

ANALISIS *THERMOELASTO-HYDRODYNAMIC* PENGARUH VARIASI *SURFACE ROUGHNESS LEVEL* TERHADAP PERFORMA TRIBOLOGI PADA *DOUBLE LINER JOURNAL BEARING*

*Ferdita Bayu Aji¹, Mohammad Tauviqirrahman², Budi Setiyana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: ferditabayuajibayu@gmail.com

Abstrak

Journal bearing merupakan elemen mesin yang berfungsi menopang poros berputar dan mengurangi gesekan melalui pembentukan film pelumas. Performa *double liner journal bearing* dipengaruhi oleh fenomena *thermoelasto-hydrodynamic* (TEHD) yang melibatkan interaksi aliran fluida, distribusi tekanan, dan karakteristik permukaan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi *surface roughness level* terhadap performa tribologi pada *double liner journal bearing* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis *fluid-structure interaction* (FSI) kondisi *steady-state*. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi *load carrying capacity* (LCC) dan *friction force*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan menyebabkan penurunan nilai LCC dari 2,898.52 N pada kondisi *smooth* menjadi 2,176.02 N pada Ra 12.5 μm . *Friction force* juga mengalami penurunan dari 44.21 N menjadi 33.11 N seiring meningkatnya kekasaran permukaan. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan *surface roughness* mempengaruhi distribusi tekanan hidrodinamik dan karakteristik pelumasan pada *double liner journal bearing*.

Kata kunci: *computational fluid dynamics; double liner journal bearing; fluid-structure interaction; kekasaran permukaan; pelumasan thermoelasto-hydrodynamic*

Abstract

Journal bearings are machine elements that support rotating shafts and reduce friction through the formation of a lubricating film. The performance of *double liner journal bearings* is influenced by *thermoelasto-hydrodynamic* (TEHD) phenomena involving fluid flow interaction, pressure distribution, and surface characteristics. This study analyzes the effect of surface roughness level variation on the tribological performance of *double liner journal bearings* using *Computational Fluid Dynamics* (CFD) with a *steady-state fluid-structure interaction* (FSI) approach. The evaluation parameters include *load carrying capacity* (LCC) and *friction force*. The simulation results show that increasing surface roughness decreases the LCC value from 2,898.521 N under smooth conditions to 2,176.020 N at Ra 12.5 μm . The friction force also decreases from 44.219 N to 33.117 N as surface roughness increases. These results indicate that increasing surface roughness affects the hydrodynamic pressure distribution and lubrication characteristics of *double liner journal bearings*.

Keywords: *computational fluid dynamics; double liner journal bearing; fluid-structure interaction; surface roughness; thermoelasto-hydrodynamic lubrication*

1. Pendahuluan

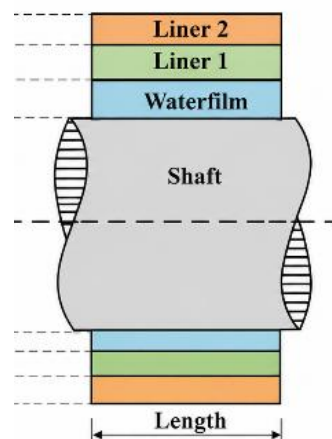
Bantalan jurnal adalah komponen penting yang menopang poros berputar, mengurangi gesekan dan keausan melalui pelumasan hidrodinamik agar operasi mesin tetap halus dan andal, bahkan pada beban tinggi dan kondisi dinamis kompleks [1] [2]. Dengan adanya film fluida ini, kontak langsung logam-logam berkurang sehingga keausan dan rugi energi (*friction power loss*) dapat diminimalkan, sementara kapasitas dukung beban dan stabilitas dinamis sistem meningkat [3] [4]. Dalam kondisi operasi nyata, tidak ada permukaan mesin yang benar-benar halus sempurna karena setiap proses manufaktur meninggalkan profil topografi tertentu yang secara langsung memengaruhi mekanisme aliran pelumas, distribusi tekanan film, dan perilaku kontak asperity [5]. Sebuah penelitian mengklasifikasikan tingkat kekasaran permukaan ke dalam kelas *precision* (Ra = 0,1–0,2 μm), *fine* (Ra = 0,4–0,8 μm), *medium* (Ra = 1,6–6,3 μm), dan *rough* (Ra = 12,5–100 μm), dan menunjukkan bahwa kelas *rough* memberikan pengaruh paling dominan terhadap performa tribologi bantalan [6]. Penelitian menunjukkan semakin besar *roughness level* yang diterapkan pada *journal bearing*, semakin rendah kapasitas daya dukung beban yang dihasilkan, namun juga menurunkan nilai friksi dan akustik

terlepas dari berapapun nilai rasio eksentrisitas yang digunakan [7] Lebih lanjut, penelitian berbasis fluida *Rabinowitsch* mengkonfirmasi bahwa permukaan kasar menunjukkan kapasitas daya dukung beban yang lebih rendah dibandingkan permukaan yang lebih halus [8] Disisi lain, variasi kekasaran $R_a = 12,5$ pada journal bearing justru menghasilkan peningkatan kapasitas beban sebesar 46,6% dibandingkan bantalan halus, disertai penurunan gaya gesek sebesar 11,6% dan penurunan kebisingan sebesar 4,8% [9]. Integrasi efek kekasaran permukaan parsial dengan analisis *elastohydrodynamic* pada *steel journal bearing* dan membuktikan bahwa kekasaran secara signifikan memengaruhi efisiensi pelumasan [10]. Namun demikian, belum ada penelitian yang secara spesifik mengkuantifikasi pengaruh variasi *surface roughness level* terhadap LCC dan parameter tribologi lainnya pada konfigurasi *double liner* dalam kerangka analisis *thermoelasto-hydrodynamic* (TEHD). Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut.

2. Metode Penelitian

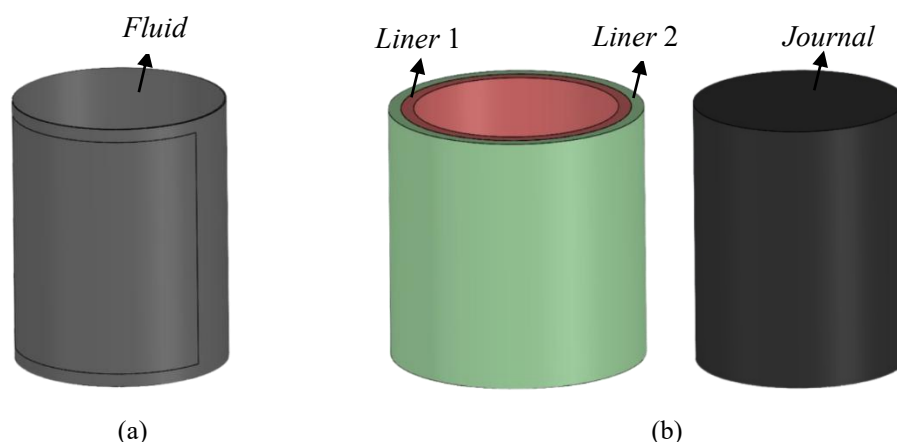
2.1 Geometri Journal Bearing

Geometri journal bearing yang digunakan dalam simulasi pada penelitian ini mengadopsi geometri journal bearing yang digunakan pada penelitian Xie et al. [11]. Berikut adalah parameter geometri journal bearing. Model yang digunakan merupakan tipe *double liner journal bearing* dengan jari-jari journal sebesar 79.2 mm. Lapisan liner pertama memiliki jari-jari sebesar 90 mm, sedangkan liner kedua memiliki jari-jari sebesar 100 mm. Panjang journal bearing ditetapkan sebesar 200 mm dengan nilai radial clearance (c) sebesar 0.8 mm. Pada kondisi operasi, rasio eksentrisitas (ϵ) yang digunakan adalah 0.7, sedangkan kecepatan putar poros (ω) ditentukan sebesar 4.000 rpm. Selain itu, *attitude angle* (ϕ) pada sistem ditetapkan sebesar 45° . Berikut skema *double liner journal bearing* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Double Liner Journal Bearing

Pada pemodelan *rough surface*, parameter area rough ditentukan dengan lebar area rough sebesar 180 mm atau setara dengan sudut 135° . Posisi awal area rough ditetapkan sebesar 160 mm atau setara dengan 0.8 lebar rough, sedangkan posisi akhir area rough juga ditentukan sebesar 160 mm atau setara dengan 0.8 lebar rough. Konfigurasi *double liner journal bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Double Liner Journal Bearing (a) Fluid Domain (b) Solid Domain

Kondisi batas (*boundary condition*) pada simulasi *double liner journal bearing* diterapkan pada domain fluida dan domain padatan (*solid domain*) untuk merepresentasikan interaksi termal dan hidrodinamik secara menyeluruh. Pada

domain padatan, antarmuka antara fluida dan padatan (stator FSI) menggunakan kondisi *fluid-solid interface* dengan mekanisme perpindahan panas (*transfer temperature*). Antarmuka *solid-solid* antar *liner* diberikan temperatur sebesar 300 K dengan koefisien konveksi sebesar 750 W/(m²·K). Selain itu, pada bagian permukaan luar *liner* kedua diterapkan kondisi *fixed support* untuk menjaga kestabilan struktur selama simulasi berlangsung.

Pada domain fluida, antarmuka antara fluida dan stator menggunakan kondisi *fluid-solid interface* dengan perpindahan panas melalui *heat transfer coefficient*. Dinding bergerak (*moving wall*) diberikan kecepatan putar sebesar 4.000 rpm untuk merepresentasikan rotasi *journal*. Area *rough wall* diterapkan pada permukaan tertentu untuk merepresentasikan daerah kekasaran (*rough area*) pada *bearing liner* sehingga pengaruh kekasaran permukaan terhadap distribusi tekanan, temperatur, karakteristik aliran, dan fenomena tribologi dapat dianalisis lebih detail. Sementara itu, kondisi masuk (*inlet*) dan keluar (*outlet*) fluida masing-masing ditetapkan pada temperatur 300 K dan tekanan 0 Pa. Model viskositas turbulen yang digunakan dalam simulasi adalah model RNG *k-ε*.

2.2 Meshing

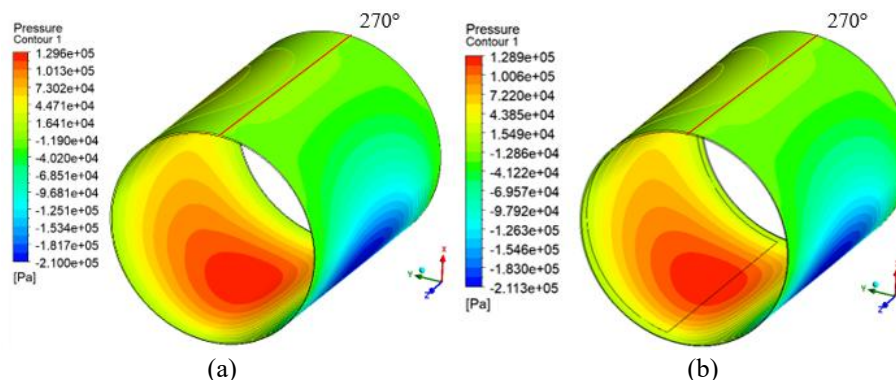
Pemodelan geometri dan proses meshing dilakukan menggunakan ANSYS Meshing pada perangkat lunak ANSYS 2020 R2. Jenis *mesh* yang digunakan pada domain fluida dan domain solid adalah hexahedral mesh. Pada domain fluida, parameter meshing menggunakan *body sizing* sebesar 3 mm, *edge sizing* sebanyak 150 divisi, dan *face sizing* sebanyak 8 lapisan divisi. Jumlah elemen yang dihasilkan pada domain fluida sebanyak 160.800 elemen dengan jumlah nodes sebesar 183.600. Nilai maximum skewness pada domain fluida sebesar 0,50027 dan minimum *orthogonal quality* sebesar 0,70681. Sementara itu, pada *domain solid* digunakan *body sizing* sebesar 3 mm dan *body sizing* 2 sebesar 5 mm. Jumlah elemen yang dihasilkan pada *domain solid* sebanyak 118.334 elemen dengan jumlah *nodes* sebesar 540.697. Nilai *maximum skewness* pada *domain solid* sebesar 0,43622 dan *minimum orthogonal quality* sebesar 0,62396. Berdasarkan parameter tersebut, kualitas mesh yang dihasilkan dinilai cukup baik untuk mendukung proses simulasi numerik pada analisis yang dilakukan.

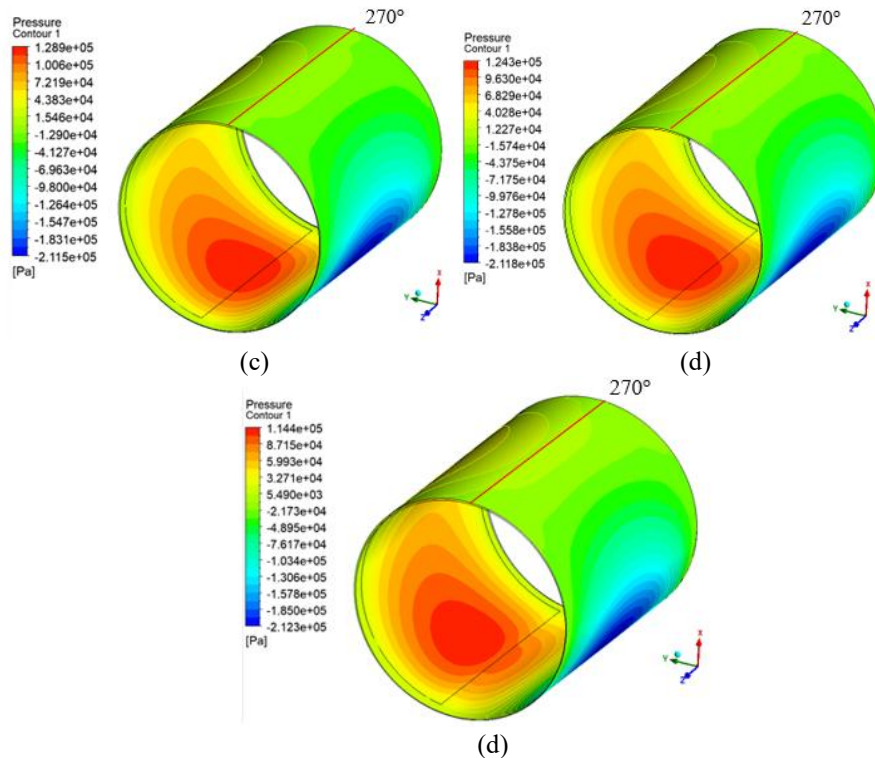


Gambar 3. Meshing Simulasi

3. Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh distribusi tekanan pada *double liner journal bearing* untuk setiap variasi *surface roughness level*. Hasil simulasi tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh tingkat kekasaran permukaan terhadap karakteristik pelumasan dan distribusi tekanan hidrodinamik pada sistem bantalan. Berikut ditampilkan kontur perbandingan tekanan pada masing-masing variasi *surface roughness level*. Berikut kontur perbandingan tekanan pada setiap *surface roughness level* yang ditampilkan pada Gambar 4.





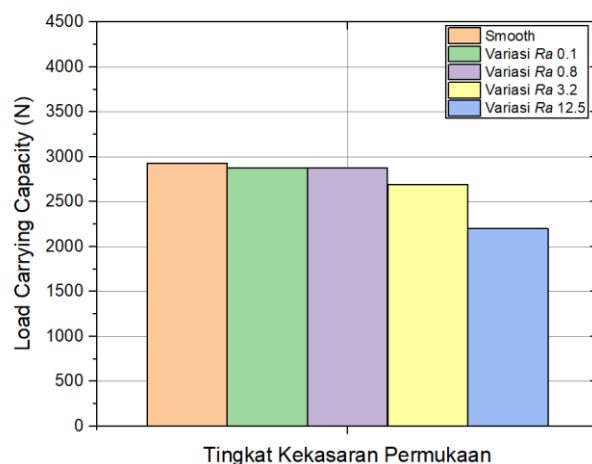
Gambar 4. Perbandingan Kontur Tekanan terhadap *Surface roughness level* dengan *Thermo-elastohydrodynamic* pada 4,000 RPM : (a) *Smooth* (b) R_a ($0.1\mu m$) (c) R_a ($0.8\mu m$) (d) R_a ($3.2\mu m$), dan (e) R_a ($12.5\mu m$)

Berdasarkan kontur tekanan pada Gambar 4, distribusi tekanan hidrodinamik pada *double liner journal bearing* menunjukkan pola yang relatif serupa pada setiap variasi kekasaran permukaan. Zona tekanan maksimum terlihat berada pada daerah konvergen yang ditunjukkan oleh warna merah hingga oranye, sedangkan tekanan minimum berada pada daerah divergen yang ditunjukkan oleh warna biru. Seiring meningkatnya nilai *surface roughness*, terlihat adanya penurunan intensitas tekanan maksimum pada lapisan pelumas. Kondisi *smooth* menghasilkan distribusi tekanan yang lebih tinggi dan lebih merata dibandingkan variasi kekasaran lainnya. Pada kekasaran yang lebih besar, khususnya R_a $12.5\mu m$, area tekanan tinggi mulai berkurang sehingga kemampuan bearing dalam menopang beban juga menurun. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan mempengaruhi pembentukan tekanan hidrodinamik pada film pelumas.

Berikut merupakan perbandingan hasil variasi tingkat kekasaran permukaan terhadap performa tribologi pada *double liner journal bearing*.

a. *Load Carrying Capacity*

Load carrying capacity (LCC) diperoleh melalui hasil integrasi distribusi tekanan pada seluruh permukaan lapisan fluida. Grafik berikut menampilkan nilai *load carrying capacity (LCC)* pada *double liner journal bearing* terhadap pengaruh variasi kekasaran permukaan.

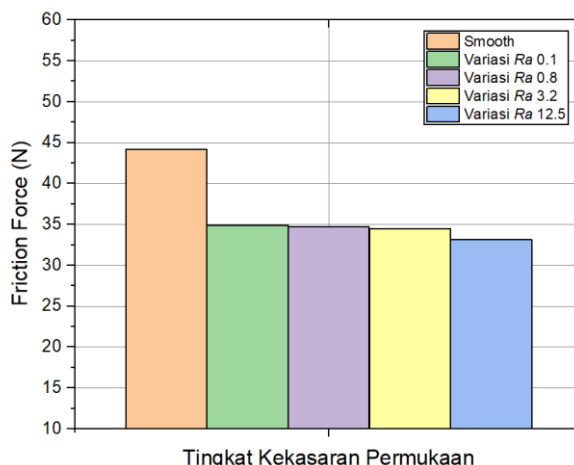


Gambar 5. Nilai LCC terhadap Variasi Kekasaran Permukaan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, nilai *load carrying capacity* (LCC) pada *double liner journal bearing* cenderung menurun seiring meningkatnya tingkat kekasaran permukaan. Permukaan *smooth* menghasilkan nilai LCC tertinggi karena distribusi tekanan hidrodinamik dan pembentukan film pelumas berlangsung lebih stabil. Pada variasi kekasaran rendah seperti Ra 0.1 dan Ra 0.8, penurunan LCC masih relatif kecil, sedangkan pada Ra 3.2 dan terutama Ra 12.5 terjadi penurunan yang lebih signifikan akibat aliran pelumas menjadi kurang stabil dan ketebalan film pelumas efektif berkurang.

b. *Friction Force*

Friction force diperoleh dari hasil integrasi tegangan geser yang bekerja pada permukaan bearing. Berikut merupakan nilai tegangan geser yang didapatkan berdasarkan hasil simulasi.



Gambar 6. Nilai Friction Force terhadap Variasi Kekasaran Permukaan

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, nilai *friction force* pada *double liner journal bearing* cenderung menurun seiring meningkatnya tingkat kekasaran permukaan. Kondisi *smooth* menghasilkan gaya gesek tertinggi karena kontak fluida dengan permukaan berlangsung lebih merata sehingga tegangan geser yang terbentuk lebih besar. Sementara itu, pada permukaan dengan kekasaran lebih tinggi seperti Ra 3.2 dan Ra 12.5, nilai *friction force* mengalami penurunan akibat distribusi aliran pelumas menjadi kurang stabil dan luas kontak efektif fluida terhadap permukaan berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan mempengaruhi karakteristik tegangan geser pada *journal bearing*.

Tabel 1. Perbandingan Performa Tribologi *Double Liner Journal Bearing* dengan Kekasaran Permukaan

Tingkat Kekasaran	RPM	<i>Load carrying capacity</i> (N)	<i>Friction Force</i> (N)
<i>Smooth</i>	4,000	2,898.521	44.219
R_a (0.1 μm)	4,000	2,838.816	34.879
R_a (0.8 μm)	4,000	2,851.490	34.710
R_a (3.2 μm)	4,000	2,669.032	34.487
R_a (12.5 μm)	4,000	2,176.020	33.117

Berdasarkan Tabel 1, peningkatan tingkat kekasaran permukaan pada *double liner journal bearing* menyebabkan nilai *load carrying capacity* mengalami penurunan, namun di sisi lain nilai *friction force* juga ikut berkurang. Kondisi permukaan *smooth* menghasilkan *load carrying capacity* tertinggi sebesar 2.898,521 N dengan *friction force* sebesar 44,219 N, sedangkan pada variasi Ra 12,5 μm nilai *load carrying capacity* menurun menjadi 2.176,020 N dan *friction force* menjadi 33,117 N. Penurunan gaya gesek tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kekasaran permukaan tidak sepenuhnya menurunkan performa tribologi, karena berkurangnya *friction force* dapat mengurangi rugi gesek dan potensi keausan pada sistem *journal bearing*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi kekasaran permukaan terhadap performa tribologi pada *double liner journal bearing* melalui parameter *load carrying capacity* (LCC) dan *friction force* pada putaran 4,000 RPM. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. Nilai *load carrying capacity* (LCC) menurun seiring meningkatnya kekasaran permukaan. Permukaan *smooth* menghasilkan nilai LCC tertinggi, sedangkan kekasaran Ra 12,5 μm menghasilkan nilai terendah.
2. *Friction force* juga mengalami penurunan dengan bertambahnya kekasaran permukaan, yang menunjukkan perubahan distribusi tegangan geser pada lapisan pelumas.
3. Secara keseluruhan, peningkatan kekasaran permukaan mempengaruhi performa pelumasan *double liner journal bearing*. Peningkatan kekasaran permukaan tidak hanya mempengaruhi kemampuan menahan beban, tetapi juga

berkontribusi terhadap penurunan gaya gesek, sehingga diperlukan tingkat kekasaran yang optimal untuk memperoleh keseimbangan antara kapasitas pembebanan dan performa gesek sistem.

5. Daftar Pustaka

- [1] Lin C, Jian F, Sun S, Sima C, Qi L, Zou M. Analysis of Nonlinear Time-Domain Lubrication Characteristics of the Hydrodynamic Journal Bearing System. *Lubricants* 2023;11. <https://doi.org/10.3390/lubricants11030145>.
- [2] Machado TH, Cavalca KL. Modeling of hydrodynamic bearing wear in rotor-bearing systems. *Mech Res Commun* 2015;69:15–23. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2015.05.008>.
- [3] Feng H, Jiang S, Ji A. Investigations of the static and dynamic characteristics of water-lubricated hydrodynamic journal bearing considering turbulent, thermohydrodynamic and misaligned effects. *Tribol Int* 2019;130:245–60. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.09.007>.
- [4] Yang Z, Zhang X, Wang Y, Zhao Y. Study on elastohydrodynamic lubrication performance of double-layer composite water-lubricated bearings. *Mechanics and Industry* 2023;24. <https://doi.org/10.1051/meca/2022029>.
- [5] Zhang Z, Ouyang W, Liang X, Yan X, Yuan C, Zhou X, et al. Review of the evolution and prevention of friction, wear, and noise for water-lubricated bearings used in ships. *Friction* 2024;12:1–38. <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0707-5>.
- [6] Tauviquirrahman M, Jamari J, Wicaksono AA, Muchammad M, Susilowati S, Ngatilah Y, et al. Cfd analysis of journal bearing with a heterogeneous rough/smooth surface. *Lubricants* 2021;9. <https://doi.org/10.3390/lubricants9090088>.
- [7] Tauviquirrahman M, Paryanto P, Pugastri BO, Hamonangan AP, Muchammad M, Yohana E, et al. CFD analysis of hydrodynamic journal bearing with Bingham plastic lubricant considering roughness. *Cogent Eng* 2023;10. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2213537>.
- [8] Johnny A, Yasin HM, Ahmed MF, Alwuthaynani M, Katbar NM, Tolasa FT. Non-Newtonian lubrication with Rabinowitsch fluid: a theoretical study on rough step slider bearings. *Sci Rep* 2026;16. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29264-z>.
- [9] Sagaf M, Sinaga N, Tauviquirrahman M, Khafidh M, Androva A, Syakhroni A. The Influence of Surface Roughness and Cavitation on Journal Bearings: A Computational Study. *Evergreen* 2025;12:1458–67. <https://doi.org/10.5109/7388841>.
- [10] Muchammad M, Tauviquirrahman M, Rizki YM, Syafaat I, Maharani F, Ammarullah MI. Elastohydrodynamic analysis of multistep texture effects and partial surface roughness on the tribological performance of steel journal bearings. *Discover Applied Sciences* 2025;7. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06789-6>.
- [11] Xie Z, Jiao J, Wrona S. The fluid-structure interaction lubrication performances of a novel bearing: Experimental and numerical study. *Tribol Int* 2023;179. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108151>.