

FENOMENA ALIRAN TAYLOR COUETTE POISEUILLE DENGAN ALIRAN AKSIAL-RADIAL DI DALAM SILINDER KONSENTRIS

Sarip

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
E-mail: hidayatullohsarip566@gmail.com

Masuk: 27-08-2020, revisi: 25-04-2021, diterima untuk diterbitkan: 30-04-2021

ABSTRAK

Proses penyaringan yang menggunakan teknologi membran merupakan modifikasi dari aliran *Taylor-Couette*, yaitu aliran diantara dua buah silinder konsentris yang berputar dengan aliran aksial dan radial serta memanfaatkan vortex yang terjadi pada aliran *Taylor-Couette* yang dapat meningkatkan efisiensi membran. Tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui fenomena aliran *Taylor Couette Poiseuille* dengan aliran aksial-radial di dalam silinder konsentris. Penelitian menggunakan seksi uji berupa dua silinder konsentris, yang mana silinder bagian dalam berputar sebagai membran sedangkan silinder luar diam dengan tinggi 500 mm, perbandingan radius 0,72; perbandingan aspek 40 dan celah silinder 12,5 mm. Putaran silinder bagian dalam diatur menggunakan inverter untuk mendapatkan putaran yang diharapkan. Fenomena pengamatan pola aliran dilakukan dengan menggunakan camera digital pada putaran silinder bagian dalam yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan putaran silinder bagian dalam mempengaruhi pola aliran *Taylor-Couette* yang terbentuk secara berjenjang yaitu *Couette laminar*, *Taylor-vortex* yang ditandai dengan munculnya *vortex* yang saling berpasangan, berlawanan arah yang terjadi di sepanjang aliran, *wavy vortex* dan *vortex turbulent*. Perubahan porositas membran juga menunjukkan pengaruh fenomena aliran *Taylor Couette Poiseuille* dengan aliran aksial-radial yang semakin tinggi maka transisi terjadinya *vortex* terjadi pada bilangan *Taylor* yang lebih tinggi pula berarti stabilitas aliran *Couette-Poiseuille* meningkat.

Kata kunci : Aliran aksial-radial; Silinder konsentris; Fenomena aliran *Taylor-Couette*.

ABSTRACT

The filtering process using membrane technology is a modification of Taylor-Couette flow, which is a flow between two concentric cylinders that rotates with axial and radial flow and utilizes the vortex that occurs in Taylor-Couette flow which can increase membrane efficiency. The purpose this study was to determine the phenomenon of the Taylor Couette Poiseuille flow with axial-radial flow in concentric cylinders. The study was used a test section in the form of two concentric cylinders, in which the inner cylinder rotates as a membrane while the outer cylinder is stationary with a height of 500 mm, a radius ratio of 0.72; aspect ratio 40 and cylinder gap 12.5 mm. The inner cylinder rotation is set using an inverter to get the expected rotation. The phenomenon of observing flow patterns is done by using digital cameras on different inner cylinder turns. The results showed that changes in the inner cylinder rotations affect the flow pattern of Taylor-Couette that is formed in stages, namely laminar Couette, Taylor-vortex which is characterized by the appearance of paired vortexes, opposite directions that occur along the flow, wavy vortex and turbulent vortex. Changes in membrane porosity also show the effect of Taylor Couette Poiseuille flow phenomena with axial-radial flow which is higher, the transition to vortex occurs at higher Taylor numbers also means that Couette-Poiseuille flow stability increased.

Keywords: axial-radial flow; Concentric cylinders; Taylor-Couette flow phenomenon.

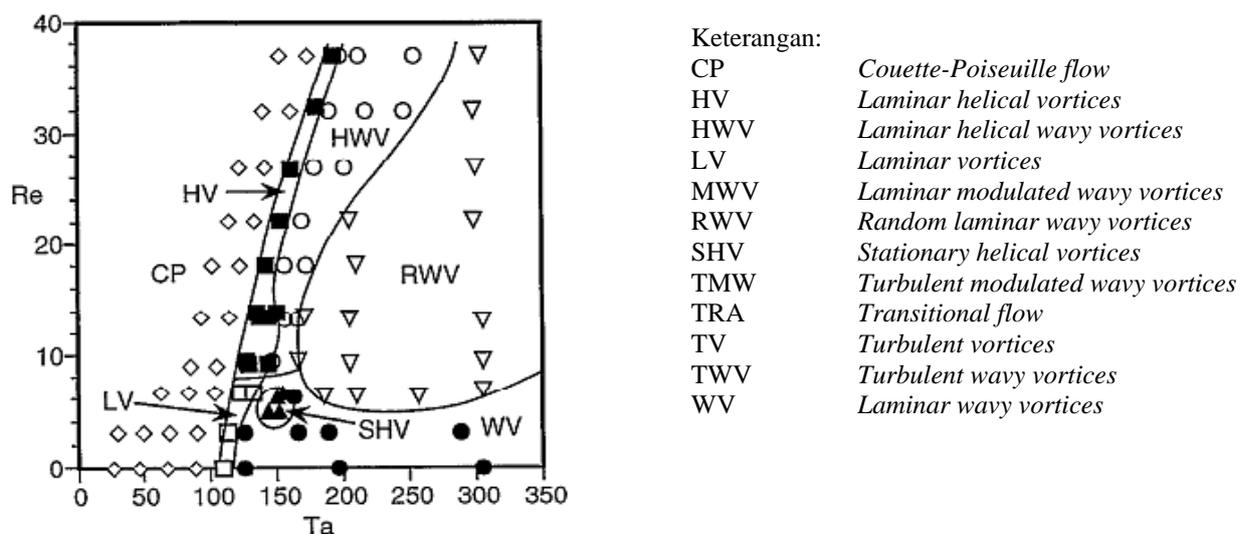
1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan air bersih di perkotaan bisa menjadi permasalahan ketika banyak bahan limbah industri maupun rumah tangga yang dapat mencemari sumber air bersih. Sementara populasi penduduk yang semakin besar juga membuat kebutuhan air bersih meningkat. Permasalahan ini akhirnya bisa melebar menjadi masalah kesehatan dan ekonomi pada masyarakat. Salah satu solusi alternatif dari permasalahan di atas adalah dengan mengupayakan rekayasa daur ulang air melalui proses penyaringan. Dengan penyaringan maka air yang sudah dipakai pada proses industri maupun rumah tangga menjadi bersih lagi dan bisa digunakan kembali. Proses penyaringan yang dapat diterapkan salah satunya adalah dengan menggunakan teknologi membran. Teknologi ini juga dipakai pada proses produksi air minum dengan prinsip *Reverse Osmosis*, yaitu dengan mengalirkan air pada celah di antara dua buah silinder konsentris dengan silinder bagian dalamnya membran.

Proses penyaringan di atas merupakan modifikasi dari aliran *Taylor-Couette*, yaitu aliran diantara dua buah silinder konsentris yang berputar. Leuptow (2004) telah meneliti tentang aliran *Taylor-Couette* dengan variasi penambahan aliran aksial dan radial dengan memanfaatkan *vortex* yang terjadi pada aliran *Taylor-Couette* untuk meningkatkan efisiensi filter. Pola aliran *Couette laminar* dalam sebuah sistem aliran *Taylor-Couette*, akan mengalami transisi ke pola aliran *Taylor vortex* jika putaran silinder bagian dalam dinaikkan sampai melampaui nilai tertentu. Pola aliran *Taylor vortex* ditandai dengan munculnya *vortex* yang saling berpasangan berlawanan arah secara teratur di sepanjang sistem aliran. Perubahan pola aliran pada sistem *Taylor-Couette* atas pengaruh putaran silinder digambarkan dengan cukup lengkap oleh Andereck dkk. (1986) melalui eksperimen yang memvisualisasikan aliran fluida di antara dua silinder konsentris yang berputar secara bebas antara satu dengan yang lainnya.

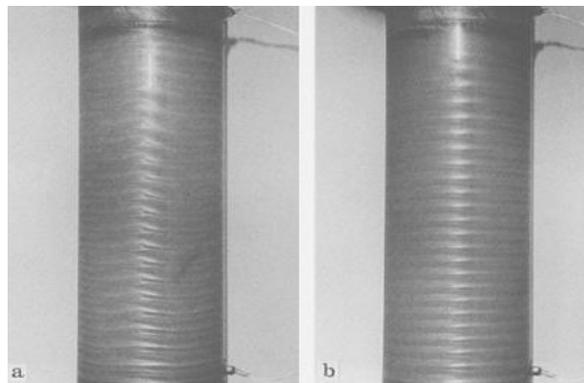
Leuptow dkk. (1992) berdasarkan hasil eksperimen aliran diantara dua buah silinder konsentris dengan perbandingan radius 0,848 dan perbandingan aspek 41, berhasil menyusun peta pola aliran *Couette-Poiseuille* sebagai fungsi dari bilangan *Reynolds* aksial dan bilangan *Taylor* seperti pada gambar 1.



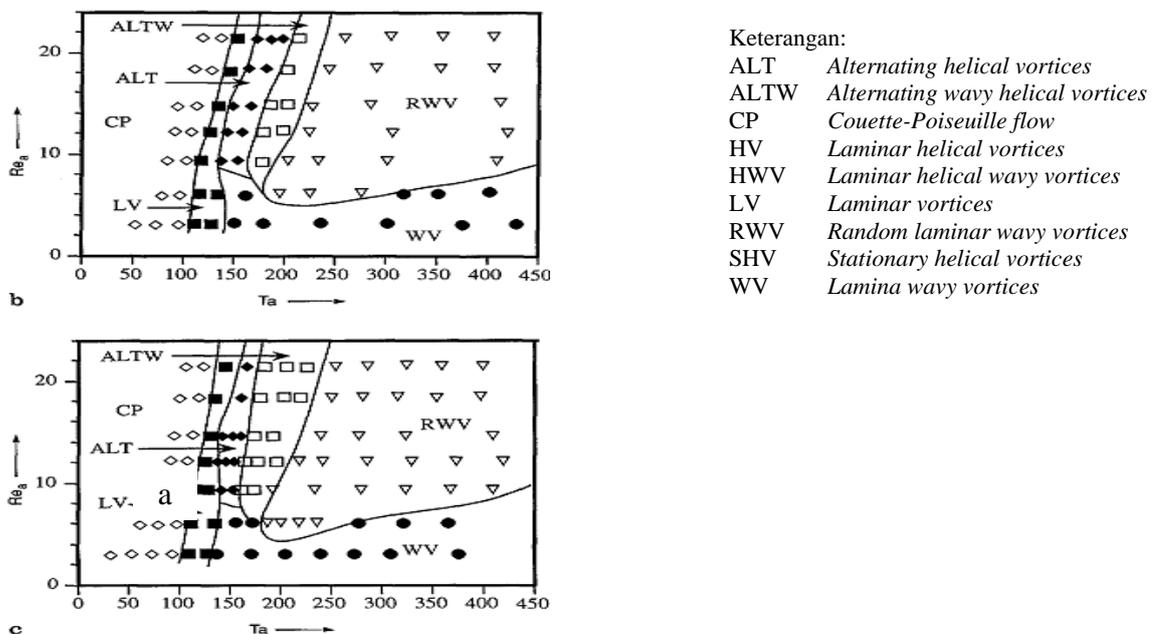
Gambar 1. Peta pola aliran *Taylor-Couette-Poiseuille* dengan silinder bagian dalam berputar sebagai fungsi dari bilangan *Reynolds* aksial dan bilangan *Taylor* (Leuptow dkk., 1992)

Pada aliran *Couette-Poiseuille*, aliran *vortex* terjadi pada bilangan *Taylor* yang lebih tinggi yang dapat meningkatkan stabilitas aliran. Adanya aliran aksial juga dapat menyebabkan munculnya bilangan *Reynold* aksial meningkat sehingga stabilitas aliran semakin baik. Aliran *vortex* yang semakin meningkat dapat meningkatkan gaya sentrifugal pada dinding filter yang dapat menyapu kotoran-kotoran yang menempel sehingga meningkatkan efisiensi.

Leuptow dan Min (1994) melanjutkan eksperimen dengan menggunakan silinder *porous* sebagai silinder bagian dalam yang berputar, sehingga selain aliran melingkar dan aliran aksial juga akan terjadi aliran pada arah radial. Pola aliran yang disusun Leuptow dan Min sebagai fungsi dari bilangan *Reynolds* aksial dan bilangan *Taylor* pada bilangan *Reynolds* radial 0,028 dan 0.051 dapat dilihat pada gambar 3a dan 3b. Terlihat jika bilangan *Reynolds* aliran radial semakin tinggi maka transisi terjadinya *vortex* terjadi pada bilangan *Taylor* yang lebih tinggi atau dengan kata lain stabilitas aliran *Couette-Poiseuille* akan meningkat. Perbandingan visualisasi bentuk pola aliran antara aliran *Couette-Poiseuille* tanpa dan dengan aliran radial dapat dilihat pada gambar 2a dan 2b.



Gambar 2. Visualisasi perbandingan pola aliran, (a) tanpa adanya aliran radial (b) dengan adanya aliran radial (Leuptow dan Min, 1994)



Gambar 3. Peta pola aliran *Taylor-Couette-Poiseuille* dengan silinder bagian dalam *porous* pada bilangan *Reynolds* radial (a) 0,028 (b) 0.051 (Leuptow dan Min, 1994).

Rumusan Masalah

Bagaimana fenomena aliran *Taylor-Couette Poiseuille* dengan aliran aksia-radial di dalam silinder konsentris?

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Skema Alat Penelitian

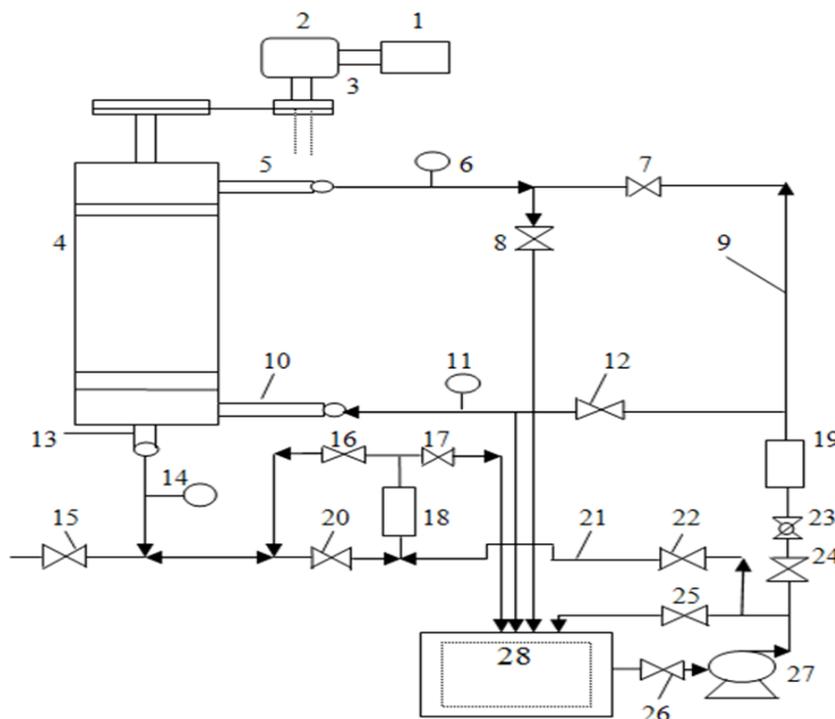
Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah air yang berfungsi sebagai fluida kerja dan serbuk aluminium yang berfungsi untuk memunculkan pola aliran. Air mempunyai massa jenis 1000 kg/m^3 , viskositas dinamik: $1,002 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ dan viskositas kinematik: $1,004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Sedangkan Serbuk aluminium mempunyai berat jenis: $2,707 \text{ kg/m}^3$ dengan ukuran 98 mikron.

Skema Alat Penelitian

Keterangan:

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|
| 1. Inverter. | 10. Influent. | 17. Gate valve. | 24. Gate valve. |
| 2. Motor listrik. | 11. Pressure gauge. | 18. Flow meter keluar. | 25. Gate valve. |
| 3. Pully transmisi. | 12. Gate valve. | 19. Flow meter masuk. | 26. Gate valve. |
| 4. Seksi uji. | 13. Filtrat. | 20. Gate valve. | 27. Pompa. |
| 5. Efluent. | 14. Pressure transducer. | 21. Flushing. | 28. Reservoar. |
| 6. Pressure transducer. | 15. Gate valve. | 22. Gate valve. | |
| 7. Gate valve. | 16. Gate valve. | 23. Globe valve. | |
| 8. Gate valve. | | | |
| 9. Flushing. | | | |



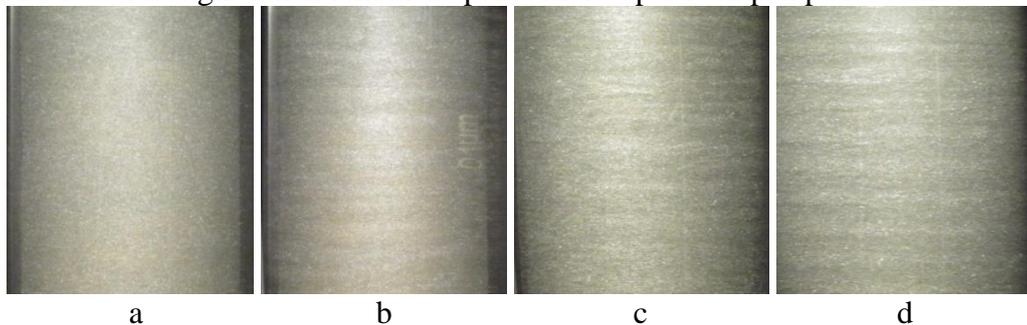
Gambar 4. Skema alat pengujian

Silinder dalam diputar dengan motor listrik melalui transmisi sabuk-v yang diintegrasikan pada sebuah inverter. Silinder dalam berfungsi sebagai filter untuk menyaring fluida yang sedang mengalir di dalam silinder konsentris. Fluida mengalir di antara silinder konsentris dengan arah aksial dan radial yang hasilnya dialirkan melalui bagian dalam filter tersebut. Pengukuran Torsi dan putaran silinder dilakukan melalui tiga tahap selama proses filtrasi. Proses filtrasi tahap satu dilakukan dengan *porousitas* filter 1 mikron, tahap kedua dengan *porousitas* filter 3 mikron dan tahap ketiga dengan *porousitas* filter 5 mikron. Porousitas filter digunakan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar silinder bagian dalam terhadap efektifitas filter yang dapat meningkatkan hasil filtrasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran aksial-radial untuk silinder dalam satu mikron

Penelitian aliran *Taylor-Couette Poiseuille* untuk silinder bagian dalam satu mikron dengan aliran aksial-radial menghasilkan fenomena pola aliran seperti tampak pada Gambar 5.

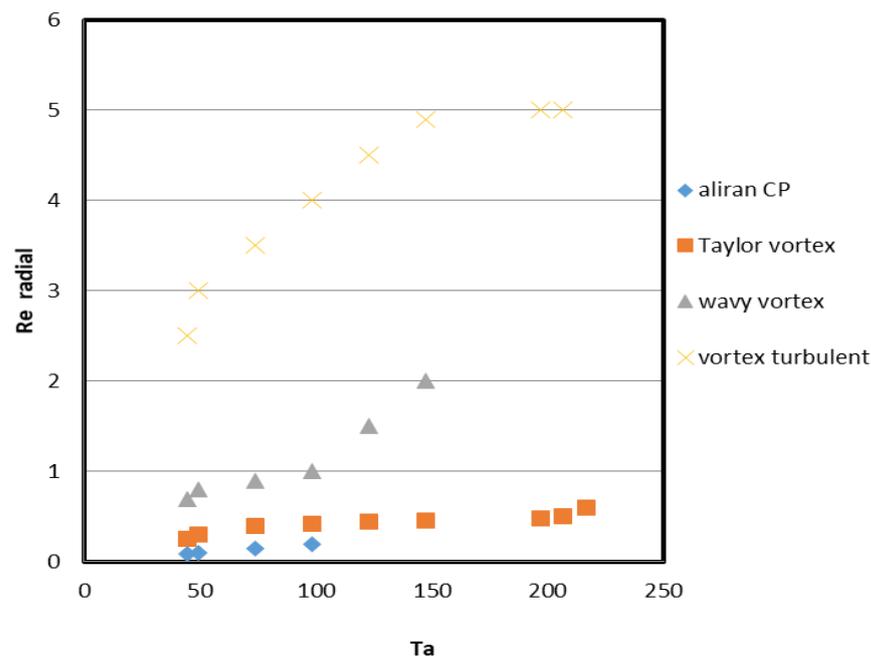


Gambar 5. Pola aliran Taylor-Couette dengan aliran aksial-radial untuk silinder dalam satu mikron pada $Re_{aksial} = 51,6$

- Aliran *couette* laminar pada $Re=99$, $Re_{rad} = 1,5$
- Aliran *Taylor-vortex* pada $Re=296$, $Re_{rad} = 1,4$
- Aliran *wavy vortex* pada $Re=937$, $Re_{rad} = 1,5$
- Aliran *vortex* turbulen pada $Re=1727$, $Re_{rad} = 1,5$.

Dengan adanya aliran aksial-radial pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* yang terbentuk mengalami perubahan dibanding dengan aliran *Taylor-couette* tanpa aliran aksial ditandai dengan transisi terjadinya vortex pada bilangan *Reynolds* yang tinggi atau pada bilangan *Taylor* yang tinggi pula artinya stabilitas aliran *Taylor-couette Poiseuille* juga meningkat.

Bila hasil visualisasi pola aliran tersebut dituangkan ke dalam sebuah gambar peta pola aliran maka posisinya seperti terlihat pada Gambar 6.

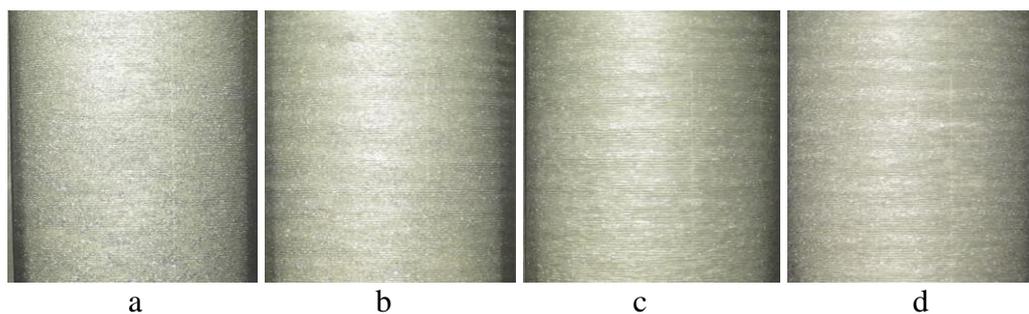


Gambar 6. Peta pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* dengan silinder bagian dalam porous 1 mikron pada bilangan $Re_{aksial} = 51,6$.

Pola aliran yang terbentuk dimulai dari bilangan *Reynolds* radial rendah berupa aliran *couette Poiseuille* atau *couette* laminar dengan seiring bertambahnya nilai bilangan *Reynolds* radialnya maka pola aliran yang terbentuk berubah menjadi *Taylor vortex*, *wavy vortex* dan *vortex turbulen*.

Aliran aksial-radial untuk silinder bagian dalam tiga mikron

Dalam sistem aliran *Taylor-Couette Poiseuille* untuk silinder bagian dalam tiga mikron dengan aliran aksial-radial telah menghasilkan fenomena pola aliran seperti pada Gambar 7.

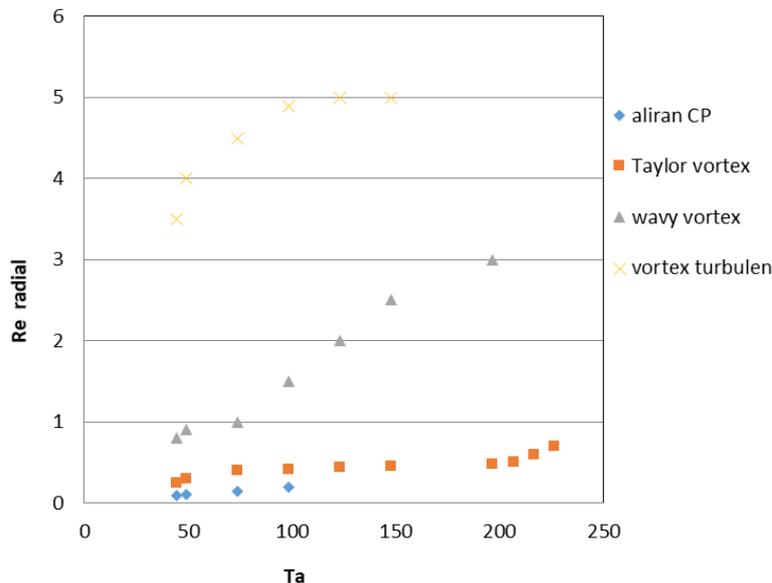


Gambar 7. Pola aliran Taylor-Couette dengan aliran aksial-radial untuk silinder dalam 3 mikron pada $Re_{aksial} = 51,6$

- Aliran *couette* laminar pada $Re=99$, $Re_{rad} = 1,5$
- Aliran *Taylor-vortex* pada $Re=345$, $Re_{rad} = 1,2$
- Aliran *wavy vortex* pada $Re=1480$, $Re_{rad} = 1,4$
- Aliran *vortex turbulen* pada $Re=1974$, $Re_{rad} = 1,5$

Dengan adanya aliran aksial-radial yang semakin besar pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* yang terbentuk juga mengalami perubahan yang besar pula yang ditandai dengan meningkatnya aliran transisi terjadinya *vortex* pada bilangan *Reynolds* yang tinggi pada bilangan Taylor yang

tinggi pula artinya stabilitas aliran *Taylor-couette Poiseuille* juga meningkat. Bila hasil visualisasi pola aliran tersebut dituangkan ke dalam sebuah gambar peta pola aliran seperti tampak pada Gambar 8.

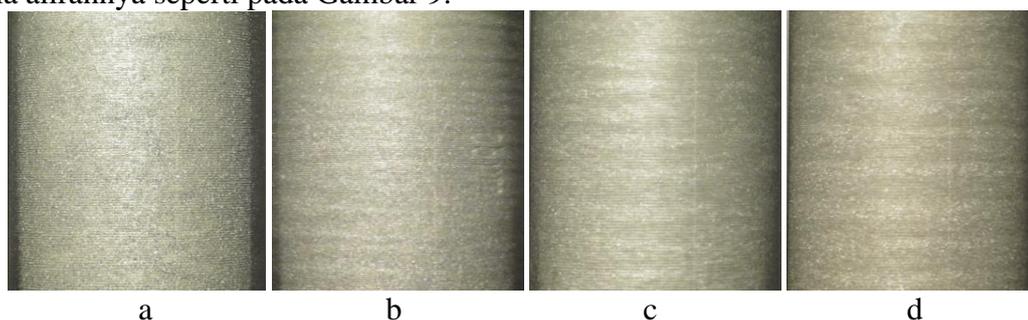


Gambar 8. Peta pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* dengan silinder bagian dalam porous 3 mikron pada bilangan $Re_{aksial} = 51,6$.

Pola aliran yang terbentuk dimulai dari bilangan *Reynolds* radial rendah berupa aliran *couette Poiseuille* atau *couette* laminar dengan seiring bertambahnya nilai bilangan *Reynolds* radialnya maka pola aliran yang terbentuk berubah menjadi *Taylor vortex*, *wavy vortex* dan *vortex turbulen*.

Aliran aksial-radial untuk silinder dalam lima mikron

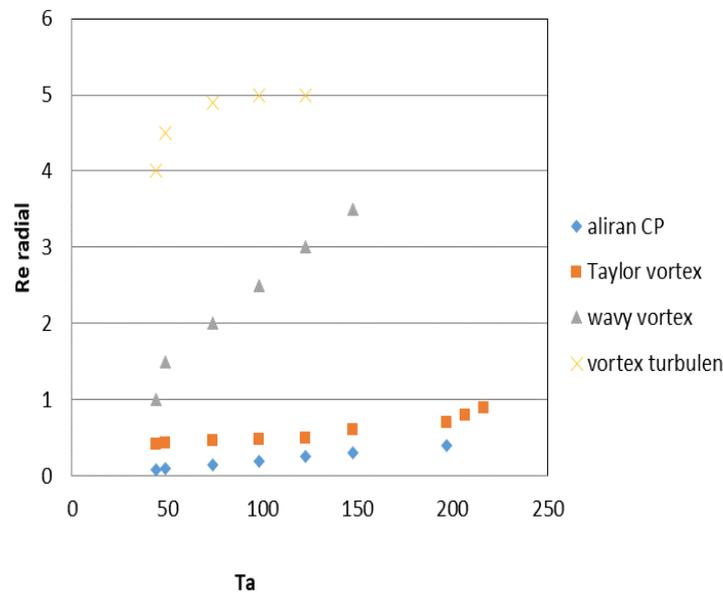
Aliran *Taylor-Couette Poiseuille* untuk silinder bagian dalam lima mikron dengan aliran aksial-radial pola alirannya seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Pola aliran Taylor-Couette dengan aliran aksial-radial untuk silinder dalam lima mikron pada $Re_{aksial} = 51,6$
 a. Aliran *couette* laminar pada $Re=197$, $Re_{rad} = 1,5$
 b. Aliran *Taylor-vortex* pada $Re=444$, $Re_{rad} = 1,2$
 c. Aliran *wavy vortex* pada $Re=1727$, $Re_{rad} = 1,5$
 d. Aliran *vortex turbulen* pada $Re=2220$, $Re_{rad} = 1,3$

Dengan adanya aliran aksial-radial yang semakin besar lagi pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* yang terbentuk juga mengalami perubahan yang semakin besar lagi yang ditandai dengan

transisi terjadinya vortex pada bilangan Reynolds yang semakin tinggi pula pada bilangan Taylor yang tinggi pula artinya stabilitas aliran *Taylor-couette Poiseuille* juga meningkat. Bila hasil visualisasi pola aliran tersebut dituangkan ke dalam sebuah gambar peta pola aliran maka posisinya tampak terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* dengan silinder bagian dalam porous 5 mikron pada bilangan $Re_{aksial} = 51,6$.

Pola aliran yang terbentuk dimulai dari bilangan *Reynolds* radial rendah berupa aliran *couette Poiseuille* atau *couette* laminar dengan seiring bertambahnya nilai bilangan *Reynolds* radialnya maka pola aliran yang terbentuk berubah menjadi *Taylor vortex*, *wavy vortex* dan *vortex turbulen*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian aliran *Taylor-couette Poiseuille* dengan aliran aksial-radial di dalam silinder konsentris dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Porositas silinder bagian dalam dapat mempengaruhi pola aliran *Taylor-Couette Poiseuille* yang terbentuk ditandai dengan munculnya aliran transisi terjadinya vortex meningkat pada bilangan *Reynolds* melingkar yang tinggi artinya stabilitas aliran *Taylor-couette Poiseuille* meningkat akibat aliran aksial-radial.
- Pengaruh kecepatan putar silinder bagian dalam dapat juga mempengaruhi pola aliran *Taylor-couette Poiseuille* yang terbentuk secara berjenjang dimulai dari *couette* laminar, *Taylor vortex*, *wavy vortex*, dan *vortex turbulen* terjadi di sepanjang sistem aliran.

Sedangkan saran untuk penelitian tentang *Aliran Taylor-couette Poiseuille* dengan aliran aksial-radial dalam silinder konsentris untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

- Permukaan silinder bagian dalam yang digunakan harus rata atau tidak beralur.
- Menggunakan bahan filter yang dari keramik.
- Memilih zat sebagai fluida kerja yang sesuai untuk visualisasi pola aliran.
- Untuk meningkatkan hasil pola aliran yang baik sebaiknya menggunakan seksi uji yang simetris.

REFERENSI

- Andereck, C.D., Liu, S.S., Swinney, H.L. 1986. *Flow regime in circular Couette system with independently rotating cylinder*. J. Fluid Mechanics. Vol. 164 pp. 155-183.
- Leuptow, R.M., Docter, A., Min, K. 1992. *Stability of axial flow in an annulus with a rotating inner cylinder*. Physics Fluid A. Vol. 4 pp. 2446-2455.
- Leuptow, R.M., Min, K. 1994. *Circular couette flow with pressure-driven axial flow and a porous inner cylinder*. Experiment in Fluids. Vol. 17 pp. 190-197.
- Leuptow, R.M., Lee, S. 2004. *Model Predictions and Experiments for Rotating Reverse Osmosis for Space Mission Water Reuse*. Separation Science and Technology. Vol. 39, No.3, pp. 539-561.
- Leuptow, R.M., Pederson, C.L. 2006. *Fouling in a high pressure, high recovery rotating reverse osmosis system*. Desalination. Vol.212, pp. 1-14.