

ANALISIS PENGARUH INERSIA TERHADAP *LOAD CARRYING CAPACITY* PADA BANTALAN *THRUST* BERTEKSTUR SEGI EMPAT TUNGGAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *SLIP* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

Fuad Hilmy¹, M. Muchammad², M. Tauviquirrahman²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116

²Laboratorium Engineering Design and Tribology, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275

Email korespondensi: fuadhilmy@untidar.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan dalam bidang industri mempengaruhi para peneliti untuk melakukan berbagai macam inovasi. Salah satu penemuan yang menarik dalam bidang pelumasan *hydrodynamic* adalah desain tekstur pada bantalan *thrust*. Akan tetapi dengan adanya tekstur pada permukaan bantalan *thrust* terkadang justru dapat mengakibatkan efek negatif. Oleh karena itu, penelitian ini membahas pengaruh inersia dan rekayasa permukaan *slip* dalam rangka meningkatkan performa bantalan *thrust*. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan *computational fluid dynamic (CFD)*. Berdasarkan penelitian, diperoleh hasil bahwa *slip* dapat mengurangi efek kavitasi dengan mereduksi area kavitasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa *slip* mempunyai dampak yang positif terhadap peningkatan performa bantalan *thrust* salah satunya yaitu dengan meningkatkan *load carrying capacity*. Sedangkan inersia dikombinasikan dengan *slip* dapat meningkatkan *load carrying capacity* akan tetapi panjang daerah kavitasi juga semakin besar.

Kata kunci : *CFD*, inersia, pelumasan hidrodinamik, *slip*, *thrust bearing*

ABSTRACT

The rapid development in the industry has influenced researchers to carry out various kinds of innovations. One of the interesting discoveries in the field of hydrodynamic lubrication is the texture design on the thrust bearing. However, the presence of an uneven surface (texture) on the surface of the thrust bearing can sometimes cause negative effects. Therefore, the present study discusses the effect of inertia and surface engineering (slip) in order to improve the performance of thrust bearings. This study uses a computational fluid dynamic (CFD) approach. Based on several literature studies, it is said that slips can reduce the effects of cavitation by reducing cavitation areas. So it can be said that the slip has a positive impact on improving the performance of thrust bearing, one of which is by increasing the load carrying capacity. Meanwhile, inertia combined with slip can increase the load carrying capacity, but the length of the cavitation area will also increase.

Keyword: *CFD*, hydrodynamic lubrication, inertia, slip, thrust bearing

PENDAHULUAN

Salah satu elemen mesin yang memegang peran cukup vital dalam sektor permesinan industri salah satunya yaitu bantalan. Sesuai dengan prinsip kerjanya, bantalan berperan sangat penting dalam menopang putaran sebuah poros. Kemampuan ini yang sering dinamakan *load carrying capacity* dari bantalan. Dalam mesin industri yang besar seperti turbin, generator maupun pompa, jenis bantalan yang sering digunakan yaitu bantalan *thrust*. Bantalan *thrust* merupakan bantalan yang menggunakan fluida sebagai pemisah sekaligus sebagai pelumasnya (*hydrodynamic lubrication*) [1]. Hal yang masih menjadi permasalahan dari bantalan *thrust* yaitu gerakan berputar dari poros akan menimbulkan gesekan antara bagian yang diam (bantalan) dengan bagian yang bergerak (poros) sehingga menyebabkan kerugian kerja mesin. Oleh karena itu, hadirnya gesekan antara poros dengan bantalan merupakan fenomena yang harus diminimalisasi agar kesetabilan putaran poros dan performa bantalan tetap terjaga [2]. Performa bantalan *thrust* dapat dikatakan baik apabila mempunyai koefisien gesek yang kecil dan *load carrying capacity* yang besar [3]. Untuk meningkatkan performa bantalan *thrust* dewasa ini telah banyak riset yang dikembangkan. Salah satu inovasi yang tengah

berkembang yaitu rekayasa permukaan pada bantalan.

Beberapa penelitian terkait dengan pemberian tekstur pada permukaan bantalan yang pernah dilakukan yaitu penelitian secara eksperimental dan numerikal tentang karakteristik gesekan permukaan mikrotekstur menghasilkan kesimpulan bahwa tekstur yang terdapat pada permukaan dapat menurunkan gesekan sebesar 80% dibandingkan dengan permukaan yang tidak bertekstur dan meningkatkan *load carrying capacity* apabila kedalaman tekstur optimal. Akan tetapi apabila kedalaman tekstur terlalu besar atau terlalu kecil, *load carrying capacity* muatan akan menurun. Selain itu, terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi *load carrying capacity* yaitu tekanan kavitasi, kecepatan *slider* dan *film thickness* antara *slider* dengan bantalan [4, 5, 6].

Penelitian yang mengakomodir adanya *slip* dan inersia diantaranya menghasilkan pernyataan bahwa dengan adanya inersia dan pengaruh *slip* maka kavitasi dapat diperkecil [7, 8]. Akan tetapi penelitian yang telah dilakukan masih memerlukan pembahasan secara detail terkait dengan kecepatan *slider* pada kondisi *slip* dan kavitasi. Oleh karena itu dalam studi ini dibahas terkait dengan kombinasi kecepatan *slider* pada kondisi *slip* dan kavitasi menggunakan pendekatan *computational fluid dynamic (CFD)* dan *Reynold Equation (RE)*.

METODE

Dalam menyelesaikan kasus pelumasan *hydrodynamic*, studi ini menggunakan pendekatan persamaan Navier-Stokes dan kontinuitas yang

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x$$

dan persamaan kontinuitas,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Untuk membandingkan efek inersia yang terjadi, dalam studi ini ditentukan nilai dari bilangan

merupakan persamaan pembangun dari analisis *computational fluid dynamic (CFD)* seperti pada persamaan berikut [9],

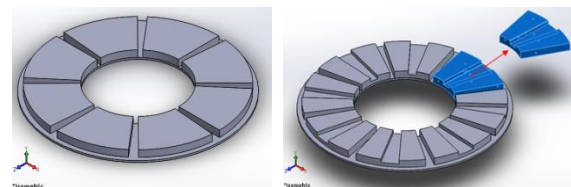
Reynolds (*Re*) berdasarkan kecepatan dari *slider*. Selain menggunakan persamaan Navier-Stokes (N-S) dan kontinuitas, studi ini juga menggunakan *Reynold Equation (RE)* sebagai pembanding [10].

$$P_2 \left[\left(h_p^3 + 3h_p^3 K_p \right) \frac{ab+bc}{ab^2} + \left(\frac{h_0^3 + 3h_0^3 K_0}{a} \right) \right] = P_{am} \left[\left(h_p^3 + 3h_p^3 K_p \right) \frac{ab+bc}{ab^2} + \left(\frac{h_0^3 + 3h_0^3 K_0}{a} \right) \right] - 6\mu U \left[\left(h_p + h_p K_p \right) - \left(h_0 + K_0 \right) \right]$$

Sistem pelumasan *hydrodynamic* pada studi kasus ini diselesaikan menggunakan analisa *CFD* dengan memodelkan sistem kedalam model 2 dimensi (2D) dengan variasi kecepatan slider 0,1 m/s (*Re* = 0,028) dan 1,5 m/s (*Re* = 0,7).

Tekstur pada bantalan dimodelkan dengan bentuk segi empat yang terdapat pada permukaan bantalan. Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara bentuk bantalan

thrust tanpa tekstur dengan bantalan *thrust* bertekstur segi empat tunggal.

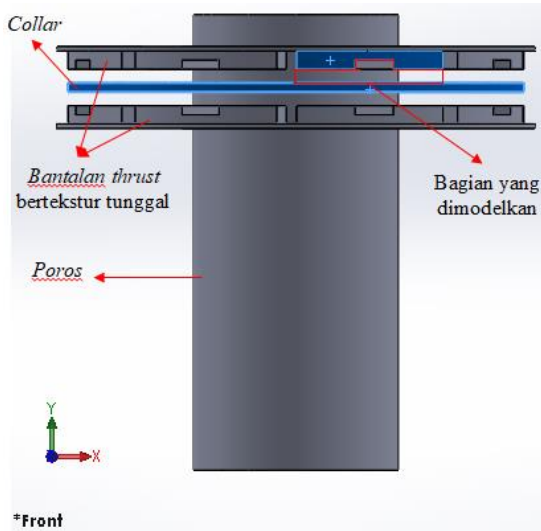


(a)

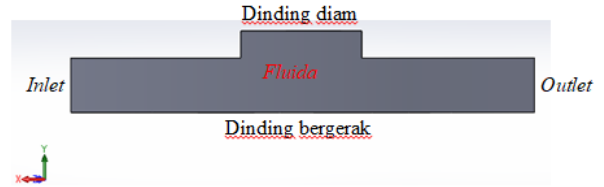
(b)

Gambar 1. Bantalan *thrust* (a) tanpa tekstur, dan (b) bertekstur segi empat tunggal.

Pemodelan 2D dari bantalan diperoleh dari sistem yang ada pada Gambar 2. Sistem yang ada pada Gambar 2 kemudian dimodelkan menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 3.

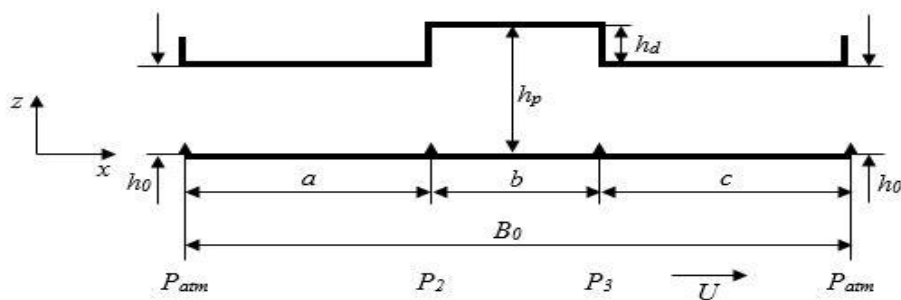


Gambar 2. Sistem pelumasan bantalan *thrust* bertekstur tunggal dengan segi empat yang terhubung dengan *collar* dan poros.



Gambar 3. Model bantalan *thrust* 2D.

Bantalan *thrust* terdiri dari permukaan yang diam dan permukaan yang bergerak. Bantalan *thrust* terdiri dari dua pembatas yang dimodelkan menggunakan garis yang tersusun sejajar. Pada salah satu permukaan garis, tekstur dimodelkan dengan garis berbentuk segi empat. Diantara dua garis yang sejajar tersebut terdapat *film* fluida yang mempunyai kegunaan untuk melumasi dan memisahkan antara permukaan yang bergerak dengan permukaan yang diam. Kontak berupa *sliding* dimodelkan pada bantalan *thrust* yang mempunyai gradien kecepatan dan tekanan fluida hanya berpengaruh pada arah x saja. Hal ini dikarenakan pada pemodelan 2D lebar diasumsikan tak hingga. Model secara detail terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Geometri model bantalan *thrust*.

Tabel 1. Dimensi Geometri Bantalan *Thrust*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Panjang bantalan	B	2	mm
Panjang <i>inlet</i>	a	0,75	mm
Panjang <i>outlet</i>	b	0,75	mm
Panjang tekstur	c	0,50	mm
Tinggi maksimum	h_p	8	Mm
Tinggi minimum	h_o	4	Mm
Kedalaman tekstur	h_d	4	μm

Mesh yang akan digunakan pada bantalan *thrust* terdiri dari empat blok dengan *grid* seragam. Jumlah *grid* pada arah longitudinal (N_x) dan transversal (N_z) adalah 1000 x 100. Jumlah *cells* 70.000 dan jumlah *nodes* 71.101.

Pada studi kasus ini, pemodelan mempertimbangkan efek kavitasi sehingga pemodelan menggunakan 2 fasa yaitu *liquid* dan *vapor*. Dimana pelumas menggunakan *properties* sebagai berikut [hilmly]:

Tabel 2. *Properties* Pelumas

Parameter	Simbol	Oli	Vapor oli	Satuan
Densitas	ρ / ρ_{sat}	962	0,02556	kg/m^3
Viskositas	η / η_{sat}	0,013468	$1,256 \times 10^5$	Pa-s
Tekanan vaporisasi	P_{sat}	50.000		Pa

Model kavitasi yang digunakan yaitu Schnerr-Sauer. Model ini dapat digunakan dalam aliran dua fasa atau pada saat fasa *mixture*. Fraksi massa dari gas yang diakomodasi oleh model ini diasumsikan konstan. Pada model ini, diperlukan *liquid* sebagai fasa primer dan *vapor* sebagai fasa sekunder, dan hanya dapat dipergunakan sebagai model *multiphase mixture*.

Untuk memodelkan fenomena *slip* di pada perangkat lunak ANSYS-FLUENT, perlu dibuatkan penambahan subrutin untuk meningkatkan kemampuan FLUENT

dan menyesuaikan fiturnya untuk menganalisis pemodelan pelumasan. Subrutin ini, dinamakan *user defined function (UDF)*. Subrutin ini merupakan fungsi yang memungkinkan pengguna untuk menentukan kondisi batas, properti material, dan jenis aliran serta menentukan parameter model yang sesuai.

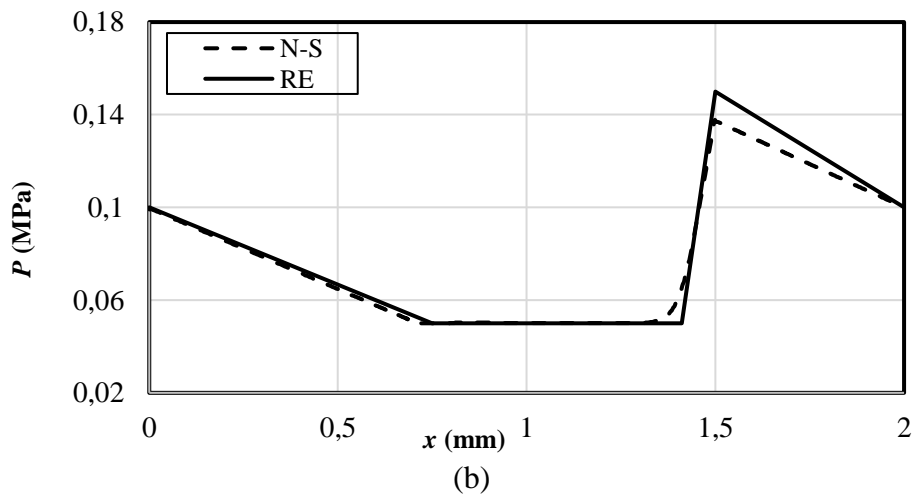
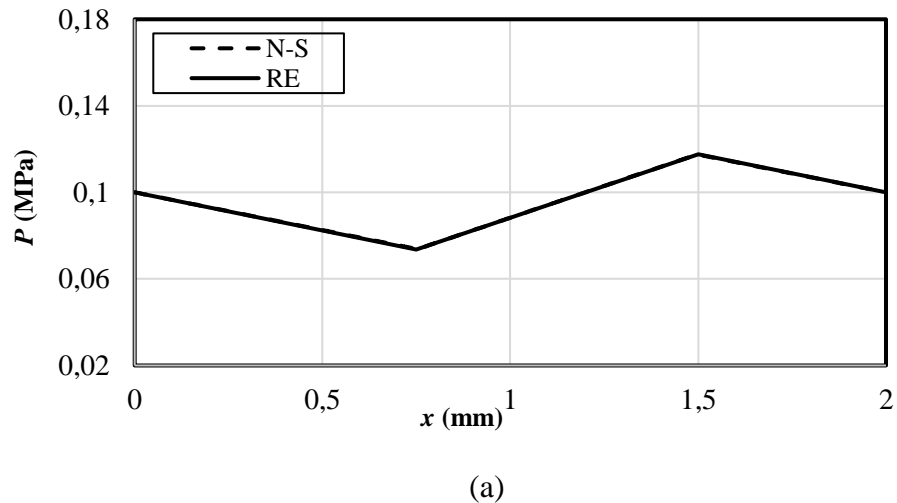
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kondisi ini, dilakukan pemodelan dengan tanpa mengakomodir adanya *slip*. Pada

variasi bilangan $Re = 0,028$ dihasilkan kondisi dimana terjadi kemiripan tren grafik tekanan antara penyelesaian menggunakan persamaan $N-S$ dengan persamaan RE . Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 (a). Pada kondisi tersebut inersia tidak berpengaruh terhadap performa bantalan *thrust*. Begitu juga dengan kavitasi, pada kondisi ini

mengindikasikan bahwa tidak terjadi kavitasi.

Sedangkan untuk bilangan $Re = 0,7$ terdapat daerah kavitasi. Hasil menarik yang diperoleh adalah inersia menyebabkan penurunan *load carrying capacity* seperti terlihat pada Gambar 5 (b). Akan tetapi inersia mampu mengurangi panjang daerah kavitasi pada bantalan *thrust*.



Gambar 5. Distribusi *load carrying capacity* pada (a) $Re = 0,028$, dan (b) $Re = 0,7$ pada kondisi tanpa *slip*.

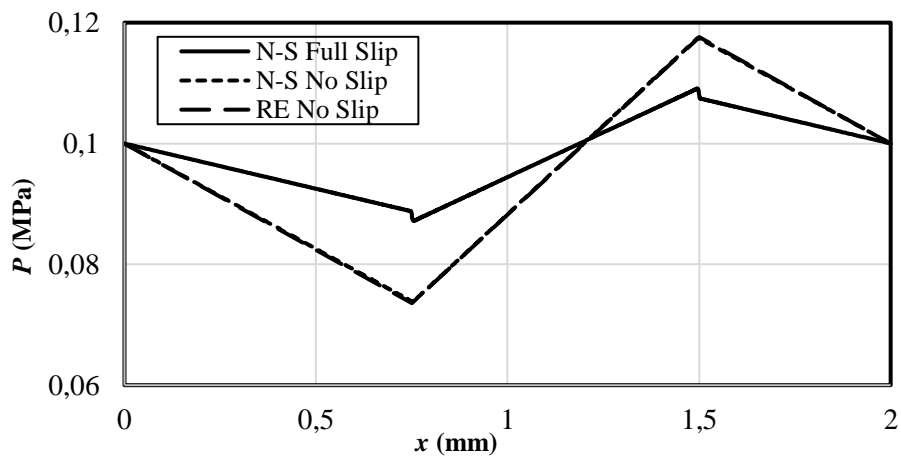
Pada kasus ini kondisi *slip* dan inersia diterapkan secara bersama

dengan variasi bilangan $Re = 0,028$. Seperti yang terdapat pada Gambar 6

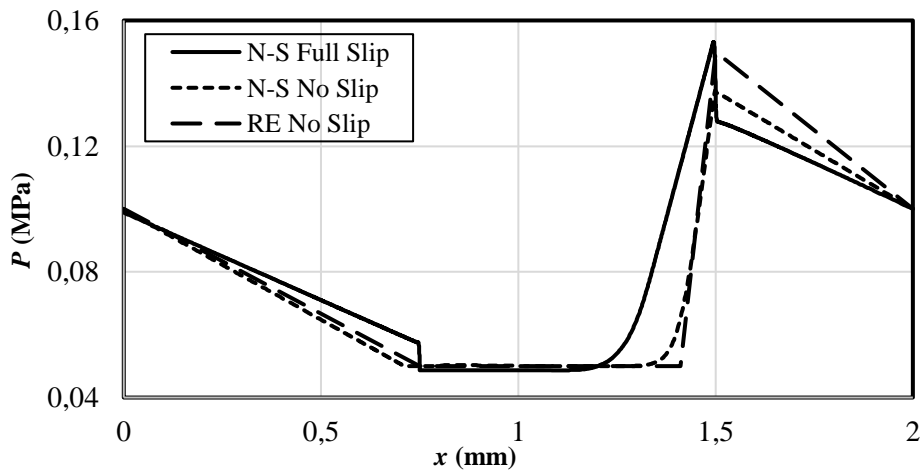
(a), apabila *slip* dan inersia diterapkan bersama maka tekanan maksimum mengalami penurunan tetapi tekanan minimum mengalami peningkatan. Oleh karena itu, grafik yang dihasilkan mempunyai bentuk yang landai. Pada kasus ini terjadi penurunan tekanan secara signifikan sesaat sebelum tekanan minimum dan sesaat setelah tekanan maksimum. Sehingga grafik penurunan tekanan menjadi tidak rata, melainkan berbentuk lancip

dengan sudut kecil seperti paruh ayam.

Sedangkan untuk bilangan $Re = 0,7$ terdapat daerah kavitas. Pada Gambar 6 (b) dapat dilihat bahwa apabila *slip* dan inersia diterapkan secara bersama, maka *load carrying capacity* maksimum mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi inersia tanpa menerapkan *slip*. Panjang daerah kavitas juga mampu dikurangi oleh kombinasi *slip* dan inersia ini.



(a)



(b)

Gambar 6. Distribusi *load carrying capacity* pada (a) $Re = 0,028$, dan (b) $Re = 0,7$ pada kondisi dengan memodelkan *slip*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada studi ini, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi tanpa *slip*, untuk variasi $Re = 0,028$ tidak terjadi kavitasasi dan inersia tidak berpengaruh terhadap performa bantalan *thrust*. Sedangkan untuk variasi bilangan $Re = 0,7$ menunjukkan terjadinya kavitasasi. Inersia menyebabkan penurunan *load carrying capacity*, akan tetapi inersia mampu mengurangi panjang daerah kavitasasi.

Pada kondisi *slip* dan inersia antara konfigurasi $Re = 0,028$ dan $Re = 0,7$ menunjukkan hasil bahwa semakin meningkatnya Re maka *load carrying capacity* semakin meningkat dan panjang daerah kavitasasi juga semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmani, dan., Mirzaee, I., Shirvani, A, and Shirvani, H. "An analytical approach for analysis and optimisation of slider bearings with infinite width parallel textures". *Tribology International*. 43(8). pp. 1551-1565. 2010.
- [2] Khonsari, M. M., dan Booser, E. R. "Applied tribology: bearing design and lubrication". John Wiley & Sons. 2017.
- [3] Hilmy, F., Muchammad, M., Tauviqirrahman, M., dan Jamari, J. "Inertia effect of textured lubricated contact on the bearing performance using CFD approach". *JPhCS*, 1090(1), 012041. 2018.
- [4] Ramesh, A., Akram, W., Mishra, S.P., Cannon, A.H., Polycarpou, A.A, dan King, W.P. 2013. Friction characteristics of microtextured surfaces under mixed and hydrodynamic lubrication. *Tribology International*. 57. pp. 170-176.
- [5] Wang, W., He, Y., Zhao, J., Li, Y, dan Luo, J. 2017. Numerical optimization of the groove texture bottom profile for thrust bearings. *Tribology International*. 109. pp. 69-77.
- [6] Hanoca, P, dan Ramakrishna, H.V. 2015. To Investigate the Effect of Oil Film Thickness at the Entrance of the Infinitely Long Slider Bearing Using CFD Analysis. *Procedia Engineering*. 127. pp. 447-454.
- [7] Jamari, J., Muchammad, M., Hilmy, F., dan Tauviqirrahman, M. (2019). Effect of inertia on the cavitation phenomena of hydrodynamic textured bearings considering slip. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(9), 387.
- [8] Muchammad, M., Triandani, O., Tauviqirrahman, M., Hilmy, F., dan Jamari, J. (2020). Inertia and slip effect on a single textured hydrodynamic thrust bearing using CFD methods. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1517, p. 012011).

[9] Versteeg, H.K, dan Malakasera, W. 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: Finite Volume Method. England: Longman Scientific and Technical.

[10] Muchammad, M., Tauviquirrahman, M., Jamari, J, dan Schipper, D.J. 2016. An analytical approach on the tribological behaviour of pocketed slider bearings with boundary slip including cavitation. Lubrication Science. 29(3). pp. 133-152.