

STUDI NUMERIK ALIRAN *TAYLOR VORTEX TURBULENT* DENGAN PENGARUH GRADIEN TEMPERATUR

Iman Pradana A. Asssagaf^{1*}, Rizki Ilmal Yaqin², Angger Bagus Prasetyo³

¹Jurusan Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik ATI Makassar, Jl. Sunu No 220, Kec. Tallo
Kota Makassar, 90221

²Jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai, Jl. Wan Amir No. 1, Kel.
Pangkalan Sesai, Kec. Dumai Barat, Kota Dumai, 28821

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Jl
Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281

*E-mail iman.pradana@atim.ac.id

Diterima: 15 03 2022

Direvisi: 16 04 2022

Disetujui: 25 07 2022

ABSTRAK

Pola aliran dan torsi pada *Taylor vortex turbulent* dengan perpindahan kalor telah diteliti menggunakan metode numerik. Parameter geometri pada penelitian dengan *radius ratio* 0,714 dan *aspect ratio* 10 dengan bilangan *Taylor* 2463 - 9852 serta $T_i = 60\text{ }^\circ\text{C}$ dan $T_0 = 100\text{ }^\circ\text{C}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *vortex turbulent* berupa aliran yang terjadi secara tidak teratur namun garis vortexnya masih ada dan turbulensi makin kuat ketika seiring dengan peningkatan putaran silinder dalam. Semakin tinggi bilangan *Nusselt* rata-rata dari dinding silinder bagian dalam menunjukkan abiliti perpindahan kalor yang lebih kuat. Peningkatan torsi atas pengaruh putaran silinder pada daerah aliran, kenaikan torsi gesekan dipengaruhi oleh sel-sel *vortex* pada aliran *turbulent*.

Kata kunci: vortex, perpindahan kalor, aliran turbulent

ABSTRACT

The flow pattern and torque on Taylor vortex turbulent with heat transfer have been investigated using numerical methods. Geometric parameters in this study with a radius ratio of 0.714 and an aspect ratio of 10 with Taylor numbers 2463 - 9852 and $T_i = 60\text{ }^\circ\text{C}$ and $T_0 = 100\text{ }^\circ\text{C}$. The results showed that the turbulent vortex was a flow that occurred irregularly but the vortex lines were still there and the turbulence was getting stronger as the rotation of the inner cylinder increased. The higher the average Nusselt number of the inner cylinder wall indicates a stronger heat transfer ability. The increase in torque due to the influence of cylinder rotation on the flow area, the increase in friction torque is influenced by vortex cells in turbulent flow.

Keywords: vortex, heat transfer, turbulent flow

PENDAHULUAN

Sir G. I Taylor meneliti tentang aliran yang terjadi jika fluida viskos di dalam celah silinder tertutup antara silinder koaksial yang berputar dengan kecepatan yang berbeda diteliti yang kemudian dikenal dengan aliran *Taylor-Couette* [1]. Penelitian tentang *Taylor-Couette* berkembang dengan berbagai metode baik dengan metode experimental, metode analitis dan metode komputasi dinamik. Penerapan aplikatif untuk aliran *Taylor-Couette* terdapat pada *rotating heat pipes turbo generators*, motor listrik, sistem filtrasi, *reverse osmosis*, strelisasi *liquid food* dan lainnya [2]-[7]. Liu, Dong Dkk [8] meneliti tentang efek gradien temperatur pada proses transisi aliran *Taylor-Couette* dengan slit wall hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh efek gradien temperature penambahan slit wal pada aliran *Taylor-Couette* mempengaruhi proses transisi dengan mempercepat awal ke aliran turbulen dengan kondisi isothermal dan non-isothermal Teng, Hao dkk [9].melakukan simulasi DNS tentang pengaruh gradient temperatur radial. Sutrisno dkk [10] meneliti tentang karakteristik aliran dan torsi aliran aksial *Taylor-Couette* dengan perpindahan kalor hasilnya menunjukkan bahwa aliran yang terbentuk yaitu *Taylor Vortex*, *Wavy Vortex*, and *Turbulent Vortex*. Torsi dengan aliran aksial menunjukkan bahwa ada peningkatan torsi pada pengaruh putaran silinder dan aliran aksial.

Aliran didalam silinder konsentrik yang berputar dikarakterisasi dengan parameter geometri berupa *radius ratio* (η) yaitu perbandingan antara jari-jari silinder bagian dalam (r_i) dan silinder bagian luar (r_o), *aspect ratio* (Γ) yaitu perbandingan antara panjang silinder (L) dan jarak celah annulus (d). Parameter dinamis berupa bilangan *Taylor*. Aliran transisi dengan kombinasi dari rotasi dan perpindahan kalor menentukan dinamika aliran yang terjadi dalam industri yang kompleks. Tujuan dari penelitian adalah mempelajari pengaruh putaran silinder dalam dengan pengaruh perbedaan temperatur antara silinder luar dan dalam.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan perangkat lunak CFD. *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi computer untuk melakukan penghitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Persamaan atur [11] yang diselesaikan dalam penelitian ini adalah :

Persamaan kontinuitas (1) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) = 0 \quad (1)$$

Persamaan *Navier-Stokes* arah radial, tangensial, aksial dengan menggunakan persamaan (2a), (2b) dan (2c) :

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{\partial v_\theta}{\partial t} \right) = \rho g_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) \right) + \frac{1}{r^2} - \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \quad (2a)$$

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_r}{\partial t} \right) = \rho g_r - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} - \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (2b)$$

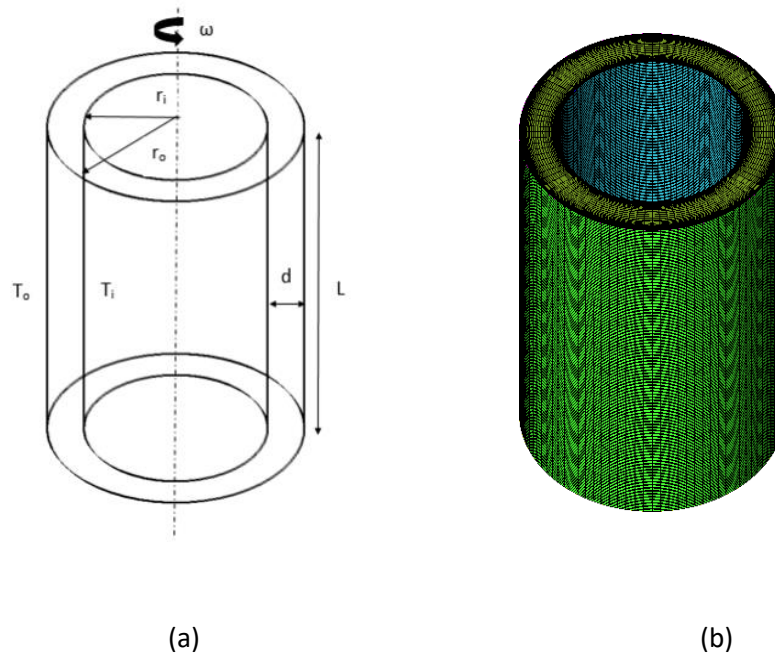
$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial t} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} - \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] \quad (2c)$$

Persamaan Energi (3) :

$$\rho c_p \left(a \frac{\partial T}{\partial r} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} v_z + \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \right] + \mu \Phi \quad (3)$$

Pada Gambar 1 menunjukkan bentuk dan ukuran se Bentuk dan ukuran geometri silinder konsentris dengan parameter geometri yaitu *radius ratio* 0,716 dan *aspect ratio* 10 yang berdasarkan pada penelitian

sebelumnya [12]. Jaring komputasi (grid) dibuat dengan elemen *hexahedral* pada arah aksial dan tangensial dan pada arah radial dengan jumlah total 1.120.111 elemen.



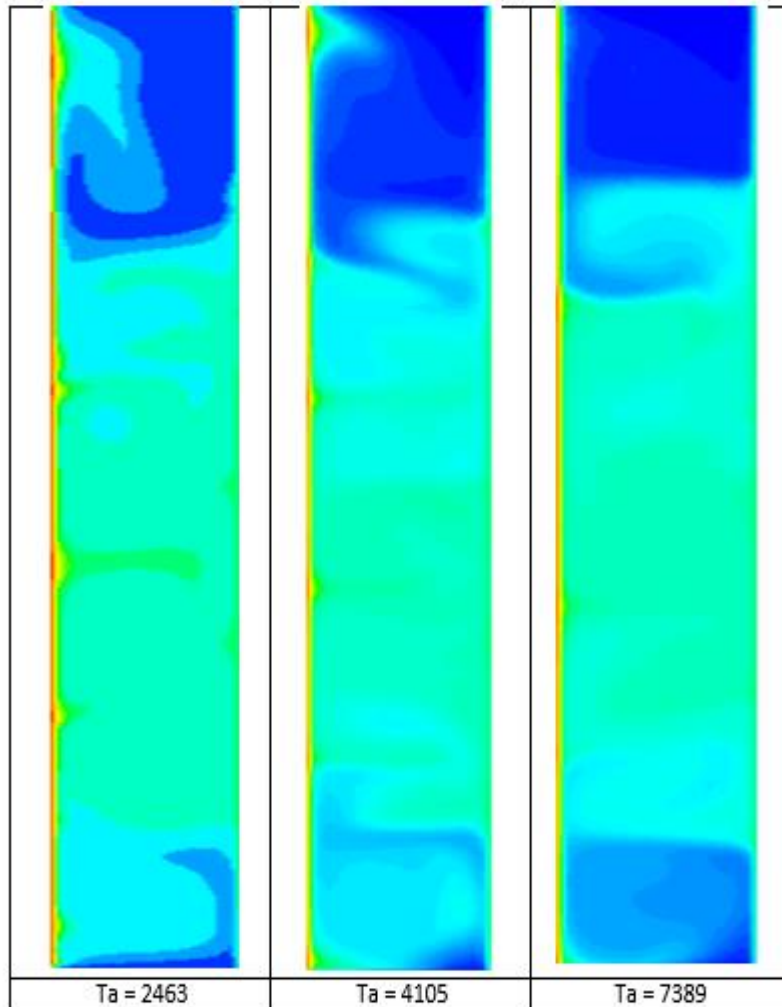
Gambar 1. Skematik geometri model penelitian pada Gambar (a) dan *mesh hexahedral* domain komputasi pada Gambar (b)

Pada penelitian ini Model turbulensi yang digunakan adalah $k-\omega$ dengan akurasi yang baik untuk daerah sekitar *wall* Model turbulen jenis ini banyak dipakai untuk aliran yang dengan lapis batas yang mempunyai *gradient* tekanan yang rendah dan pemisahan aliran dapat diprediksi dengan cepat dengan akurasi yang baik [13] Diskretisasi persamaan menggunakan metode volume hingga dengan skema beda tengah untuk suku difusi dan skema orde dua untuk suku konveksi. Algoritma penyelesaian persamaan kontinuitas, *Navier-Stokes* dan energi menggunakan metode SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations*). Temperatur pada silinder dalam (T_i) yaitu sebesar $60\text{ }^\circ\text{C}$ dan temperatur silinder luar (T_o) adalah $100\text{ }^\circ\text{C}$. Fluida kerja dengan densitas $964,34\text{ kg/m}^3$, viskositas dinamik (μ) $0,00311\text{ N.s/m}^2$, Konduktifitas termal (k) $0,672\text{ W/m.K}$, kalor jenis (c_p) 4206 J/kg.K [13]. Bilangan Taylor didefinisikan $Ta = \frac{R_i \omega_i d}{\nu} \sqrt{\frac{d}{R_i}}$, dengan ω_i adalah kecepatan sudut silinder dalam dan ν adalah viskositas kinematic. Variasi putaran pada penelitian ini adalah 120 sampai 480 RPM menghasilkan bilangan *Taylor* 2463 sampai dengan 9852.

HASIL DAN PEMBAHASAN

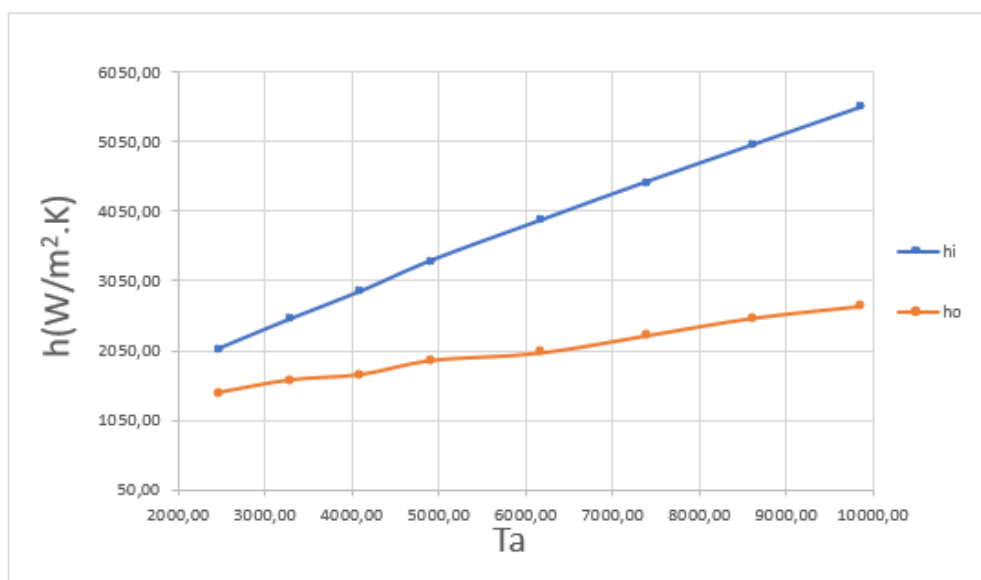
Hasil simulasi penelitian ini dengan temperatur dinding silinder dalam yaitu sebesar $60\text{ }^\circ\text{C}$ dan silinder luar $100\text{ }^\circ\text{C}$. dengan perbedaan suhu antara silinder luar dan silinder dalam serta pengaruh rotasi silinder dalam maka perubahan pola aliran fluida dengan pengaruh temperatur ditampilkan dalam bentuk plot kontur temperatur dengan variasi bilangan *Taylor* pada Gambar 2 perubahan pola aliran itu sendiri mempengaruhi kontur dari hasil komputasi yang di tampilkan. Partikel-partikel yang bersentuhan dengan dinding silinder dalam dan silinder luar mencapai kesetimbangan termal dengan permukaan dinding silinder. Kemudian partikel-partikel tersebut mengalami pertukaran energi dengan partikel-partikel pada lapisan fluida. Dengan meningkatnya rotasi silinder

dalam pada aliran *Taylor vortex turbulent* maka hal ini menunjukkan bahwa besarnya gaya sentrifugal meningkat dan counter-rotating vortisitas menjadi lebih kuat sehingga kontur temperatur mengikuti bentuk dari *vortex*.



Gambar 2. Visualisasi *vortex core region* pada celah annulus

Energi dalam bentuk kalor dapat berpindah melalui medium maupun tanpa medium. Oleh karena itu medium yang dilalui sangat menentukan koefisien perpindahan kalornya. Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan fluida. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari kedua dinding silinder dengan fluida di dalam celah annulus dengan perbedaan kedua temperatur antara dinding silinder. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Taylor maka besarnya koefisien perpindahan kalor akan semakin meningkat pada aliran Taylor vortex turbulent. Koefisien perpindahan kalor konveksi silinder dalam lebih besar karena kondisi dinding silinder yang berputar sedangkan untuk silinder dalam kondisi diam dengan no slip condition.



Gambar 3. Koefisien perpindahan kalor rata-rata silinder dalam Koefisien perpindahan kalor rata-rata pada silinder luar.

KESIMPULAN

Dengan meningkatnya rotasi silinder dalam pada aliran *Taylor vortex turbulent* maka hal ini menunjukkan bahwa besarnya gaya sentrifugal meningkat dan counter-rotating vortisitas menjadi lebih kuat sehingga kontur temperatur mengikuti bentuk dari *vortex*. semakin besar bilangan Taylor maka besarnya koefisien perpindahan kalor akan semakin meningkat. koefisien perpindahan kalor konveksi silinder dalam lebih besar karena kondisi dinding silinder yang berputar sedangkan untuk silinder dalam kondisi diam dengan no slip condition.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Taylor, G.I, *Sability of a Viscous Liquid Contained Between Two Rotating Cylinder*, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. Volume 223. 289 – 343.1923
- [10] Sutrisno, Assagaf, Iman P.A. Djoko. Wibowo, Setyawan Bekt. Iswahyudi, Sigit. *Flow and Torque Characteristic Numerical Studies in Axial Forced Taylor-Couette Flow with Heat Transfer*. International Journal of Mechanical Engineering and Technology 10 (7). 197-207. 2019
- [2] D.D. Dang, X.T. Pham, P. Labbe. *CFD Analysis Of Turbulent Convective Heat Transfer In A Hydro-Generator Rotor-Stator System*. *Appl. Therm. Eng.* 130.17–28. 2018
- [3] W. Lian, W. Chang, Y. Xuan. *Numerical Investigation On Flow And Thermal Features Of A Rotating Heat Pipe*. *Appl. Therm. Eng.* 101. 92–100. 2016
- [4] A.B. Nachouane, A. Abdelli, G. Friedrich, 2015. *Numerical Approach For Thermal Analysis Of Heat Transfer Into A Very Narrow Air Gap Of A Totally Enclosed Permanent Magnet Integrated Starter Generator*. Energy Conversion Congress and Exposition pp. 1749–1756.
- [5] Prajitno. 2012. Pengembangan Sistem Filter Putar berbasis Aliran Couette-Taylor. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV.
- [6] Lee, Sangho Lueptow, Richard M., 2004 *Rotating Membrane Filtration and Rotating Reverse Osmosis*. Journal Of Chemical Engineering Of Japan Vol. 37 No. 4, pp 471-482.
- [7] Masuda, Hayato., Horie, Takafumie., Ohmura, Naoto., Shimoyamada, Makoto. *Intensification of Heat Sterilization Process for Liquid Foods using Taylor Couette Flow System*. Chemical Engineering Transactions. Volume 57. 2017
- [8] Liu, Dong., Wang, Chun-Lin., Hyoung-Bum Kim. Temperature gradient effect on the transition process of Taylor-Couette flow. IEEE. 2011

- [9] Teng, Hao, Nansheng Liu., Lu, Xiyun., Khomami, Bhmanin., 2015. *Direct numerical simulation of Taylor-Couette flow subjected to a radial temperature gradient.* : Physics of Fluids 27.
- [10] Sutrisno, Assagaf, Iman P.A. Djoko. Wibowo, Setyawan Bekt. Iswahyudi, Sigit. , 2016. *Flow and Torque Characteristic Numerical Studies in Axial Forced Taylor-Couette Flow with Heat Transfer.* International Journal of Mechanical Engineering and Technology 10 (7), pp. 197-207.
- [11] Anderson, J.D., 1995. *Computational Fluid Dynamics.* McGraw-Hill, Inc.
- [12] Nugraha, Budi, 2014. *Study Computational Fluid Dinamics Karakteristik Aliran dan Torsi Pada Aliran Taylor- Couette-Poiseuille,* Tesis Program Studi S2 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [14] Wilcox, David C, 2006. *Turbulence Modeling for CFD,* DCW Industries Inc. 3rd edition.
- [15] VDI-Verlag GmbH, 2010. Dusseldorf, *VDI Heat Atlas.* Springer.