

KARAKTERISTIK ALIRAN *TAYLOR-COUETTE* PADA FLUIDA CAMPURAN MINYAK JELANTAH DENGAN AIR

Feri Krisandi¹, Samsudin Anis²

^{1,2} Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh rasio volume air-minyak jelantah terhadap karakteristik aliran *Taylor-Couette*, *shear stress*, dan *energy loss distribution* menggunakan alat TCC. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Untuk mengetahui karakteristik aliran *Taylor-Couette* menggunakan alat TCC dan perhitungan bilangan Reynolds. Hasil dari penelitian ini dikarakteristikan menggunakan perhitungan bilangan Reynolds, *image processing*, bilangan Taylor, *shear stress*, dan *energy loss distribution*. Bahan baku yang digunakan yaitu air dan minyak jelantah, dengan variasi rasio campuran 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:6. Kemudian dengan kecepatan putaran silinder dalam 300 rpm serta kecepatan putaran silinder luar 0 rpm. Analisa data penelitian menggunakan analisa deskriptif yaitu dengan menggambarkan secara grafis. Hasil penelitian diperoleh rasio campuran yang optimal untuk pemulihan limbah yaitu pada rasio campuran 1:1. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil pengolahan data dari perhitungan dan visualisasi *image processing* pada karakterisasi aliran.

Kata kunci: *Taylor-Couette*, bilangan Reynolds, bilangan Taylor, *shear stress*, *energy loss distribution*.

PENDAHULUAN

Streeter *et al.* (1985) menjelaskan, fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Salah satu bentuk aliran fluida yaitu aliran *Taylor-Couette*. Aliran *Taylor-Couette* adalah aliran yang terjadi antara dua silinder berputar yang mempunyai diameter berbeda diantara keduanya, dihubungkan sehingga membentuk titik sumbu pusat yang sama, dan diantara kedua buah silinder terdapat sebuah celah yang diisi oleh fluida inkompresibel. Andereck *et al.* (1986) melalui eksperimen yang memvisualisasikan aliran fluida diantara dua silinder konsentris yang berputar secara antara satu dengan lainnya. 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.

Saadevandi dan Zakin (1997) melakukan penelitian yaitu tentang kajian emulsi minyak silikon dalam air. Emulsi minyak silikon dalam air dibentuk dengan menggunakan homogenizer dengan berbagai variasi putaran homogenizer dan variasi volume silikon minyak-air. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi putaran dan variasi volume berpengaruh terhadap kestabilan emulsi dan tegangan geser.

Penelitian lain dari aliran *Taylor-Couette* yaitu Ahmad *et al.* (2014) melalui remediasi limbah seperti logam berat. Proses remediasi limbah yang menggunakan teknologi membran yang disebut *Emulsion Liquid Membrane (ELM)* yang merupakan modifikasi dari aliran *Taylor-Couette* dengan menggunakan alat *Taylor-Couette Column (TCC)*. *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. Proses ekstraksi ini pengaruh viskositas pada fluida dari larutan emulsi menentukan efektivitas dari penghilangan limbah. Karakterisasi juga penting dilakukan untuk menentukan jenis aliran, tegangan geser, dan distribusi kehilangan energi.

Pengaruh viskositas pada fluida dari larutan emulsi menentukan efektivitas dari penghilangan limbah dalam proses ekstraksi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh rasio volume air–minyak jelantah, serta kecepatan laju putaran silinder dalam dan luar yang sesuai, agar efektivitas penghilangan limbah menggunakan alat TCC meningkat dan lebih efektif.

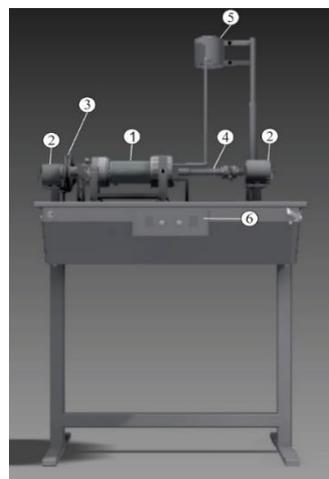
Penelitian ini menggunakan alat *Taylor-Couette Column (TCC)*. Alat ini menggunakan dua silinder yang berbeda diameter dengan arah putaran yang berbeda dimana akan menghasilkan karakteristik pola aliran *Taylor-Couette* yang bermacam-macam tergantung dengan kecepatan silinder dan viskositas fluida.

METODE

Penelitian ini menggunakan variasi rasio campuran fluida, yaitu menggunakan bahan baku air dan minyak jelantah dengan putaran silinder dalam 300 rpm dan kecepatan silinder luar 0 rpm. untuk mendapatkan karakteristik aliran *Taylor-Couette* melalui perhitungan dan *image processing*. Penelitian ini menggunakan 2 silinder yang berbeda, yaitu silinder dalam dan luar dengan jari-jari silinder dalam 24 mm dan jari-jari silinder luar 40 mm dan diambil gambar dengan kamera Nikon D7000.

Langkah awal penelitian ini yaitu melakukan uji viskositas kinematik menggunakan *viscosity meter* dan melakukan uji massa jenis menggunakan *pycnometer* pada bahan baku yang berupa air dan minyak jelantah, selanjutnya menghitung viskositas dinamis pada bahan baku yang berupa air dan minyak jelantah. Langkah kedua yaitu proses *running* alat *Taylor-Couette Column* untuk mengarakterisasikan aliran fluida pada berbagai rasio campuran air-minyak jelantah dan putaran silinder dalam serta silinder luar.

1	<i>Taylor-Couette Column</i>
2	Motor
3	Penggerak Silinder Luar
4	Penggerak Silinder Dalam
5	<i>Feeder Tank</i>
6	<i>Controller</i>



Gambar 1. Taylor-Couette Column

Bahan baku air dan minyak jelantah disiapkan dan diukur sesuai rasio yang digunakan untuk penelitian, yaitu 1:1, 1:3, 1:5, 1:6. Selanjutnya di masukkan ke alat *Taylor-Couette Column* melalui *feeder tank*. Kamera disiapkan pada jarak yang telah ditentukan untuk proses *image processing*. Kemudian jalankan silinder dalam dengan kecepatan putaran 300 rpm, serta kecepatan silinder luar 0 rpm.

HASIL PENELITIAN DAN PEMAHASAN

1. Pengukuran Viskositas dan Densitas

Uji viskositas kinematik menggunakan *viscosity meter* dan melakukan uji massa jenis menggunakan *pycnometer* pada bahan baku yang berupa air dan minyak jelantah.

Tabel 1. Hasil pengukuran viskositas kinematik dan densitas air-minyak tanah.

Bahan	Viskositas Kinematik (m ² /s)	Densitas (kg/m ³)
Air	0,0000007174	990,8
Minyak Jelantah	0,0000438115	891,15

Berdasarkan Tabel 1 di atas, menunjukkan viskositas kinematik minyak jelantah lebih besar dari pada viskositas kinematik air, dan densitas minyak jelantah lebih kecil dari pada densitas air.

2. Perhitungan Viskositas Kinematik dan Viskositas Kinematik Campuran

Perhitungan viskositas kinematik campuran menggunakan persamaan :

$$(v_{campuran})^{1/3} = x_{air} \cdot (v_{air})^{1/3} + x_{minyak\ jelantah} \cdot (v_{minyak\ jelantah})^{1/3}$$

Perhitungan densitas campuran menggunakan persamaan :

$$\rho_{campuran} = x_{air}\rho_{air} + x_{minyak\ jelantah}\rho_{minyak\ jelantah}$$

Perhitungan viskositas kinematik dan densitas campuran yaitu untuk menghitung viskositas dinamik campuran dengan menggunakan persamaan :

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Dimana : v = viskositas kinematik (m²/s),
 ρ = Massa jenis (*density*) (kg/m³),
 μ = viskositas dinamik (Ns/m²).

Tabel 2 merupakan hasil perhitungan viskositas kinematik, viskositas dinamik, dan densitas fluida campuran.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Viskositas dan densitas campuran.

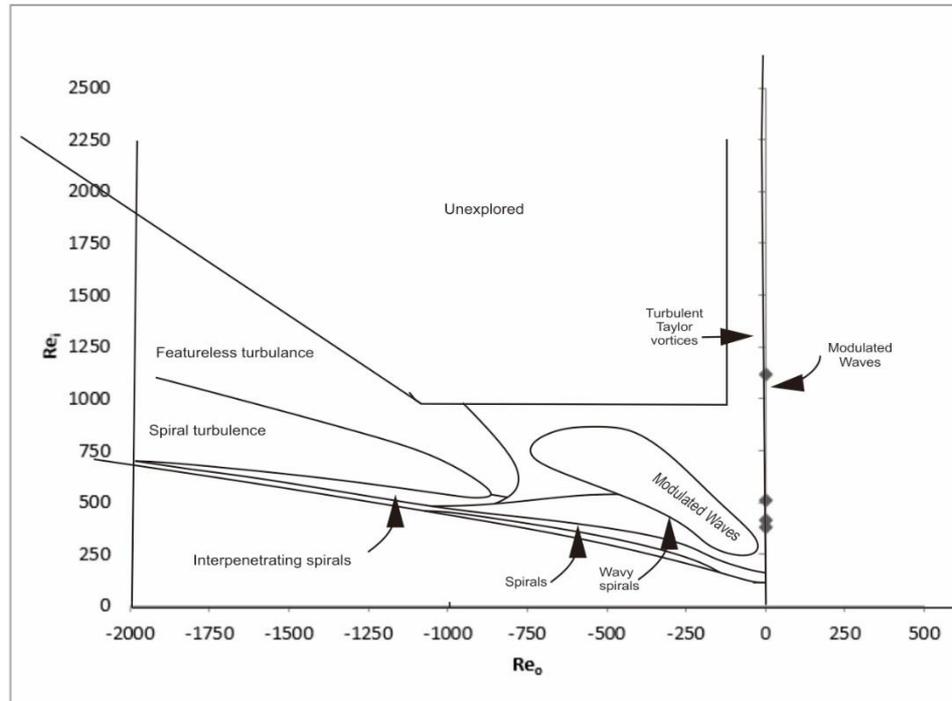
Rasio Campuran	Viskositas Kinematik (m ² /s) x 10 ⁻⁵	Densitas (kg/m ³)	Viskositas Dinamik (Ns/m ²) x 10 ⁻²
Rasio 1:1	1,07975	940,975	1,02
Rasio 1:3	2,35848	916,063	2,16
Rasio 1:5	2,91662	908,091	2,65
Rasio 1:6	3,1467	905,101	2,85

Berdasarkan Tabel 2, viskositas kinematik tertinggi terdapat pada rasio 1:6 dimana volume minyak jelantah lebih banyak sehingga rasio campuran lebih kental. Sedangkan densitas tertinggi yaitu terdapat pada rasio 1:1.

3. Perhitungan Bilangan Reynolds Silinder Dalam dan Silinder Luar

Tujuan dilakukan perhitungan bilangan Reynolds untuk silinder luar dan bilangan Reynolds untuk silinder dalam yaitu untuk menentukan jenis aliran yang terjadi pada aliran tersebut dengan menggunakan persamaan :

$$Re_i = \frac{R_i \omega_i d}{\nu} \quad \text{dan} \quad Re_o = \frac{R_o \omega_o d}{\nu}$$



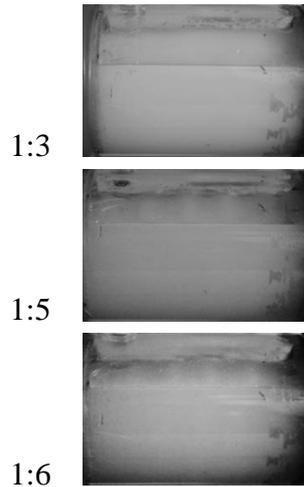
Gambar 2 Grafik flow regime

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu menghasilkan dua aliran *Taylor-Couette*, diantaranya MWW (*Modulated Wavy Vortices*) dan WVF (*Wavy Vortex Flow*).

4. Analisis *Image processing*

Rasio campuran, kecepatan silinder dalam dan kecepatan silinder luar akan mempengaruhi jenis aliran. Walaupun rasio campuran sama, tetapi kecepatan silinder luar dan kecepatan silinder dalam yang akan mempengaruhi jenis aliran yang dihasilkan.

Pada Gambar 3 berikut merupakan jenis aliran WVF (*Wavy Vortex Flow*) pada rasio campuran 1:3, 1:5, dan 1:6, pada kecepatan silinder dalam 300 rpm dan silinder luar 0 rpm.



Gambar 3 Jenis aliran WVF (*Wavy Vortex Flow*)

Pada Gambar 4 berikut merupakan jenis aliran MWV (*Modulated Wavy Vortices*) pada rasio campuran 1:1, pada kecepatan silinder dalam 300 rpm dan silinder luar 0 rpm.



Gambar 1.4 Jenis aliran MWV (*Modulated Wavy Vortices*)

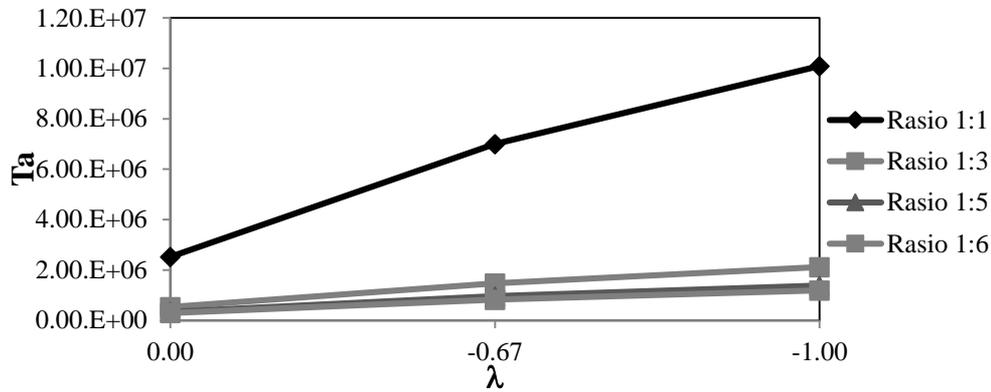
5. Perhitungan **Bilangan Taylor**

Bilangan Taylor digunakan untuk mengkararakteristikan aliran *Taylor-Couette*. Perhitungan bilangan Taylor menggunakan persamaan :

$$Ta = \frac{1}{4} \sigma (R_o - R_i)^2 (R_o + R_i)^2 (\omega_o - \omega_i)^2 \nu^{-2}$$

Dimana :

$$\sigma = \left\{ \left(\frac{1 + \eta}{2} \right) \sqrt{\eta} \right\}^4$$



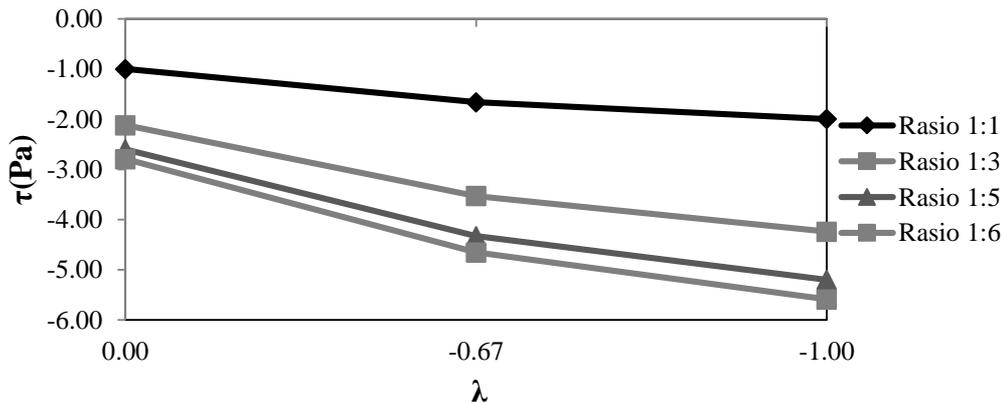
Gambar 5. Grafik perbandingan Ta dengan λ pada $\omega_i = 31,4$ rad/s

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa, bilangan Taylor mengalami peningkatan seiring dengan perubahan rasio kecepatan silinder. Semakin tinggi kecepatan silinder dalam (ω_i), bilangan Taylor yang dihasilkan semakin tinggi. Dan rasio campuran dengan air yang semakin sedikit, maka bilangan Taylor yang dihasilkan semakin kecil. Pada rasio campuran 1:1, menghasilkan bilangan Taylor tertinggi sebesar $2,80,E+07$, selalu mengalami penurunan seiring berkurangnya rasio campuran air sampai rasio campuran 1:6 dengan bilangan Taylor tertinggi dihasilkan sebesar $3,30,E+06$.

6. Perhitungan Shear Stress

Shear stress digunakan untuk menentukan besar kecilnya tegangan geser pada aliran fluida tersebut. Perhitungan shear stress menggunakan persamaan :

$$\tau = -2\mu \frac{B}{R_i^2}$$



Gambar 6 Shear Stress pada $\omega_i = 31,4$ rad/s

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa, Perhitungan shear stress mengalami peningkatan seiring dengan perubahan rasio kecepatan silinder. Semakin tinggi kecepatan silinder dalam (ω_i), maka semakin tinggi shear stress. dan rasio campuran dengan air yang semakin sedikit, maka shear stress yang dihasilkan semakin besar. Pada rasio campuran

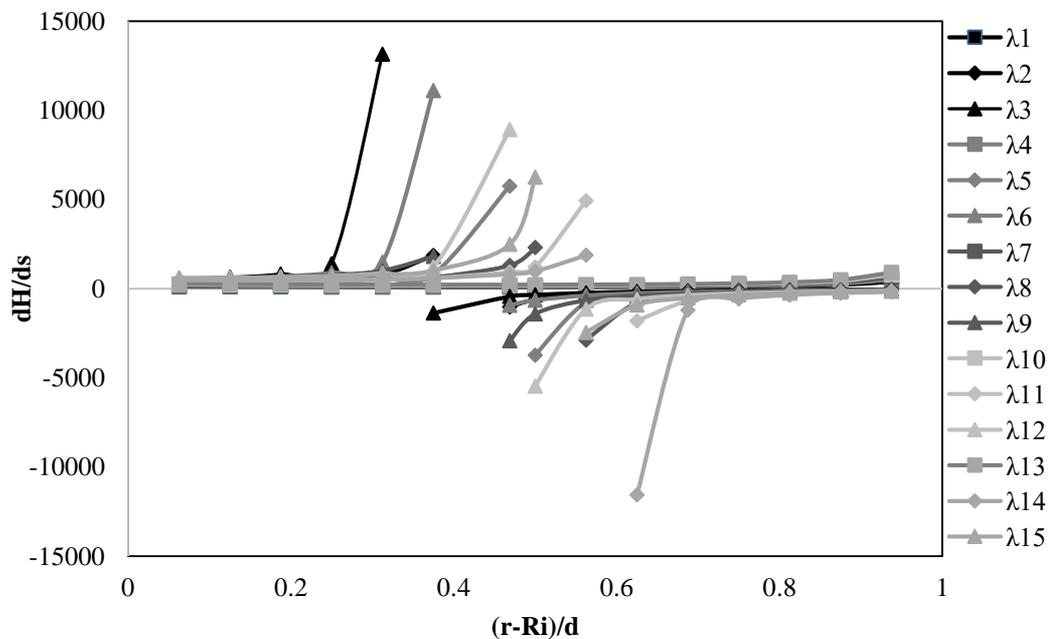
1:1, menghasilkan *shear stress* tertinggi sebesar -3,32, selalu mengalami kenaikan seiring berkurangnya rasio campuran air sampai rasio campuran 1:6 dengan *shear stress* tertinggi dihasilkan sebesar -9,32.

7. Data Perhitungan *Energy Loss Distribution*

Perhitungan *energy loss distribution* digunakan untuk menentukan besar kecilnya kehilangan energi pada aliran fluida tersebut. Perhitungan *energy loss distribution* menggunakan persamaan :

$$\frac{dH}{ds} = 4\mu \frac{\omega_i R_i R_i^4 (1 - \eta)^2 (1 - \lambda)^2 \left[\frac{\eta^2 - \lambda r}{\eta^2 - 1 R_i} + \frac{R_i (1 - \lambda)}{r (1 - \eta^2)} \right]^{-1}}$$

dimana r merupakan variasi dari R_i ke R_o sebanyak 15 titik yaitu 0,025-0,039.



Gambar 7 Grafik *energy loss distribution* rasio campuran 1:1

Gambar 7 merupakan grafik *energy loss distribution*, dimana λ merupakan perbandingan antara kecepatan silinder luar dibagi dengan kecepatan silinder dalam. Nilai dari λ_1 yaitu 0 dan Nilai dari λ_{15} yaitu -0,43.

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa, *Energy loss distribution* pada kecepatan silinder luar $\omega_o = 0$, mendapatkan hasil yang mendekati $(r-R_i)/d = 1$. *Energy loss distribution* pada selain kecepatan silinder luar $\omega_o = 0$, hasilnya mencapai titik tak hingga pada titik pada *gap* silinder tertentu. Dan rasio campuran berpengaruh terhadap *energy loss distribution* yang dihasilkan. Pada titik yang sama *energy loss distribution* pada rasio campuran 1:3 lebih besar dibandingkan pada rasio campuran 1:1. Semakin besar viskositas dinamik maka *energy loss distribution* semakin besar juga.

SIMPULAN

Perbedaan rasio campuran akan mempengaruhi *flow regime* yang dihasilkan. Pada rasio campuran 1:1, bilangan Reynolds yang dihasilkan besar karena viskositas kinematik fluida pada rasio tersebut kecil, sehingga *flow regime* yang dihasilkan lebih turbulen. Kecepatan silinder luar dan silinder dalam juga berpengaruh terhadap *flow regime* yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan silinder maka semakin tinggi tingkat turbulensi. Nilai viskositas dinamik campuran juga berpengaruh terhadap *shear stress*. Semakin tinggi nilai viskositas dinamik semakin tinggi *shear stress* yang dihasilkan. Selain viskositas dinamik, peningkatan kecepatan silinder dalam, dan kecepatan silinder luar akan menaikkan *shear stress*. Semakin besar viskositas dinamik maka *energy loss distribution* semakin besar juga. *Energy loss distribution* pada kecepatan silinder luar $\omega_o = 0$, mendapatkan hasil yang mendekati $(r-R_i)/d = 1$. Sedangkan *energy loss distribution* selain kecepatan silinder luar $\omega_o = 0$ akan menghasilkan titik tak hingga pada *gap* silinder tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L., A. Kusumastuti, M. M. H. S. Buddin, C. J. C. Derek, dan B. S. Ooi. 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.
- Andereck, D., S.S. Liu, H. L. Swinney. 1986. Counter rotating cylinder of Taylor Couette column. *Fluid Mech*, 164:155–183.
- Munson, B.R., D. F. Young, dan T. H. Okiishi. 2001. *Fundamental of Fluid Mechanics Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America. Terjemahan Harinaldi dan Budiarto. 2004. *Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Dou, H. S., B. Cheong, dan K. Seng. 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.
- G. I. Taylor, F. R. S. 1923. Stability of a Viscous Liquid contained between Two Rotating Cylinders . *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 223(1923), pp. 289–343.
- Ghannam, M. T. 2006. Stability investigation of water-in-crude oil emulsion. *Journal of Applied Sciences*, 6(14), 2895–2900.
- Prajitno , Sutrisno , dan P. Indarto. 2011. POLA ALIRAN COUETTE-TAYLOR DENGAN ALIRAN AKSIAL. *Thermofluid Seminar Nasional Pameran Teknologi Gas*. Universitas

- Gadjah Mada. Yogyakarta. 123-126.
- Ridwan. 1999. *Mekanika Fluida Dasar* (Vol. 172). Jakarta: Penerbit Gunadarma.
- SAADEVANDI, B. A., dan J. L. ZAKIN. 1997. a Study of Silicone Oil-in-Water Emulsions. *Chemical Engineering Communications*, 156(1):227–246.
- Streeter, V. L., E. B. Wylie. 1985. *Fluid Mechanics, Eighth Edition*. McGraw-Hill. United States of America. Terjemahan A. Priyono. 1988. *Mekanika Fluida Edisi Delapan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Zhu, X., R. J. Campero, dan R. D. Vigil. 2000. Axial mass transport in liquid-liquid Taylor-Couette-Poiseuille flow. *Chemical Engineering Science*, 55(21):5079–5087.