

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FLUIDA NON-NEWTONIAN PADA HYDRODYNAMIC PARTIAL ROUGH JOURNAL BEARING DENGAN MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Bara Songka Laktona Siregar¹, Mohammad Tauvqiirrahman², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

Email: bararegar3@gmail.com

Abstrak

Journal bearing merupakan sebuah elemen mesin yang digunakan untuk menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbunya. *Journal bearing* digunakan pada sistem mekanik dengan karakteristik yang membutuhkan presisi, kecepatan dan pembebanan tinggi. Beberapa tahun terakhir, telah dilakukan studi untuk upaya peningkatan performa tribologi *bearing*, yang mana dimulainya mempertimbangkan desain/arsitektur dari *bearing* tersebut. Dalam meningkatkan performansi tribologi, telah banyak dilakukan analisis distribusi tekanan, dan fenomena kavitasi yang telah diajukan oleh berbagai ilmuwan, terutama pada *journal bearing*. Dengan berbagai upaya yang telah dilakukan untuk peningkatan performa tribologi, untuk itu dilakukan penelitian menggunakan pelumasan *hydrodynamic* dengan fluida *non-Newtonian*. Dalam studi ini analisis komputasi kinerja tribological pada bantalan jurnal disajikan. Kekasaran permukaan parsial dimana permukaan kasar direkayasa di area tertentu dan tidak ada di area lain, digunakan pada permukaan bantalan. Kekasaran diasumsikan mengikuti model kekasaran butir pasir, analisis dilakukan dengan menggunakan *journal bearing modeling 3D computational fluid dynamics (CFD)* dengan mempertimbangkan efek kavitasi yang terjadi pada *journal bearing* menggunakan fluida *non-Newtonian*, *non-Newtonian fluid* digunakan karena fluida ini memiliki sifat anti-aus, gesekan rendah, dan tekanan ekstrim. Dalam penelitian ini digunakan 2 *journal bearing*, *bearing* pertama memiliki kondisi batas permukaan halus dan *bearing* kedua memiliki kondisi batas permukaan sebagian kasar dengan keduanya memiliki rasio eksentrisitas 0.71 Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan kekasaran permukaan pada *journal bearing* dengan fluida *non-Newtonian*, menurunkan nilai tekanan maksimum, perubahan distribusi tekanan, memperluas area kavitasi, dan menurunkan nilai fraksi volume dari nilai uap.

Kata kunci: *computational fluid dynamics; hydrodynamic; non-newtonian; surface roughness*

Abstract

Journal bearing is a machine element that is used to keep the shaft always rotating about its axis. Journal bearings are used in mechanical systems with characteristics that require high precision, speed and loading. In recent years, studies have been carried out to improve the tribological performance of bearings, which began to consider the design/architecture of the bearings. In improving tribological performance, there have been many analyzes of pressure distribution, and cavitation phenomena that have been proposed by various scientists, especially in journal bearings. With various efforts that have been made to improve tribological performance, for this reason, research is carried out using hydrodynamic lubrication with non-Newtonian fluids. In this study a computational analysis of tribological performance on journal bearings is presented. Partial surface roughness where the rough surface is engineered in certain areas and absent in others, is used on bearing surfaces. Roughness is assumed to follow the sand grain roughness model, the analysis is carried out using journal bearing modeling 3D computational fluid dynamics (CFD) by considering the cavitation effect that occurs in journal bearings using non-Newtonian fluids, non-Newtonian fluids are used because these fluids have anti-wear properties, low friction, and extreme pressure. In this study, 2 journal bearings were used, the first bearing has a smooth surface boundary condition and the second bearing has a partially rough surface boundary condition with both having an eccentricity ratio of 0.71. The results of this study indicate that the application of surface roughness to journal bearings with non-Newtonian fluids reduces the maximum pressure value, changes the pressure distribution, expands the cavitation area, and reduces the volume fraction value of the vapor value.

Keywords: *computational fluid dynamics; hydrodynamic; non-newtonian; surface roughness*

1. Pendahuluan

Journal bearing adalah *bearing* yang memiliki permukaan yang sejajar dengan sumbu rotasi. *Journal bearing* digunakan untuk mendukung poros dan untuk membawa beban radial dengan kehilangan daya yang sangat rendah dan keausan yang sangat rendah. Pelumas disuplai melalui lubang atau alur biasanya pada bagian atas *bearing*. Jika *bearing* memanjang dan membungkus penuh *journal*, maka dinamakan *full journal bearing*; jika sudut bungkusnya lebih kecil dari 360, istilah *partial journal bearing* digunakan [1]. *Journal bearing* juga digunakan untuk mendukung rotor berkecepatan tinggi pada mesin turbo yang sering beroperasi di atas kecepatan kritis yang bekerja pada rotor. *Bearing* ini memberikan dukungan lateral dan koefisien dinamis berupa kekakuan, redaman, dan *mass terms*, yang terkait dengan getaran pada mesin [2].

Dalam pengoperasiannya, peran pelumasan pada bantalan sangatlah penting, salah satu contohnya adalah pemilihan pelumas. Saat memilih pelumas, beberapa kriteria harus dipertimbangkan selama proses pemilihan, yaitu sifat termal dan laju aliran, keduanya adalah parameter mekanis oli pelumas yang dianalisis dalam kondisi operasi yang berbeda. Secara umum, viskositas pelumas menurun dengan meningkatnya suhu. Untuk pengoperasian pada kecepatan tinggi dan beban berat, oli yang mengandung molekul polimer tinggi sebagai penambah indeks viskositas digunakan untuk mencegah perubahan viskositas dengan meningkatnya suhu. Upaya lain yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan menambahkan tekstur atau alur pada permukaan *bearing*. Teori hidrodinamika awalnya didasarkan pada eksperimen yang dilakukan oleh Tower (1880), yang pertama kali menunjukkan adanya distribusi tekanan pada hydrodynamic journal bearing. Teori ini kemudian dimodifikasi secara matematis dengan persamaan diferensial yang diturunkan oleh Reynolds dengan menerapkan teori long bearing yang mengasumsikan panjang bearing lebih panjang dari diameternya ($L > D$) [3]. Pada masa ini penelitian mengenai pelumasan banyak menggunakan fluida non-Newtonian. Hal ini dikarenakan fluida non-Newtonian memiliki sifat yang anti-wear, low friction, dan extreme pressure [4]. Beberapa penelitian dan eksperimen menunjukkan bahwasanya penambahan tekstur buatan pada *bearing* akan mempengaruhi bentuk kekasaran buatan pada permukaan *bearing*, sehingga memiliki potensi untuk meningkatkan performa pada *bearing* [5]. Pada penelitian yang dilakukan Bhaskar et al., [6] yang menganalisis karakteristik statis finite bearing untuk berbagai rasio L/D dengan tiga jenis orientasi kekasaran permukaan, didapatkan hasil bahwa longitudinal surface roughness memiliki efek yang lebih besar pada Sommerfeld number. Kemudian mereka menemukan bahwa load carrying capacity meningkat dibandingkan dengan journal bearing tanpa kekasaran permukaan. Hsu et al., [7] menganalisis pengaruh dua jenis arah kekasaran permukaan, yaitu longitudinal dan transversal, di bawah medan magnet, terhadap kinerja operasional bearing. Mereka menunjukkan bahwa dengan memberikan kekasaran longitudinal, kapasitas membawa beban dapat ditingkatkan. Di sisi-lain, efek sebaliknya diamati ketika kekasaran melintang digunakan. Baru-baru ini, Gu et al., [8] melaporkan bahwa kekasaran permukaan harus diperhitungkan dalam optimasi *surface texture*. Secara umum, seperti halnya *surface texture*, kekasaran permukaan memiliki peran penting dalam mengubah kinerja tribologi pada *journal bearing*.

Secara pengertian, CFD merupakan suatu ranah keilmuan yang mendiskusikan mengenai penentuan solusi terhadap suatu aliran fluida dengan menggunakan komputer [9]. CFD dapat memudahkan seseorang untuk menganalisis suatu aliran dengan memanfaatkan teknologi komputer, sehingga dapat mengurangi kompleksitas dalam hal analisis. Hasil dari CFD juga dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat. Hasil analisis dalam CFD dapat berupa sifat-sifat yang terdapat dalam suatu aliran fluida, seperti *drag*, *lift*, profil tekanan pada aliran, dll.

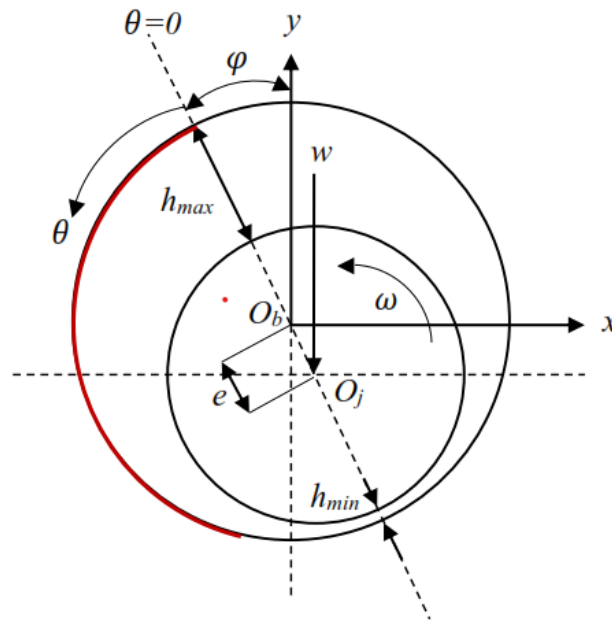
Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang akan dilakukan ialah mengenai investigasi pengaruh pelumasan *non-Newtonian* pada *journal bearing* secara CFD. Pada penelitian ini, penginvestigasian terhadap *journal bearing* akan dilakukan untuk mengetahui bagaimana persebaran tekanan, dan gesekan pada permukaan *journal bearing* yang dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu kecepatan putar *journal*, dan besar ketebalan pelumas. Untuk membantu proses tersebut, perangkat yang digunakan selama proses penelitian adalah *Ansys 19.0* yang memiliki fitur yang mendukung untuk proses CFD.

2. Metode Penelitian

Pada kasus ini menganalisis pengaruh fluida *non-Newtonian* pada pelumasan *hydrodynamic* dengan mempertimbangkan kondisi *partial rough* pada *journal bearing*, dengan menggunakan perangkat lunak CFD. Simulasi ini membandingkan performa tribologi fluida *non-Newtonian* antara *partial rough* dengan *smooth bearing* yang dilakukan dengan pemodelan simulasi mempertimbangkan efek kavitasi.

2.1 Geometri

Geometri *journal bearing* yang digunakan untuk melakukan simulasi berbagai kasus aliran fluida *journal bearing* dalam tugas akhir ini mengadopsi geometri dari *journal bearing* milik Gertzos et al., [10]. Namun pada geometri ditambahkan bentuk dan area permukaan kasar. Gambar 1 menampilkan skema kekasaran permukaan pada *journal bearing*.



Gambar 1. Skema kekasaran permukaan

Parameter *journal bearing* diadopsi dari milik Gertzos et al., [10] dengan diameter *Bearing* 50 mm dan *radial clearance* 0.235 mm, perbandingan rasio (L/D) adalah 1, dengan *attitude angle* 30° . Rasio eksentrisitas yang digunakan pada penelitian adalah 0.71. Kemudian untuk kondisi *partial rough* menggunakan $Ra = 12.5 \mu\text{m}$. Kecepatan putar yang digunakan pada penelitian adalah 120 RPM. Pelumas yang digunakan pada penelitian adalah jenis pelumas *non-Newtonian* dengan masa jenis pelumas 960 kg/m^3 , viskositas pelumas 0.2 Pa.s , dan *yield stress* 213.8 MPa . Kemudian pada *set up* kavitasi masa jenis *vapor* 0.02556 kg/m^3 dan viskositas *vapor* $1.256 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ dengan tekanan saturasi sebesar $100,000 \text{ Pa}$.

2.2 Meshing

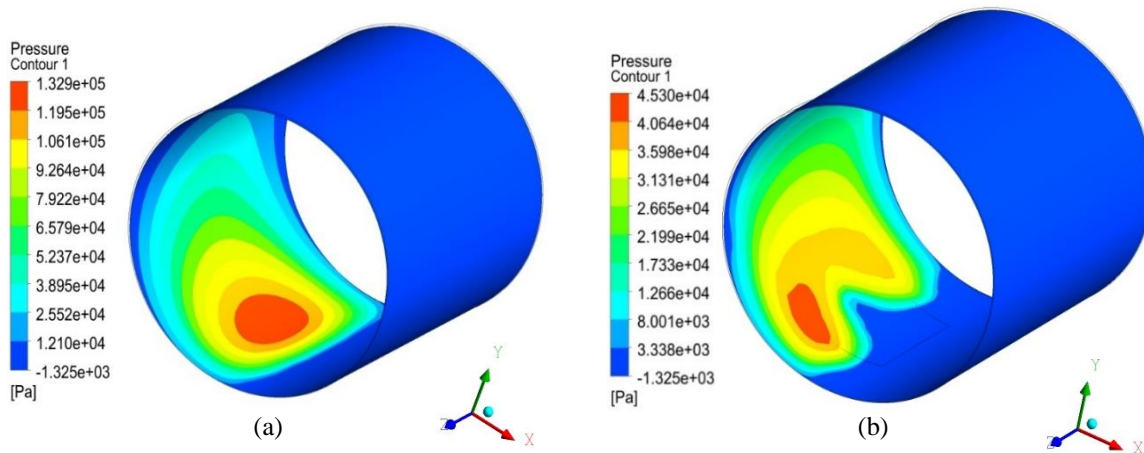
Untuk dapat dilakukan simulasi, perlu dibuat *mesh*. *Meshing* yang dibuat berdasarkan dengan jurnal Gertzos et al., [10] dengan menggunakan model *meshing* berbentuk *hexahedral*, 8 divisi diletakkan pada bagian *film* dari *journal bearing*, 360 divisi diletakkan pada arah *circumferential*, dan 25 divisi diletakkan pada arah *axial*.

Tabel 1 Kriteria *Meshing* pada Rasio Eksentrisitas (ε) = 0.71

Mesh kriteria	Jumlah
<i>Edge Sizing</i>	360 <i>division</i>
<i>Face meshing</i>	8-layers of <i>division</i>
<i>Face meshing</i>	25-layers of <i>division</i>
<i>Method</i>	<i>Multizone</i>
Jumlah <i>element</i>	72,000
Jumlah <i>node</i>	84,240
<i>Maximum skewness</i>	0.42322
<i>Minimum skewness</i>	5.55489×10^{-3}
<i>Average skewness</i>	0.2647

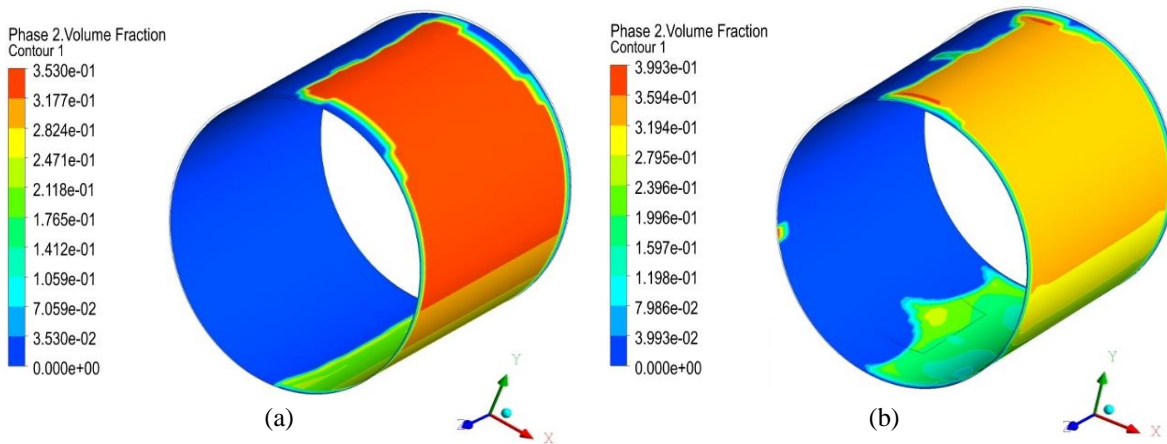
3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah hasil simulasi CFD untuk mengetahui pengaruh fluida *non-Newtonian* dengan mempertimbangkan bentuk kekasaran permukaan dengan *smooth bearing* pada *journal bearing*. Simulasi dilakukan pada kondisi *journal bearing* dengan rasio eksentrisitas 0.71 dan *roughness level* pada $12.5 \mu\text{m}$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4 dibawah.



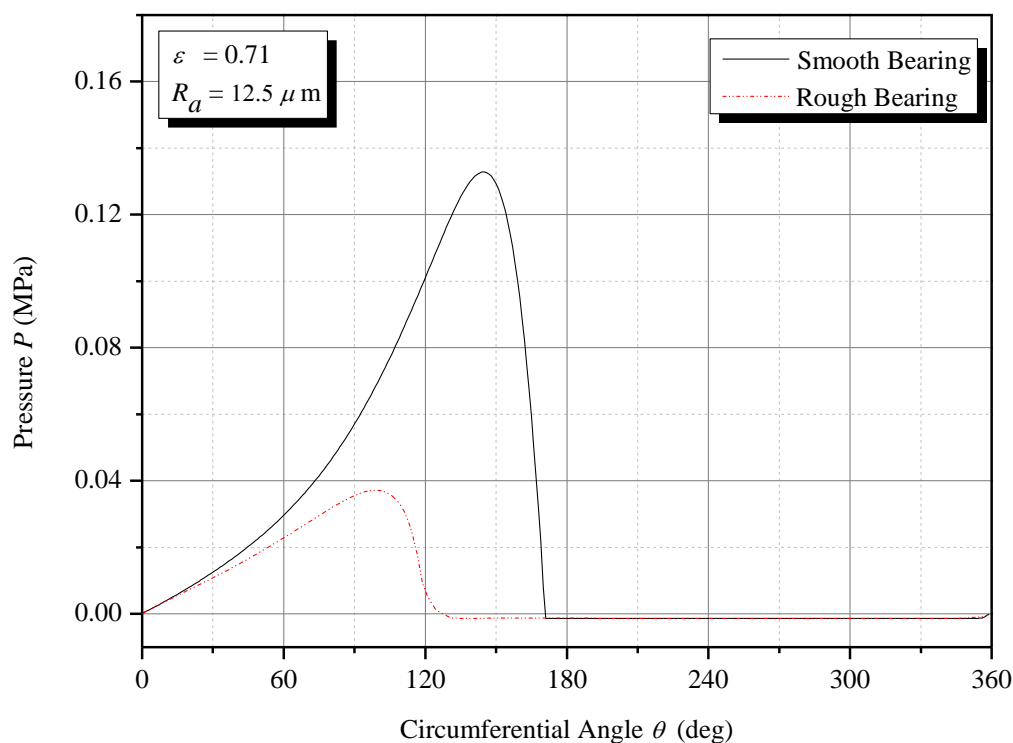
Gambar 2. Perbandingan Kontur Tekanan Pada *Journal Bearing* (a) *smooth bearing*, (b) *rough bearing* pada $R_a = 12.5$.

Gambar 2 diatas menunjukkan perbandingan kontur tekanan antara *smooth bearing* dengan *rough bearing* pada *journal bearing*. Dari gambar diatas diketahui bahwa tekanan maksimum yang terjadi antara *smooth bearing* dengan *rough bearing* memiliki tekanan maksimum yang cukup berbeda, pada *smooth bearing* tekanan maksimum bernilai 0.1329 MPa sedangkan pada *rough bearing* tekanan maksimum bernilai 0.0453 MPa. Sehingga dari hasil yang diperoleh, pemberian kekasaran permukaan pada *journal bearing* menggunakan pelumas *non-Newtonian* dapat menurunkan nilai tekanan maksimum pada *journal bearing*.



Gambar 3. Perbandingan Kontur *Volume Fraction* Pada *Journal Bearing* (a) *smooth bearing*, (b) *rough bearing* pada $R_a = 12.5$.

Gambar 3 dibawah menunjukkan perbandingan kontur *volume fraction of vapor* pada *journal bearing* $\epsilon = 0.71$, dapat dilihat bahwa *vapor* lebih mudah terbentuk pada *journal bearing partial rough* hal ini menyebabkan terjadinya penurunan tekanan dan pembentukan kavitasi. semakin besarnya kavitasi mempengaruhi besarnya daerah bangkitnya tekanan pada *journal bearing* serta mempengaruhi juga tekanan maksimal yang terjadi pada *journal bearing*.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Distribusi Tekanan Pada *Journal Bearing* yang diberikan kekasaran permukaan dengan *smooth bearing* pada $\varepsilon = 0.71$.

Gambar 4 diatas menunjukkan grafik perbandingan tekanan antara *smooth bearing* dengan *rough bearing* pada *journal bearing*. Dari gambar diatas diketahui bahwa kenaikan tekanan maksimum pada *smooth bearing* dan *rough bearing* memiliki perbedaan. Kenaikan tekanan maksimum pada *smooth bearing* dimulai pada sudut 0° - 150° , lalu ketika mencapai tekanan maksimumnya, tekanan pada *smooth bearing* mengalami penurunan pada sudut 165° - 360° , pada area ini terjadi fenomena kavitasi pada *smooth bearing*. Pada *rough bearing* kenaikan tekanan maksimum dimulai pada sudut 0° - 110° , lalu ketika mencapai tekanan maksimumnya, tekanan pada *rough bearing* mengalami penurunan pada sudut 125° - 360° , pada area ini terjadi fenomena kavitasi pada *rough bearing*.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dari pemberian kekasaran permukaan pada *hydrodynamic journal bearing* banding *smooth bearing* pada rasio eksentrisitas 0.71 dengan $R_a = 12.5 \mu\text{m}$ menunjukkan bahwa tekanan maksimum yang terjadi pada *smooth bearing* dimulai dari sudut 0° - 150° yang bernilai 0.1329 MPa sedangkan pada *journal bearing* yang diberikan kekasaran permukaan, tekanan maksimum yang terjadi dimulai pada sudut 0° - 110° yang bernilai 0.0453 MPa. Lalu, fenomena kavitasi yang terjadi antara *smooth bearing* dengan *journal bearing* yang diberikan kekasaran permukaan juga berbeda, pada *smooth bearing* fenomena kavitasi terjadi pada sudut 165° - 360° , sedangkan pada *journal bearing* yang diberikan kekasaran permukaan, fenomena kavitasi terjadi pada sudut 125° - 360° .

5. Daftar Pustaka

- [1] Riedel, M., Schmidt, M., Reinke, P., Nobis, M., & Redlich, M. (2014). Application of computational fluid dynamics on cavitation in journal bearings. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 67). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20146702099>.
- [2] Babu, T. N., Raj, T. M., & Lakshmanan, T. (2015). A review on application of dynamic parameters of journal bearing for vibration and condition monitoring. *Journal of Mechanics*, 31(4), 391-416. <https://doi.org/10.1017/jmech.2015.6>.

- [3] Marey, N., Hegazy, E., El-Gamal, H., 2021, “Journal Bearing Performance – State of The Art.” *Sylwan*, 165(4): 390-416.
- [4] Dang R. K., Goyal D., Chauhan A. et al. (2020). Effect of non-newtonian lubricants on static and dynamic characteristics of journal bearings. *Materials Today: Proceedings*, 28: 1345-1349.
- [5] Zouzoulas, V., & Papadopoulos, C. I. (2017). 3-D Thermohydrodynamic analysis of textured, grooved, pocketed and hydrophobic pivoted-pad thrust bearings. *Tribology International*, 110, 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.10.001>.
- [6] Bhaskar, S. U., Hussain, M. M., Ali, Md. Y. (2013). Stability analysis on plain journal bearing with effect of surface roughness. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(3): 1-8.
- [7] Hsu, T.C., Chen, J.H., Chiang, H.L., Chou, T.L. (2013). Lubrication performance of short journal bearings considering the effects of surface roughness and magnetic field. *Tribology International*, 61: 169–175.
- [8] Gu, C., Meng, X., Wang, S., & Ding, X. (2021). Study on the mutual influence of surface roughness and texture features of rough-textured surfaces on the tribological properties. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 235(2), 256–273. <https://doi.org/10.1177/1350650120940211>
- [9] Cengel, Y., & Cimbala, J. (2013). *EBOOK: Fluid Mechanics Fundamentals and Applications (SI units)*. McGraw Hill.
- [10] Gertzos, K. P., Nikolakopoulos, P. G., & Papadopoulos, C. A. (2008). CFD analysis of journal bearing hydrodynamic lubrication by Bingham lubricant. *Tribology international*, 41(12), 1190-1204. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2008.03.002>.