

PENGARUH RASIO VOLUME CAMPURAN MINYAK TANAH-AIR DAN PUTARAN SILINDER TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN *TAYLOR-COUETTE*

Gunawan Muhammad Najibulloh¹, Samsudin Anis²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Email: gunawanmn@gmail.com

Abstrak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio volume campuran minyak tanah-air dan laju putaran silinder terhadap karakteristik aliran Taylor-Couette pada Taylor-Couette Column, seperti flow regime, shear stress dan energy loss distribution. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Dilakukan perhitungan viskositas dan densitas campuran kemudian dilakukan image processing, perhitungan Bilangan Reynolds untuk menentukan flow regime, shear stress, dan energy loss distribution. Analisa data penelitian menggunakan analisis deskriptif yaitu dengan menggambarkan secara grafis. Hasil penelitian menunjukkan penambahan rasio volume air menyebabkan viskositas campuran menjadi lebih kecil, dan bilangan Reynolds akan semakin besar, maka aliran yang terjadi akan semakin turbulen, sehingga mengurangi nilai shear stress dan juga energy loss. Laju putaran silinder dalam dan luar semakin tinggi maka bilangan Reynolds semakin besar, sehingga flow regime akan semakin turbulen dan menciptakan gaya viskos yang rendah. Dengan demikian aliran Taylor-Couette akan berturbulensi tinggi, dan meningkatkan nilai shear stress dan juga energy loss.

Kata Kunci : Taylor-Couette; laju putaran silinder; rasio campuran.

PENDAHULUAN

Pemahaman mengenai aliran *Taylor-Couette* merupakan hal penting dalam pengembangan ilmu dan aplikasi teknologi. Van Gils *et al.*, (2012: 118) menjelaskan aliran *Taylor-Couette* merupakan aliran antara dua silinder koaksial dan silinder yang berputar terpisah yang mempunyai diameter berbeda diantara keduanya, dihubungkan dengan titik sumbu pusat yang sama. Penelitian terdahulu yang menggambarkan sistem aliran *Taylor-Couette* antara lain, Taylor (1923: 291) menemukan jenis aliran diantara dua silinder berputar. Andereck *et al.*, (1986: 155) melakukan eksperimen dan berhasil menggambarkan *flow regime* (rezim aliran) pada sistem aliran *Taylor-Couette* berdasarkan bilangan Reynolds. Selanjutnya penelitian dari Dou *et al.*, (2008: 1422) menggambarkan distribusi *energy loss* (kehilangan energi) pada gesekan viskos aliran *Couette*

dan aliran *Taylor-Couette* diantara silinder konsentris berputar.

Penelitian yang lain oleh Dou *et al.*, (2007: 262), penelitian ini menyimpulkan tentang beberapa kehilangan energi pada aliran *Taylor-Couette*. Penelitian oleh Athar *et al.*, (2010: 164) menggambarkan medan magnet dan *shear stress*. Penelitian oleh Xiaoyan *et al.*, (2000: 5079) melakukan percobaan dengan menggunakan campuran minyak tanah (*kerosene*) dan air.

Ahmad *et al.*, (2014: 46) melakukan penelitian tentang aplikasi dari aliran *Taylor-Couette*, untuk remediasi limbah logam berat. Proses remediasi limbah tersebut menggunakan teknologi membran yang disebut *Emulsion Liquid Membrane* (ELM). ELM adalah teknik yang menguntungkan untuk memisahkan kontaminan seperti logam, asam lemah / basa, dan lain-lain, dikarenakan area antarmuka yang besar untuk transfer massa (Ahmad *et al.*, 2012: 30). Dan pada prosesnya menggunakan alat yang menggunakan prinsip aliran *Taylor-Couette*, yaitu aliran yang berputar dengan aliran aksial dan radial serta memanfaatkan vortisitas (*vortex*) yang terjadi pada aliran *Taylor-Couette*. Pada penelitian dari Ahmad *et al.*, (2014: 46) dalam proses ekstraksi, laju putaran yang digunakan adalah silinder dalam 600 rpm, dengan perbandingan rasio volume campuran yaitu 1:5.

Proses untuk meremediasi dalam metode ELM dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan emulsi dengan menggunakan metode emulsifikasi. Emulsi dibuat dengan memvariasikan konsentrasi surfaktan, *carrier*, pengencer (*diluent*) dengan rasio perbandingan volume fasa air dan fasa minyak. Tahap kedua yaitu proses ekstraksi dengan menggunakan alat *Taylor-Couette Column*.

Taylor-Couette Column merupakan sebuah alat yang bekerja dengan cara menggunakan prinsip dari aliran *Taylor-Couette*. *Taylor-Couette Column* dirancang untuk meminimalkan kemungkinan ketidakstabilan emulsi dengan mempertahankan kinerja ekstraksi tinggi. Karakterisasi dari alat *Taylor-Couette Column* juga dilakukan untuk menentukan *flow regimes*, *shear stress*, dan *loss energy distribution*. Viskositas mempengaruhi proses ekstraksi, terutama pada emulsi dalam aliran *Taylor-Couette* dalam proses remediasi limbah logam berat. Menurut Cengel dan Cimbala (2013: 46) viskositas suatu fluida merupakan sifat yang menentukan besar daya tahannya terhadap gaya geser. Selain dari viskositas, laju putaran silinder juga berpengaruh pada bilangan Reynolds yang dihasilkan.

Berdasarkan kondisi diatas, perlu diadakan penelitian dengan memvariasikan laju putaran silinder dan rasio volume campuran untuk mengetahui pengaruh rasio volume campuran minyak tanah-air sehingga diketahui viskositasnya, serta laju putaran silinder yang sesuai, agar efektivitas dari proses penghilangan limbah menggunakan alat *Taylor-Couette Column* meningkat, dan proses penghilangan limbah logam berat menjadi lebih efektif maka diadakannya penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio volume campuran minyak tanah-air dan laju putaran silinder terhadap karakteristik aliran Taylor-Couette pada Taylor-Couette

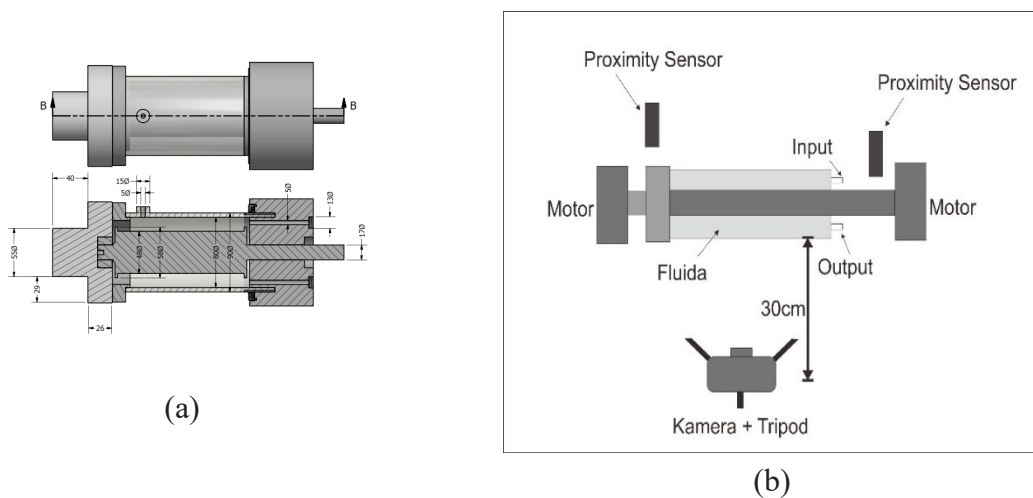
Column, seperti flow regime, shear stress dan energy loss distribution.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2012:72). Penelitian ini akan melakukan pengukuran viskositas dan proses running pada alat *Taylor-Couette Column*.

Pengukuran viskositas bertujuan untuk mengetahui berapa viskositas dari minyak tanah serta air. Running alat *Taylor-Couette Column* yang digunakan untuk membuat campuran dalam kondisi aliran *Taylor-Couette*. Bilangan Reynolds dan *Taylor Number* selanjutnya dianalisis sehingga dapat mengkarakteristikan *flow regime*, *shear stress*, dan *energy loss distribution* aliran *Taylor-Couette* yang terjadi.

Berikut pada Gambar 1. skema penelitian yang dilakukan dan ukuran dari *Taylor-Couette Column*



Gambar 1. (a) Skema Penelitian (b) ukuran *Taylor-Couette Column*

Penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan *viskositas* menggunakan *viscosity meter* untuk mengetahui viskositas kinematik dan piknometer untuk mengetahui densitas setiap bahan yang minyak tanah dan air yang digunakan. Viskositas kinematik, densitas campuran, serta viskositas dinamik campuran dari setiap campuran dengan rasio campuran 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:6. Kemudian proses *running* alat *Taylor-Couette Column* untuk mensimulasikan proses ekstraksi fluida dengan komposisi *oil in water (O/W)*, dengan variasi putaran silinder luar 0 rpm, serta putaran silinder dalam 300 rpm, 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm dan 700 rpm.

Bilangan Reynolds silinder dalam dan silinder dihitung yang kemudian akan digunakan

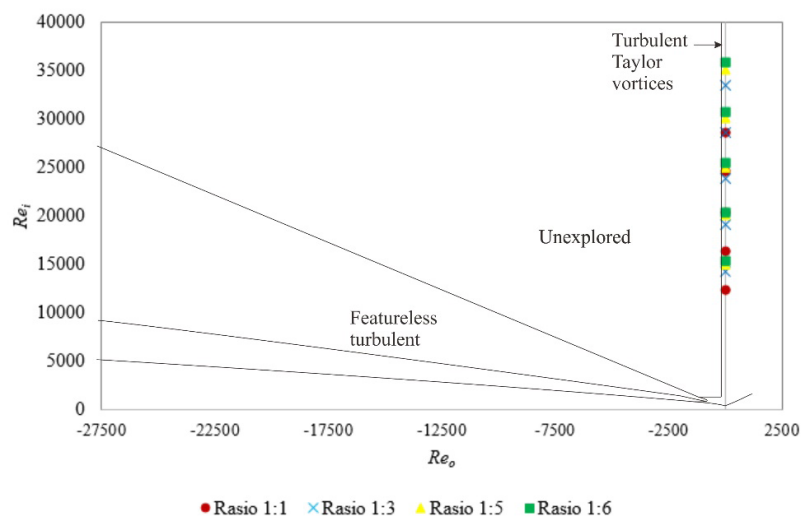
untuk menentukan *flow regime* setiap variasi pengujian. Gambar pola aliran pada setiap variasi diambil untuk membandingkan jenis aliran yang terjadi. Selanjutnya menghitung *Taylor Number*, *shear stress*, dan *energy loss distribution* untuk menentukan karakteristik dari aliran *Taylor-Couette*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *Flow Regime*

Pada penelitian yang dilakukan seiring bertambahnya rasio volume campuran air, viskositas fluida semakin menurun dan mengakibatkan hambatan aliran semakin rendah. Sehingga dengan hambatan aliran yang rendah maka terbentuknya aliran turbulen pada rasio campuran 1:1 akan lebih kecil dibandingkan dengan rasio campuran 1:6. Dan bertambahnya laju putaran silinder baik silinder dalam maupun luar akan menambah nilai dari shear stress dan distribusi *energy loss*.

Pola aliran *Couette* laminar dalam sebuah sistem aliran *Taylor-Couette*, akan mengalami transisi ke pola *Taylor vortex* jika putaran silinder dinaikkan sampai nilai tertentu (Sarip, 2012: 54). Perolehan Bilangan Reynolds silinder dalam dan silinder luar dikonversikan ke dalam grafik dengan menggabungkan peta aliran dari penelitian Andereck et al., (1986) pada Gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Grafik *flow regime* pada tiap variasi campuran

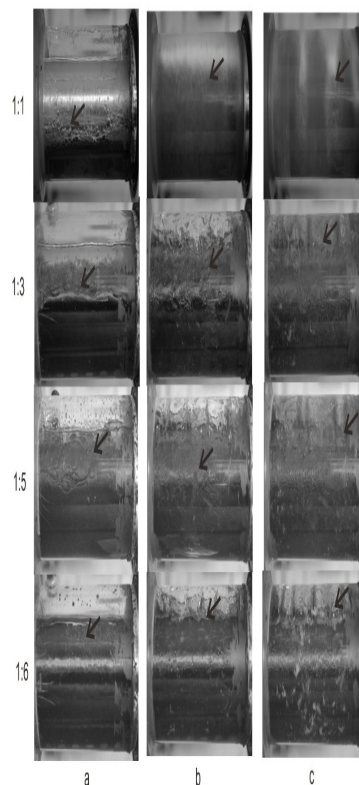
Berdasarkan Gambar 2, hasil yang didapat tidak jauh berbeda dengan penelitian Ahmad et al., 2014 dengan radius ratio $\eta = 0,571$ menghasilkan 2 jenis aliran, yaitu TUR (*Featureless Turbulent Flow*) dan TTV (*turbulent taylor vortices*). Sedangkan penelitian yang dilakukan menggunakan *radius ratio* $\eta = 0,6$ menghasilkan jenis aliran TTV. Untuk lebih jelasnya data dari setiap pemetaan jenis aliran dimasukkan ke dalam berikut :

Tabel 1 *flow regime* aliran minyak tanah-air

Kecepatan Luar (rpm)	Kecepatan dalam (rpm)	Rasio Campuran			
		1:1	1:3	1:5	1:6
0	300	TTV	TTV	TTV	TTV
	400	TTV	TTV	TTV	TTV
	500	TTV	TTV	TTV	TTV
	600	TTV	TTV	TTV	TTV
	700	TTV	TTV	TTV	TTV

Berdasarkan Tabel 1, dengan perbedaan rasio campuran yang digunakan, rasio hanya mempengaruhi sedikit terhadap *flow regime* dari aliran. Dengan rasio yang berbeda walaupun jenis aliran yang sama, persebaran gelembung yang mengakibatkan aliran bergejolak berbeda-beda, semakin besar rasio volume air yang digunakan semakin kecil terbentuk gejolak yang terjadi. Hal ini dikarenakan batas *boundary* antara minyak tanah dan air berada pada ketinggian yang berbeda, sehingga gaya yang terjadi akibat putaran berbeda-beda.

Maka dalam penelitian laju putaran silinder dalam kurang berpengaruh terhadap jenis aliran yang terjadi jika laju putaran silinder dalam sama yaitu 0 rpm, sesuai dengan penelitian dari Andereck et al., (1986) pada laju putaran 0 rpm terbentuk aliran TTV. Gambar 3 berikut merupakan perbandingan aliran dengan beda rasio volume 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:6.



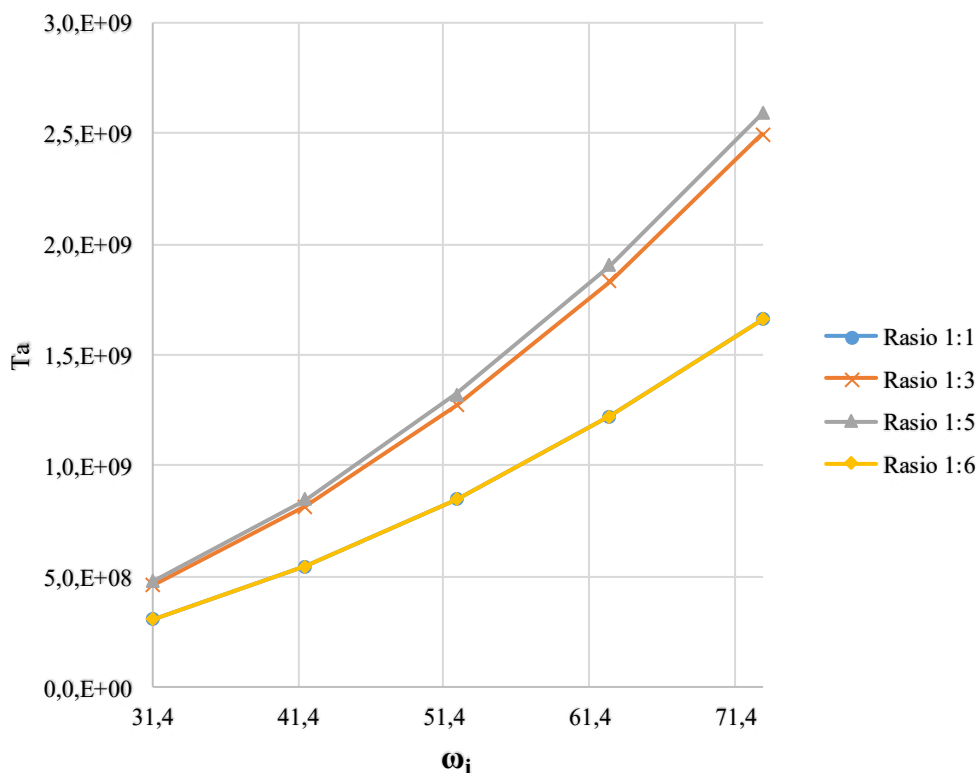
Gambar 3. Perbandingan aliran beda rasio

Berdasarkan Gambar 3, laju putaran silinder dalam kurang berpengaruh terhadap jenis ali-

ran yang terjadi apabila laju putaran silinder luar hanya 0 rpm, pada laju putaran 0 rpm terbentuk aliran TTV.

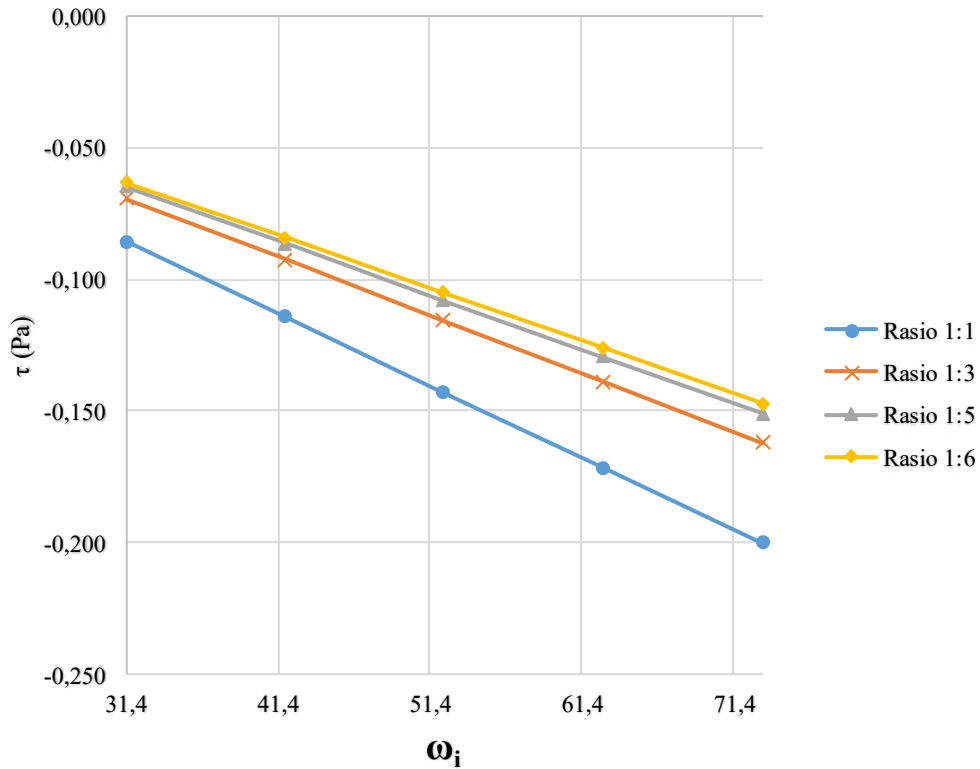
Analisis *Taylor Number* dan *Shear Stress*

Penelitian Ahmad et al., (2014) menunjukkan bahwa dengan laju silinder berputar berlawanan akan meningkatkan nilai *Taylor Number* (Ta) yang nilainya hampir sama dengan nilai Ta dari silinder yang hanya berputar satu arah. Keuntungan dari silinder berlawanan arah adalah penggunaan laju putaran yang lebih rendah, karena digunakan dua silinder berlawanan arah. *Taylor Number* merupakan bilangan tak berdimensi yang menentukan jenis aliran *Taylor-Couette* yang mengkarakteristikan atau mencirikan pentingnya gaya sentrifugal atau inersia karena rotasi fluida terhadap suatu sumbu, relatif terhadap gaya viskos (Ahmad et al., 2014). Gambar 4 berikut merupakan grafik perbandingan Ta dengan ω_i pada rasio campuran 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:6.



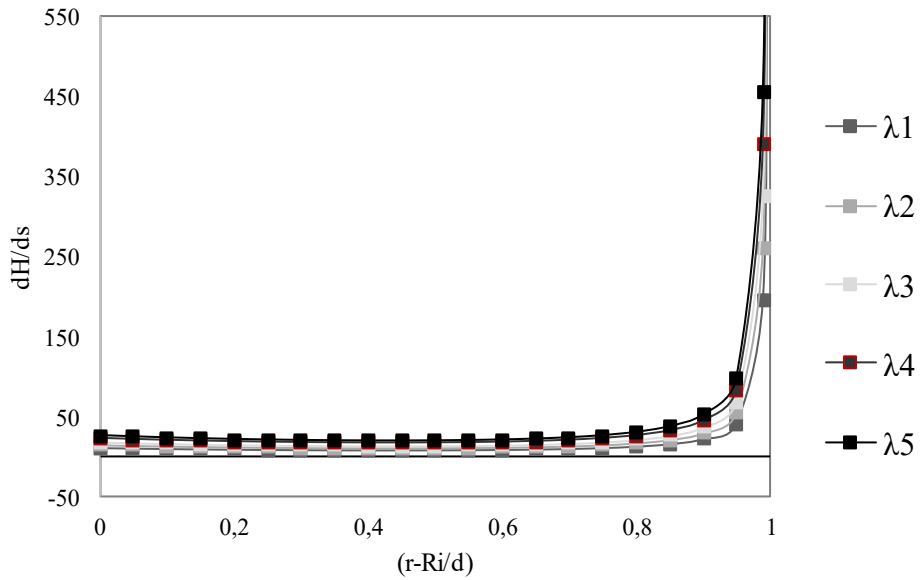
Gambar 4. Grafik perbandingan Ta dengan ω_i

Sesuai dalam penelitian ini pada Gambar 4, hasil perhitungan *Taylor Number* semakin tinggi ω_i , maka *Taylor Number* semakin tinggi. Dengan rasio campuran air semakin banyak, maka semakin tinggi *Taylor Number*. Berikut pada Gambar 5 menggambarkan perbandingan τ dengan ω_i . Grafik dibuat setiap variasi rasio campuran 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:6 pada laju putaran silinder dalam 31,4, 41,9, 52,3, 62,8, dan 73,3 dengan laju putaran silinder dalam 0.

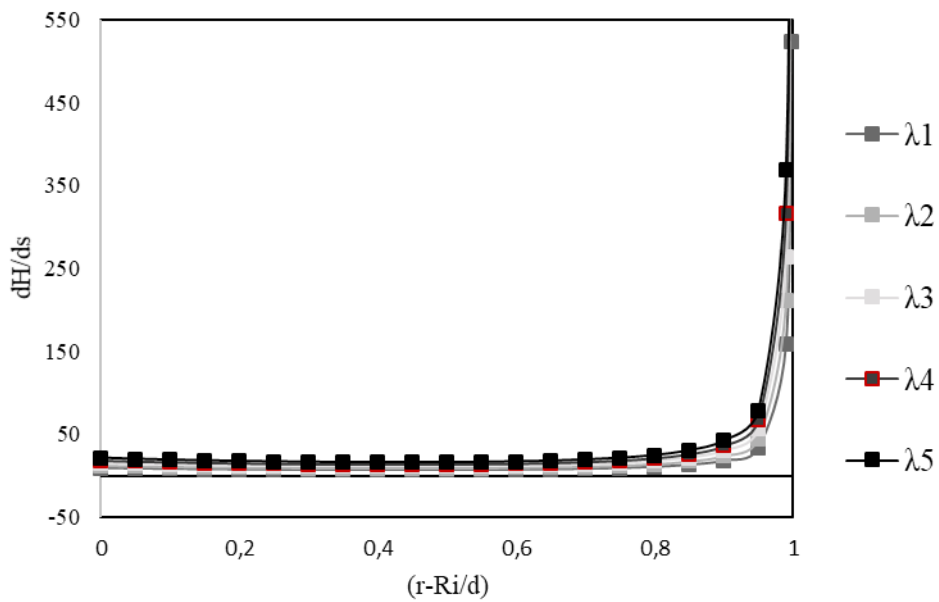


Gambar 5. Grafik perbandingan τ dengan ω_i

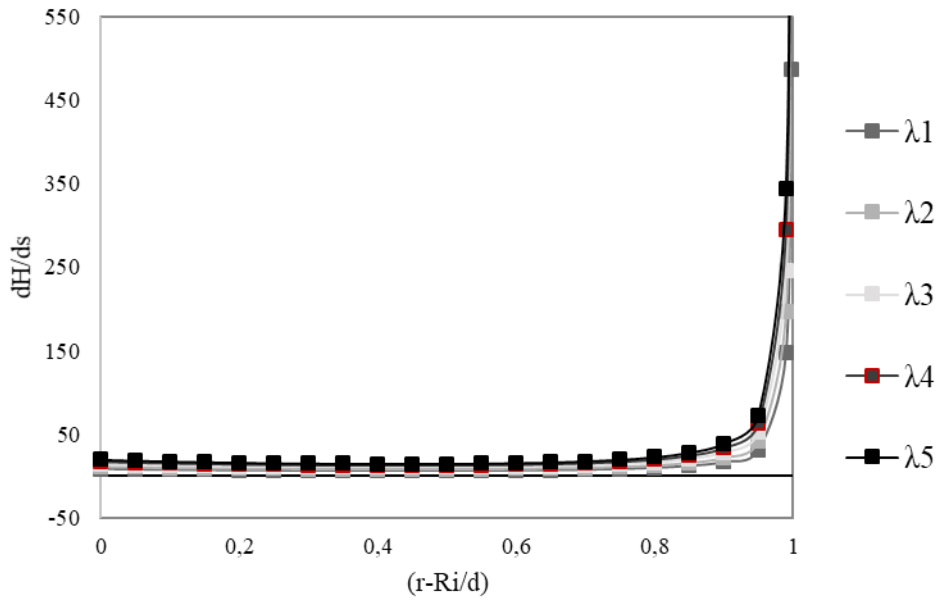
Hasil perhitungan *shear stress* mengalami peningkatan seiring dengan perubahan ω_i semakin tinggi ω_i , maka semakin tinggi pula *shear stress*. *Shear stress* yang dihasilkan fluktuatif berdasarkan parameter laju putaran silinder dalam, laju putaran silinder luar, dan rasio campuran tertentu. *Shear stress* tertinggi terjadi pada laju putaran silinder dalam $\omega_i = 73,3$. Distribusi energy loss pada setiap titik diantara gap digambarkan pada grafik dimana r merupakan variasi dari R_i ke R_o sebanyak 19 titik, yaitu 0,0248 sampai dengan 0,0392 pada Gambar 6 sampai 9 berikut.



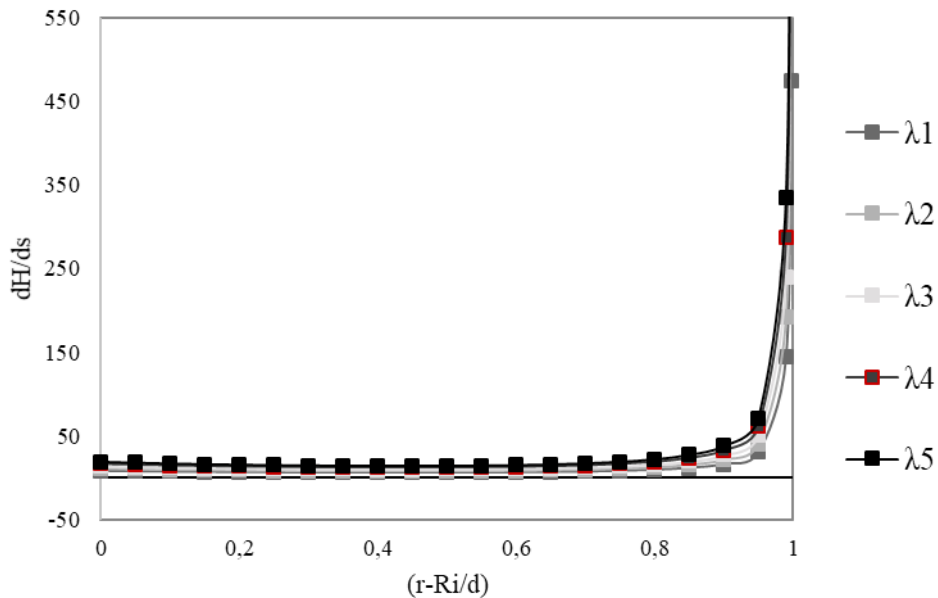
Gambar 6. Grafik *energy loss distribution* pada rasio campuran 1:1



Gambar 7. Grafik *energy loss distribution* pada rasio campuran 1:3



Gambar 8. Grafik *energy loss distribution* pada rasio campuran 1:5



Gambar 9. Grafik *energy loss distribution* pada rasio campuran 1:6

Berdasarkan Gambar 6 sampai 9, *energy loss* pada laju putaran silinder luar $\omega_o = 0$, akan mencapai titik tak hingga jika mendekati titik gap silinder $(r-R_i/d) = 1$. Pengaruh perbedaan rasio campuran tidak terlalu berpengaruh terhadap *energy loss*. Pada titik yang sama *energy loss* pada rasio 1:1 lebih besar dibandingkan rasio 1:3, semakin kecil viskositas dinamik maka *energy loss* pada titik yang sama semakin kecil juga.

Dengan demikian pengaruh penambahan rasio campuran air tidak terlalu mempengaruhi *flow regime* dari aliran *Taylor-Couette* dikarenakan perbedaan viskositas hanya sedikit, sehingga *flow regime* dari aliran yang terjadi sama. Pada laju putaran silinder dalam dan luar yang semakin tinggi maka bilangan Reynolds akan semakin besar, sehingga *flow regime* akan semakin turbulen dan menciptakan gaya viskos yang rendah.

Secara keseluruhan penambahan rasio volume air menyebabkan viskositas campuran menjadi lebih kecil, dan bilangan Reynolds akan semakin besar, maka aliran yang terjadi akan semakin turbulen, sehingga mengurangi nilai *shear stress* dan juga *energy loss*, berbanding terbalik dengan penambahan laju putaran silinder maka akan meningkatkan nilai *shear stress* dan juga *energy loss*.

SIMPULAN

Penambahan rasio campuran air tidak terlalu mempengaruhi *flow regime* dari aliran *Taylor-Couette* dikarenakan perbedaan viskositas hanya sedikit, pada rasio campuran 1:1 viskositas dinamik sebesar $0,00087 \text{ Ns/m}^2$ dan pada 1:6 sebesar $0,00064 \text{ Ns/m}^2$, sehingga *flow regime* dari aliran yang terjadi sama. Secara keseluruhan penambahan rasio volume air menyebabkan viskositas campuran menjadi lebih kecil, dan bilangan Reynolds akan semakin besar, maka aliran yang terjadi akan semakin turbulen, sehingga mengurangi nilai *shear stress* dan juga *energy loss*. Laju putaran silinder dalam dan luar semakin tinggi maka bilangan Reynolds semakin besar, sehingga *flow regime* akan semakin turbulen dan menghasilkan gaya viskos yang rendah. Namun penambahan laju putaran silinder dalam dan laju putaran silinder luar akan meningkatkan nilai *shear stress* dan juga *energy loss*. Adapun saran yang diberikan dari penelitian yang telah dilakukan rasio campuran minyak tanah-air mencapai optimum pada rasio 1:5, sehingga rasio tersebut dianjurkan digunakan untuk aplikasi praktis. Penggunaan silinder dalam dan silinder luar yang berlawanan memerlukan laju putaran yang lebih sedikit dibandingkan hanya satu silinder yang berputar, hal ini sebaiknya dapat diterapkan juga untuk aplikasi praktis karena aliran turbulen dengan putaran yang rendah. Pada pengambilan menggunakan kamera, hasil pencahayaan berubah-ubah. Disarankan untuk pengambilan gambar dilakukan pada kondisi cahaya yang sama. Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan pengatur kontroler laju putaran yang lebih presisi, agar pengaturan laju putaran silinder menjadi lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L., Kusumastuti, A., Buddin, M. M. H. S., Derek, C. J. C., & Ooi, B. S. 2014. Emulsion liquid membrane based on a new flow pattern in a counter rotating Taylor-Couette column for cadmium extraction. *Separation and Purification Technology*, 127: 46–52.
- Ahmad, A. L., Kusumastuti, A., Derek, C. J. C., & Ooi, B. S. 2012. Emulsion liquid mem-

- brane for cadmium removal: Studies on emulsion diameter and stability. *Desalination*, 287: 30–34.
- Andereck, C. D., Liu, S. S., & Swinney, H. L. 1986. Flow regimes in a circular Couette system with independently rotating cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 164: 155–183.
- Athar, M., Kamran, M., & Fetecau, C. 2010. Taylor-Couette flow of a generalized second grade fluid due to a constant couple. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 15(2): 155–158.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. 2013. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications 3rd Edition*. United States: McGraw-Hill Education.
- Dou, H., Khoo, B. C., & Yeo, K. S. 2007. Energy loss distribution in the plane Couette flow and the Taylor – Couette flow between concentric rotating cylinders. *International Journal of Thermal Sciences*, 46: 262–275.
- Dou, H., Khoo, B. C., & Yeo, K. S. 2008. Instability of Taylor – Couette flow between concentric rotating cylinders. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(11): 1422–1435.
- Sarip. 2012. Pengaruh Putaran Silinder Bagian Dalam Terhadap Pola Aliran Taylor-Couette Poiseuille. *Majalah Ilmiah STTR Cebu*, 15: 31–35.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Taylor, G. I. 1923. Stability of a Viscous Liquid contained between Two Rotating Cylinder. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 223(605–615): 289 LP-343.
- van Gils, D. P. M., Huisman, S. G., Grossmann, S., Sun, C., & Lohse, D. 2012. Optimal Taylor-Couette turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 706: 118–149.
- Xiaoyan, Z., Campero, R. J., & Vigil, R. D. 2000. Axial mass transport in liquid-liquid Taylor-Couette-Poiseuille flow. *Chemical Engineering Science*, 55(21): 5079–5087.

