

ANALISA PENGARUH PEMBERIAN *SLIP* DAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP PERFORMA TRIBOLOGI *PLAIN* DAN *MULTISTEP JOURNAL BEARING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DAN *FLUID-STRUCTURE INTERACTION*

*Dimas Ajjalamsyah¹, Muchammad², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: dimasajjalamsyah45@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya permintaan untuk penggunaan *journal bearing* pada mesin-mesin berkecepatan tinggi yang efisien, mengakibatkan perlunya peningkatan terhadap performa tribologi *journal bearing*. Penelitian dilakukan dengan pengembangan bentuk geometri *multistep texture* yang bertujuan pada peningkatan performa pelumasan. Simulasi dilakukan dengan metode pelumasan *elastohydrodynamic* karena interaksi *fluid domain* dan *solid domain*. Analisis juga dilakukan terhadap kondisi kekasaran permukaan untuk melihat pengaruh dari proses permesinan yang dilakukan. Penelitian ini membandingkan performa *plain journal bearing* dan *multistep journal bearing* dengan memberikan variasi nilai kekasaran berupa *Slip-wall*, *smooth*, *fine*, *medium*, dan *rough* yang berada pada area konvergen pelumasan *journal bearing*. Analisis dilakukan menggunakan *journal bearing* permodelan 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Fluid-Solid Interaction* (FSI) dengan mempertimbangkan efek kavitasi dan deformasi. Dari hasil yang *multistep journal bearing* memiliki peningkatan performa tribologi pada sistem pelumasan. Pada *journal bearing* penurunan performa terjadi seiring dengan meningkatnya nilai kekasaran permukaan. Pemberian *Slip-wall surface* pada *journal bearing* mampu meningkatkan nilai performa tribologi pada sistem pelumasan.

Kata kunci : *fluid-solid interaction (fsi)*; *multistep*; *partial rough surface*; *slip-wall*

Abstract

The increasing demand for the use of *journal bearings* in efficient high-speed machines has resulted in the need for improved tribology *journal bearing* performance. The research was conducted with the development of *multistep texture* geometric shapes aimed at improving lubrication performance. The simulation is carried out by *elastohydrodynamic* lubrication method due to the interaction of *fluid domain* and *solid domain*. Analysis is also carried out on surface roughness conditions to see the influence of the machining process carried out. This panel compares the performance of *plain journal bearings* and *multistep journal bearings* by providing variations in roughness values in the form of *slip-wall*, *smooth*, *fine*, *medium*, and *rough* in the convergent area of *journal bearing* lubrication. The analysis was performed using 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) and *Fluid-Solid Interaction* (FSI) modeling bearing journals by considering the effects of cavitation and deformation. From the results *multistep journal bearings* have improved tribological performance in lubrication systems. In *journal bearings*, performance degradation occurs as surface roughness values increase. The application of *SLIP-wall surface* to *journal bearings* can increase the value of tribological performance in lubrication systems.

Keywords : *fluid-solid interaction (fsi)*; *multistep*; *partial rough surface*; *slip-wall*

1. Pendahuluan

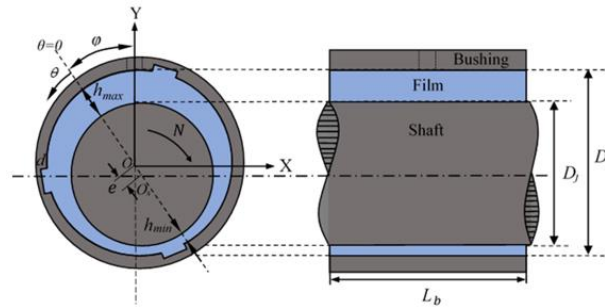
Bearing merupakan salah satu komponen yang banyak digunakan pada sistem permesinan. Salah satu tipe *bearing* yang banyak digunakan adalah *journal bearing* [1]. *Journal bearing* Fungsinya menahan beban antara rotor dan kasing dengan keausan yang sangat kecil [2]. Terdapat banyak metode yang digunakan untuk meningkatkan performa *Journal bearing* dengan mengubah bentuk geometri. *Multistep journal bearing* merupakan pemodelan tekstur yang paling sederhana jika dibandingkan tekstur yang lainnya [3]. Dalam kondisi kerjanya, fluida pelumas yang digunakan dalam pelumasan *journal bearing* akan mengalami kavitasi ketika fluida pelumas berada pada zona divergen [4].

Ditemukan bahwa deformasi elastis elemen *journal bearing* memberikan distribusi tekanan yang lebih seragam. Hal ini mempengaruhi performa dari sistem pelumasan yang ada pada *journal bearing* pada ketika sedang beroperasi [5]. Tidak hanya deformasi yang mempengaruhi performa pelumasan kondisi permukaan *journal bearing* juga sangat berpengaruh. Sander dkk.[6], menemukan perbedaan antara permukaan *journal bearing* baru dengan *journal bearing* yang memiliki permukaan kasar, yaitu adanya penurunan tekanan kontak maksimum. Dalam penelitian yang dilakukan Cui dkk. [7], mereka melakukan penelitian tentang pengaruh pemberian area *slip-wall* pada *plain journal bearing*.

Pemberian area *slip-wall* yang dilakukan pada area konvergen *plain journal bearing* mampu memberikan peningkatan performa hingga mencapai 4.5% pada penelitian yang mereka lakukan.

2. Dasar Teori

Bearing merupakan elemen mesin yang banyak digunakan pada dunia industri. *Bearing* dipakai dengan tujuan untuk mengurangi gaya gesek antara dua poros dan sumbu putarnya. *Journal bearing* terdiri dari cangkang silinder sederhana yang berfungsi sebagai tempat poros berputar menggunakan pelumas untuk memisahkan permukaan cangkang silinder dengan permukaan luar poros atau *shaft*. *Multistep journal bearing* adalah salah satu variasi *journal bearing* yang banyak digunakan. *Multistep journal bearing* memiliki keuntungan dengan lebih banyaknya fluida pelumas yang dialirkan sehingga dinilai dapat meningkatkan performa. Menurut Chen dkk. [8], variasi jumlah *multistep* pada pemodelan geometri berpengaruh terhadap performa gesekan, temperatur, dan *volume fraction of vapor*.



Gambar 1 Nomenklatur Multistep Journal Bearing

Terdapat banyak parameter yang menjadi pedoman dalam pengukuran performa dari sebuah sistem pelumasan pada *journal bearing*. Namun, secara umum performa dari sebuah sistem pelumasan pada *journal bearing* dapat dilihat dengan tiga parameter berikut.

- Daya dukung beban didefinisikan sebagai integral dari profil distribusi tekanan seluruh area *journal bearing* dan jumlah total beban yang dapat didukung oleh distribusi ketebalan film pada *bearing*

$$W = \iint_A p dA \quad (2.1)$$

- Gaya gesek didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing*

$$F_f = \iint_A \tau dA \quad (2.2)$$

- Acoustic power level* dapat diketahui dengan memperhitungkan daya per satuan volume yang muncul akibat adanya aliran turbulensi fluida

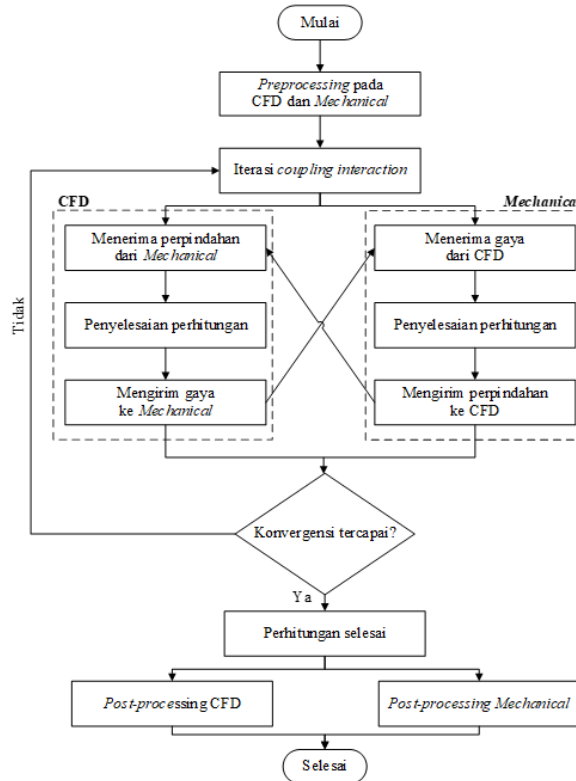
$$L_p (dB) = 10 \log (W / W_{ref}) \quad (2.3)$$

$$W = a_\epsilon \rho \epsilon \left(\frac{\sqrt{2k}}{c_0} \right)^5 \quad (2.4)$$

Kekasaran permukaan umumnya diukur dari penyimpangan vektor normal permukaan aktual dari bentuk ideal. Semakin besar penyimpangan yang terjadi menandakan permukaan tersebut memiliki nilai kekasaran yang tinggi. Kondisi permukaan yang dapat dilakukan Analisa tidak hanya kekasaran. Pada kenyataannya, kondisi batas pada sebuah permukaan dapat dibuat menjadi permukaan yang *slip* dengan mengubah kondisi propertis dan batasan dari kekasarannya [9]. Pada kondisi permukaan *slip*, nilai kecepatan aliran yang berada kontak dengan permukaan tidak mengalami perlambatan akibat adanya tegangan geser. Pada model *slip*, kondisi batas dari *slip wall* adalah ketika tegangan geser dari fluida τ melebihi nilai dari tegangan geser kritikal τ_{cr} .

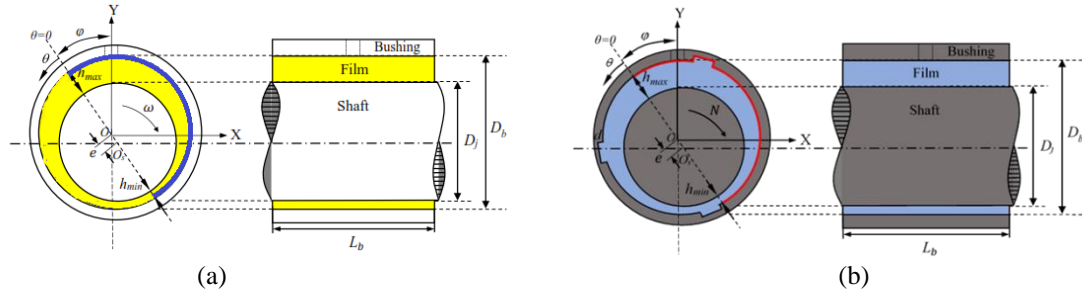
3. Metode Penelitian

Penelitian ini berupa analisis performa tribologi pada *Plain* dan *Multistep Journal Bearing*, dengan perbedaan variasi nilai kekasaran berupa *Slip-wall*, *smooth*, *fine*, *medium*, dan *rough* yang berada pada area konvergen pelumasan *journal bearing*. Analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi *Fluid-Structure Interaction (FSI)*. *Fluid-Structure Interaction (FSI)* adalah metode yang dapat menggambarkan interaksi antara beberapa struktur elastis yang bergerak ataupun terdeformasi elastis akibat pengaruh dari aliran fluida internal maupun eksternal [10].



Gambar 2 Diagram Alir Metode Fluid-Structure Interaction [11]

Pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh pemberian tekstur *multistep* pada *journal bearing*. Jenis *multistep* yang digunakan berdasarkan *paper* [3], Serta variasi nilai kekasaran dan *Slip-Wall* terhadap performa *Load carrying capacity Journal Bearing*.



Gambar 3 Geometri (a) Plain Journal Bearing (b) Multistep Journal Bearing

Parameter dari journal bearing, yaitu dimensi dan karakteristik fluida pelumasan diadopsi dari jurnal Dhande dan Pande [11]. Parameter journal bearing dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter *Journal Bearing*

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Bearing</i>			
Diameter <i>journal</i>	D_j	50	mm
Diameter <i>bushing</i>	D_b	50,1	mm
Panjang <i>journal</i>	L_b	25	mm
Radial clearance	c	0,05	mm
Rasio eksentrisitas	ε	0,8	-
Attitude Angle	φ	35	°
Kecepatan putar poros	ω	3.000	Rpm
Sudut busur <i>step</i>	γ	30	°

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
Sudut antara <i>step</i>	β	90	$^{\circ}$
Panjang <i>groove</i>	L_{groove}	25	mm
Tinggi <i>groove</i>	H_{groove}	0,3	mm
<i>Oil (10W40 SAE)</i>			
Massa jenis <i>oil liquid</i>	ρ_o	850	kg/m ³
Viskositas <i>oil liquid</i>	μ_o	0,0125	Pa.s
Massa jenis <i>oil vapour</i>	ρ_V	10,95	kg/m ³
Viskositas <i>oil vapour</i>	μ_V	2×10^{-5}	Pa.s
Tekanan saturasi <i>vapour</i>	P_{sat}	29.185	Pa
<i>Shaft: Steel</i>			
Modulus elastis	E_S	210	GPa
Densitas	ρ_S	7.850	kg/m ³
Poison ratio	ν_S	0,3	-
<i>Bushing: Aluminium</i>			
Modulus elastis	E_A	70	GPa
Densitas	ρ_A	2.700	kg/m ³
Poison ratio	ν_A	0,334	-

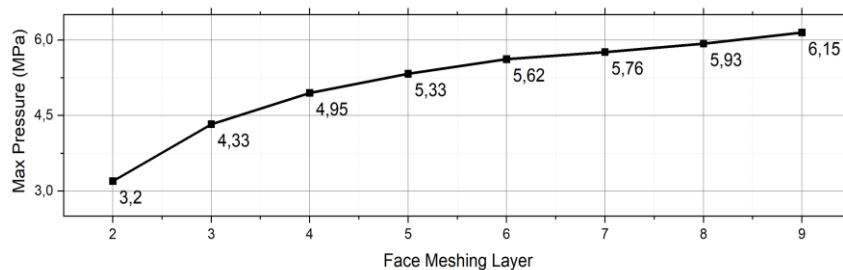
Poros *journal bearing* bergerak dengan kecepatan ω relatif terhadap permukaan *bushing* yang diam. Simulasi dilakukan menggunakan kondisi batas *pressure-inlet* dan *pressure-outlet*. Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi batas Simulasi

Domain	Kondisi batas	Condition
Fluid	Inlet	Pressure inlet (0 Pa)
	Outlet	Pressure outlet (0 Pa)
	Stationary Wall	-
	Moving Wall	3.000 RPM
	Rough Wall	Smooth, Fine, Medium, Rough, Slip-wall
Solid	Contact Pressure Stationary Wall	Fluid-Solid Interface - 1
	Contact Pressure Moving Wall	Fluid-Solid Interface - 2
	Contact Pressure Rough Wall	Fluid-Solid Interface - 3

4. Hasil dan Pembahasan

Pada simulasi *journal bearing* didapatkan hasil yang stabil dan dengan mempertimbangkan agar waktu komputasi yang lebih sedikit maka digunakan 6 *face layer*, hal ini menjadi acuan konfigurasi meshing yang akan digunakan pada simulasi selanjutnya.



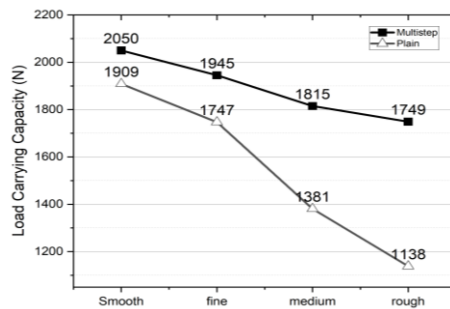
Gambar 4 Grid Independency *Journal Bearing* Pada 3.000 RPM

4.1 Hasil Simulasi *Plain* dan *Multistep Journal Bearing* dengan Variasi Nilai Kekasaran

Pada bab ini akan membahas pengaruh yang diberikan akibat adanya kekasaran permukaan pada *Plain Journal Bearing* dan *Multistep Journal Bearing* terhadap performa tribologi. Performa yang dibahas antara lain adalah *load carrying capacity*, *friction force*, dan *average acoustic power level*.

a. *Load Carrying Capacity*

Load carrying capacity (LCC) yang dihasilkan dari perhitungan integral tekanan di seluruh permukaan lapisan fluida. Berikut merupakan grafik *load carrying capacity* (LCC) pada *Plain Journal Bearing* dan *Multistep Journal Bearing* akibat Pengaruh kekasaran permukaan.

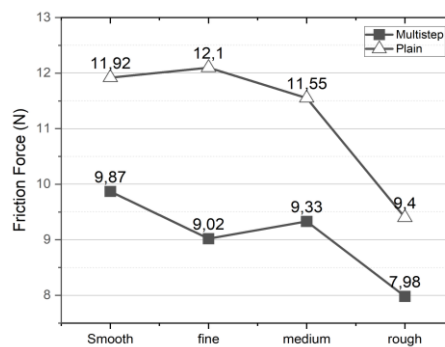


Gambar 5 Nilai LCC Variasi Kekasaran Permukaan

Dapat dilihat dari gambar 5 diatas, nilai LCC pada *journal bearing* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai kekasaran permukaan.

b. *Friction Force*

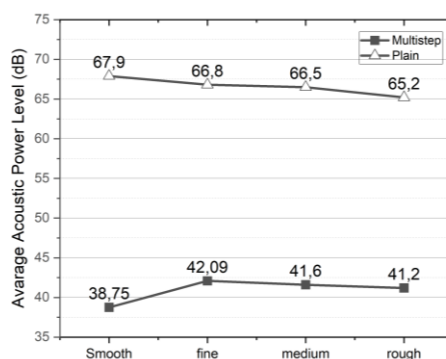
Friction force merupakan nilai integral dari tegangan geser yang terjadi pada permukaan *bearing*. Berikut adalah nilai tegangan geser berdasarkan hasil simulasi.



Gambar 6 Nilai *Friction Force* Variasi Kekasaran Permukaan

c. *Average Acoustic Power Level*.

Performa pelumasan lainnya juga dapat dilihat dari *average acoustic power level* (dB). Berikut hasil yang didapatkan.



Gambar 7 Nilai *Average Acoustic Power Level* Variasi Kekasaran Permukaan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat terlihat bahwa *multistep journal bearing* memiliki nilai *average acoustic power level* (dB) yang lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa pemberian tekstur permukaan step dapat menurunkan tingkat kebisingan pada *journal bearing*.

4.2 Hasil Simulasi Plain dan Multistep Journal Bearing dengan Slip-Wall

Pada bab ini akan membahas pengaruh yang diberikan akibat adanya *slip-wall* pada *Plain Journal Bearing* dan *Multistep Journal Bearing* terhadap performa tribologi. Performa yang dibahas antara lain adalah *load carrying capacity*,

friction force, dan *average acoustic power level*. Nilai dari parameter performa tribologi pada *plain journal bearing* akibat pemberian *slip-wall* dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Performa Tribologi Plain Journal Bearing dengan Slip-Wall

Performa Tribologi	Smooth	Slip-Wall
Load Carrying Capacity (N)	1.909	2.095
Friction Force (N)	11,92	6,21
Average Power Level (dB)	67,9	51,42

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa pemberian *slip-wall* pada *plain journal bearing* dapat memperbaiki nilai performa tribologi yang dapat dicapai. Untuk nilai dari parameter performa tribologi pada *multistep journal bearing* akibat pemberian *slip-wall* dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan Performa Tribologi Multistep Journal Bearing dengan Slip-Wall

Performa Tribologi	Smooth	Slip-Wall
Load Carrying Capacity (N)	2.050	1.818
Friction Force (N)	9,87	3,54
Average Power Level (dB)	38,75	35,84

Pada *multistep journal bearing* terjadi penurunan nilai *load carrying capacity* hal ini terdidi karena adanya penyempitan pada luas are terbentuknya tekanan hidrodinamis, tetapi parameter performa *friction force* dan *average acoustic power level* mengalami perubahan performa menjadi lebih baik.

5. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian ini :

1. Pemberian variasi nilai kekasaran akan menurunkan performa pelumasan journal bearing, seiring dengan meningkatnya nilai kekasaran permukaan.
2. Pemberian kondisi *slip-wall* pada *plain journal bearing* dapat meningkatkan performa pelumasan.
3. Pada *multistep journal bearing* dengan pemberian *slip-wall*, terjadi penurunan nilai *load carrying capacity* akibat berkurangnya aluas area terkanan hidrodinamis.

6. Daftar Pustaka

- [1] Zapomel, J., & Ferfecki, P. (2022). "A new concept of a hydrodynamic bearing lubricated by composite magnetic fluid for controlling the bearing load capacity". *Mechanical Systems and Signal Processing*, **168**
- [2] E. Malcom and P. Leader, "Understanding Journal Bearings," *Applied Machinery Dynamics Co*, 2001
- [3] D. A. Bompos and P. G. Nikolakopoulos, "Tribological design of a multistep journal bearing," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 68, pp. 18–32, 2016, doi: 10.1016/j.simpat.2016.07.002.
- [4] Tauviquirrahman, M., Muthik, B., Muchammad, M., Pratomo, A. W., & Jamari, J. (2016). "Effect of cavitation modelling on the prediction of the lubrication performance using CFD: A case study of journal bearing lubricated with non-newtonian". *International Journal of Engineering and Technology*, **8(6)**
- [5] Lahmar, M., Ellagoune, S., & Bou-Saïd, B. (2010). "Elastohydrodynamic lubrication analysis of a compliant journal bearing considering static and dynamic deformations of the bearing liner". *Tribology Transactions*, **53(3)**, 349-368.
- [6] Sander, D. E., Allmaier, H., Priebsch, H. H., Witt, M., & Skiadas, A. (2016). Simulation of journal bearing friction in severe mixed lubrication Validation and effect of surface smoothing due to running-in. *Tribology international*, **96**, 173-183.
- [7] Cui, S., Zhang, C., Fillon, M., & Gu, L. (2020). Optimization performance of plain journal bearings with partial wall slip. *Tribology International*, **145**, 106137 <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106137>
- [8] Chen, Y., Feng, J., Sun, Y., Peng, X., Dai, Q., & Yu, C. (2020). Effect of groove shape on the hydrodynamic lubrication of journal bearing considering cavitation. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, **37(5)**, 1557–1576. <https://doi.org/10.1108/EC-06-2019-0287>
- [9] Tauviquirrahman, M., Afif, M. F., Paryanto, P., Jamari, J., & Caesarendra, W. (2021). Investigation of the tribological performance of heterogeneous slip/no-slip journal bearing considering thermo-hydrodynamic effects. *Fluids*, **6(2)**, 48.
- [10] H. J. Bungartz and M. Schäfer, *Fluid-structure interaction: Modelling, Simulation, Optimisation*, vol. 53. 2006.
- [11] D. Y. Dhande and D. W. Pande, "A two-way FSI analysis of multiphase flow in hydrodynamic journal bearing with cavitation," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 9, pp. 3399–3412, 2017, doi: 10.1007/s40430-017-0750-8.