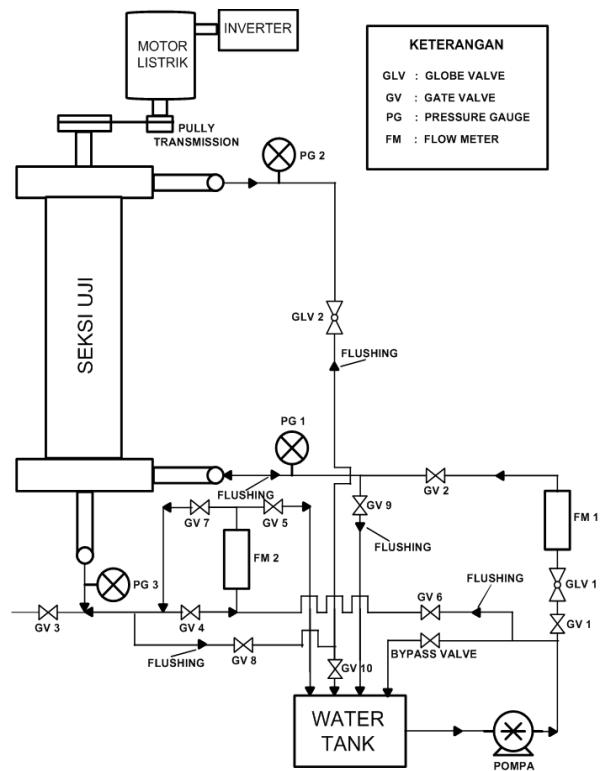
Gambar 7. Foto mikroskopis filter keramik.  
(a) Dengan serbuk sekam 30 mesh  
(b) Dengan serbuk sekam 50 mesh

(c) Dengan serbuk sekam 80 mesh

Gambar 7 menunjukkan foto mikroskopis filter keramik dengan pembesaran 50 kali untuk 3 variasi ukuran serbuk sekam. Filter tampak makin padat dan berpori makin kecil jika menggunakan serbuk sekam yang makin halus. Gambar 8 (a) menunjukkan foto peralatan penelitian, dan Gambar 8 (b) menunjukkan foto seksi uji berupa filter yang dipasang di dalam tabung silinder dari bahan acrylic. Filter dipasang pada poros berlubang untuk dilalui oleh permeat hasil filtrasi. Filter mempunyai ukuran diameter luar 65 mm, diameter dalam 28 mm, panjang 50 cm , dan mempunyai luas efektif permukaan luar filter  $0,089 \text{ m}^2$ . Silinder luar berdiameter 90 mm, sehingga annulus yang terbentuk mempunyai jarak celah 12,5 mm.



Gambar 8. (a) Peralatan pengujian  
(b) Seksi uji



Gambar 9. Skema alat penelitian

Gambar 9 menunjukkan skema peralatan penelitian. Air umpan berupa air sungai disirkulasi dari tangki penampung menggunakan pompa menuju ke bagian bawah seksi uji melalui flow meter FM1 untuk mengetahui debit umpan. Air konsentrat keluar melalui bagian atas seksi uji mengalir menuju tangki penampung, sedangkan permeat keluar melalui poros berlubang menuju ke tangki penampung lewat flow meter FM2 untuk mengetahui debit permeat yang dihasilkan. Kecepatan putar filter diatur menggunakan inverter dengan variasi yaitu 0;15;30;45;60;75 rpm. Debit air umpan dibuat konstan sebesar 0,8 gpm. Setiap pengujian dilakukan selama 90 menit dan flushing selama 15 menit.

### Hasil Penelitian

Tabel 1 menunjukkan berat jenis, porositas, dan kemampuan menyerap air untuk masing-masing filter dengan ukuran serbuk sekam 30, 50, dan 80 mesh. Tampak bahwa semakin lembut ukuran sekam, porositas makin besar dan kemampuan menyerap air makin besar tetapi makin ringan.

Tabel 1. Hasil pengujian porositas filter

Serbuk Sekam [Mesh]	Massa Jenis [g/cm <sup>3</sup> ]	Porositas [%]	Kemampuan Menyerap Air [%]
30	0,981	49,5	50,5
50	0,841	57,1	67,8

80	0,826	57,5	69,6
----	-------	------	------

Pada putaran terrendah yaitu 15 rpm kondisi aliran sudah tidak stabil dan terbentuk pola aliran vortex-Taylor karena bilangan Reynolds melingkar yang dihitung dengan persamaan

$$Re = \frac{\omega R_1 d}{v} \quad (6)$$

dan bilangan Taylor yang dihitung dengan persamaan

$$Ta = Re \sqrt{\frac{d}{R_1}}, \quad (7)$$

diperoleh  $Re = 734$  dan  $Ta = 160$ , yang sudah melampaui bilangan Reynolds kritis yang dihitung dengan persamaan

$$Re_c = 41,2 \left( \frac{d}{R_1} \right)^{-0,5} + 27,2 \left( \frac{d}{R_1} \right)^{0,5} + 2,8 \left( \frac{d}{R_1} \right)^{1,5} \quad (8)$$

dan diperoleh  $Re_c = 84$  dan  $Ta_c = 48$ . Pada debit umpan sebesar 0,8 gpm diperoleh bilangan Reynolds aksial yang dihitung dengan persamaan

$$Re_z = \frac{2V_z d}{v}, \quad (9)$$

diperoleh  $Re_z = 477$  menunjukkan bahwa aliran aksial masih laminar. Bilangan Reynolds melingkar dan bilangan Taylor untuk kecepatan putar lainnya dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 juga ditunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap laju geseran melingkar yang dihitung dengan persamaan

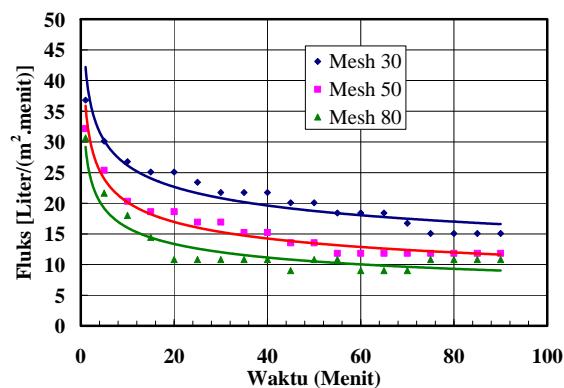
$$\dot{\gamma} = \frac{0,23(Ta)^{0,5} \omega R_1}{d} \quad (10)$$

Tampak pada Tabel 2 bahwa instabilitas sentrifugal dan laju geseran pada permukaan filter meningkat dengan bertambahnya kecepatan putar, sehingga keduanya memberikan kontribusi terhadap penurunan fouling.

Tabel 2. Nilai Re dan Ta

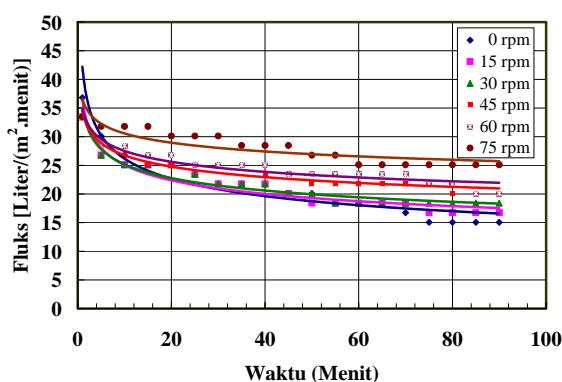
Kecepatan Putar [rpm]	Re	Ta	$\dot{\gamma}$ [1/s]
0 (diam)	0	0	0
15	734	455	20
30	1468	911	57
45	2202	1366	104
60	2936	1822	160

75	3670	2277	224
----	------	------	-----

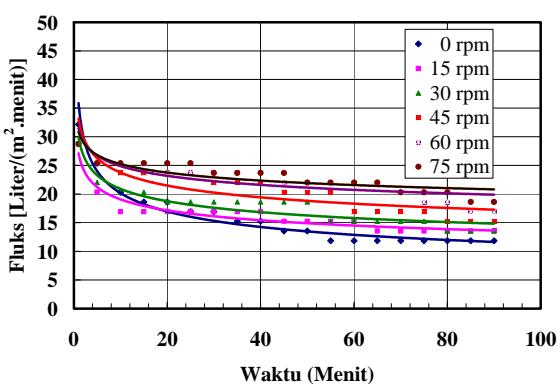


Gambar 10. Pengaruh ukuran serbuk sekam terhadap fluks ketika filter tidak diputar

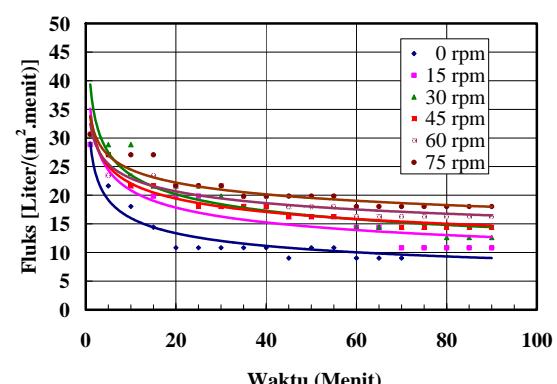
Gambar 10 menunjukkan pengaruh ukuran serbuk sekam terhadap fluks permeat ketika filter tidak diputar untuk debit umpan sebesar 0,8 gpm. Tampak bahwa filter yang menggunakan serbuk sekam 80 mesh menghasilkan fluks permeat yang paling rendah dari tiga filter yang diuji. Setelah pengujian selama 90 menit, filter dengan sekam 30 mesh menghasilkan fluks permeat sekitar 15 liter/(m<sup>2</sup>.menit), filter dengan sekam 50 mesh menghasilkan fluks permeat sekitar 12 liter/(m<sup>2</sup>.menit), dan filter dengan sekam 80 mesh menghasilkan fluks permeat sekitar 10 liter/(m<sup>2</sup>.menit). Hal ini disebabkan karena filter mempunyai ukuran pori yang paling kecil sehingga mempunyai hambatan membran yang paling besar, dan untuk mengalirkan debit umpan yang sama memerlukan tekanan transmembran yang lebih besar. Pada Gambar 10 juga tampak bahwa pada awal proses filtrasi, fluks menurun tajam kemudian berangsur-angsurnya menurun landai. Hal ini disebabkan karena pada awal proses, terjadi penyempitan pori oleh partikel-partikel yang lebih kecil daripada lubang pori dan menempel pada permukaan filter. Dalam fase berikutnya, terjadi penyumbatan pada sebagian lubang pori, dan deposisi pada permukaan filter oleh partikel-partikel yang ukurannya lebih besar daripada ukuran lubang pori sehingga terbentuk cake pada permukaan filter.



Gambar 11. Pengaruh kecepatan putaran terhadap fluks pada filter dengan sekam mesh 30



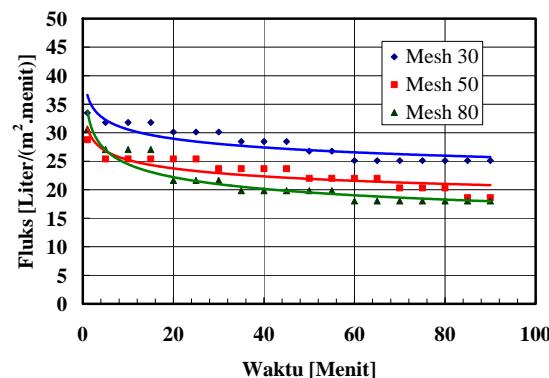
Gambar 12. Pengaruh kecepatan putaran terhadap fluks pada filter dengan sekam mesh 50



Gambar 13. Pengaruh kecepatan putaran terhadap fluks pada filter dengan sekam mesh 80

Gambar 11, 12, dan 13 menunjukkan pengaruh kecepatan putaran filter terhadap fluks untuk filter yang menggunakan sekam berukuran masing-masing 30, 50, dan 80 mesh. Tampak bahwa fluks meningkat dengan kenaikan kecepatan putar yang mengakibatkan peningkatan geseran melingkar dan vortex-Taylor sehingga menurunkan polarisasi konsentrasi di dekat permukaan filter dan menghasilkan pencampuran fluida yang merata di dalam annulus. Untuk 3 filter yang diuji

pada kecepatan putar 75 rpm, dihasilkan peningkatan fluks permeat sekitar 60% lebih besar jika dibandingkan dengan fluks permeat ketika filter tidak diputar.



Gambar 14. Pengaruh ukuran serbuk sekam terhadap fluks ketika filter diputar pada 75 rpm

Pengaruh kecepatan putaran terhadap peningkatan fluks tampak lebih jelas pada Gambar 14 bahwa penurunan fluks yang tajam pada fase awal proses filtrasi berlangsung dalam waktu yang pendek karena pengaruh aliran sekunder cukup besar. Walaupun demikian tekanan transmembran sebenarnya berkurang dengan peningkatan gaya sentrifugal akibat kecepatan putar yang meningkat. Selain itu, hambatan pada *cake* dipengaruhi oleh tekanan transmembran dan gaya sentrifugal[3]. Penurunan tekanan transmembran dan peningkatan hambatan pada lapisan *cake* oleh pengaruh gaya sentrifugal mengakibatkan penurunan fluks.

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Serbuk sekam yang lebih halus menghasilkan porositas filter yang lebih tinggi, tetapi menghasilkan fluks yang lebih kecil karena ukuran pori yang lebih kecil menghasilkan hambatan membran yang lebih tinggi
2. Kenaikan kecepatan putar meningkatkan fluks karena aliran sekunder mampu menurunkan laju fouling dan menghasilkan pencampuran fluida yang merata di dalam annulus.

### Daftar Lambang

- A = Kemampuan penyerapan air  
d = Jarak celah annulus  
D = Massa filter kering  
M = Massa filter jenuh air

P = Porositas

R<sub>1</sub> = Jari-jari luar filter

R<sub>2</sub> = Jari-jari dalam silinder luar

Re = Bilangan Reynolds melingkar

Re<sub>c</sub> = Bilangan Reynolds melingkar kritis

Re<sub>z</sub> = Bilangan Reynolds aksial

S = Massa filter ketika terrendam air

T = Berat spesifik

Ta = Bilangan Taylor

Ta<sub>c</sub> = Bilangan Taylor kritis

V = Volume eksterior

V<sub>z</sub> = Kecepatan aliran aksial rata-rata

$\omega$  = Kecepatan sudut

$\nu$  = Viskositas kinematis

$\rho_B$  = Massa jenis filter

$\rho_w$  = Massa jenis air

$\dot{\gamma}$  = Laju geseran (*Shear rate*)

### Referensi

- [1] S.Lee, R.M.Lueptow, Experimental verification of a model for rotating reverse osmosis, Desalination 146 (2002) 353–359
- [2] J.A. Schwille, D. Mitra, and R.M.Lueptow, Anti-Fouling Mechanisms in Rotating Filtration, 12<sup>th</sup> International Couette-Taylor Workshop, Evansion IL., USA, September 6-8,2001.
- [3] G.Belfort, J.M.Pimbley, A.Greiner, K.Y.Chung, Diagnosis of membrane fouling using a rotating annular filter 1. Cell culture media, Journal of Membrane Science 77(193) 1-22