

PERBANDINGAN KONTUR TEKANAN ANTARA PERMODELAN ALIRAN TURBULEN DAN LAMINAR PADA KASUS *THRUST BEARING*

*Ben Oni Pugastri¹, Mohammad Tauviqirrahman², Muchammad²

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: benonipugastri@gmail.com

Abstrak

Thrust bearing adalah elemen mesin yang berfungsi untuk menopang beban aksial dari poros yang berputar. *Thrust bearing* mentransmisikan beban aksial dari poros yang berputar melalui permukaan kontak yang bergerak relatif satu sama lain. Selama bertahun-tahun, berbagai studi telah dilakukan oleh para peneliti dalam upaya meningkatkan performa *thrust bearing*. Pada penelitian ini, analisis *thermohydrodynamic* (THD) dilakukan dengan simulasi berbasis *computational fluid dynamics* (CFD) dengan tujuan untuk menganalisis performa *thrust bearing* dengan *rectangular dimples* menggunakan beberapa jenis pemodelan turbulensi. Hasil penelitian ini akan menampilkan perbandingan performa tribologi antara masing-masing model turbulensi dengan mempertimbangkan adanya kavitasasi dan kondisi termal pada *thrust bearing*. Selain itu, hasil ini akan dibandingkan dengan performa *thrust bearing* dalam kondisi aliran laminar tanpa mempertimbangkan kavitasasi. Hasil penelitian ini diinterpretasikan, dibandingkan satu sama lain, dan ditetapkan untuk menemukan performa terbaik di setiap kondisi operasi.

Kata kunci: CFD; kavitasasi; laminar; performa; *thermohydrodynamic*; *thrust bearing*; turbulensi

Abstract

A thrust bearing is a machine element that serves to support the axial load of a rotating shaft. Thrust bearings transmit axial loads from rotating shafts through contact surfaces that move relative to each other. Over the years, various studies have been conducted by researchers in an effort to improve the performance of thrust bearings. In the present study, thermohydrodynamic (THD) analysis was carried out with computational fluid dynamics (CFD) based simulations with the aim of analyzing the performance of thrust bearings with rectangular dimples using several types of turbulence models. The results of this study will showcase a comparison of the tribological performance between each turbulence model while taking into account the presence of cavitation and thermal conditions on the thrust bearing. Additionally, these results will be compared with a thrust bearing's performance under laminar flow conditions without taking cavitation into consideration. The results of this research are interpreted, compared to each other, and established to discover the best performance in each operating condition.

Keywords: cavitation; CFD; laminar; performance; *thermohydrodynamic*; *thrust bearing*; turbulence

1. Pendahuluan

Thrust bearing adalah elemen mesin yang berfungsi untuk menopang beban aksial dari poros yang berputar. *Thrust bearing* mentransmisikan beban aksial dari poros yang berputar melalui permukaan kontak yang bergerak relatif satu sama lain. Berdasarkan jenis mekanisme kontak permukaan, *thrust bearing* hidrodinamik menggunakan cairan sebagai media transmisi beban aksial. Penerapan *thrust bearing* hidrodinamik sangat penting pada mesin putar, seperti pompa, kompresor, turbin, dan turbocharger karena menentukan keandalan keseluruhan system [1]. *Thrust bearing* hidrodinamik juga digunakan dalam sistem propulsi perkapalan karena mampu mendukung beban aksial dengan keandalan yang baik dan kerugian yang rendah [2].

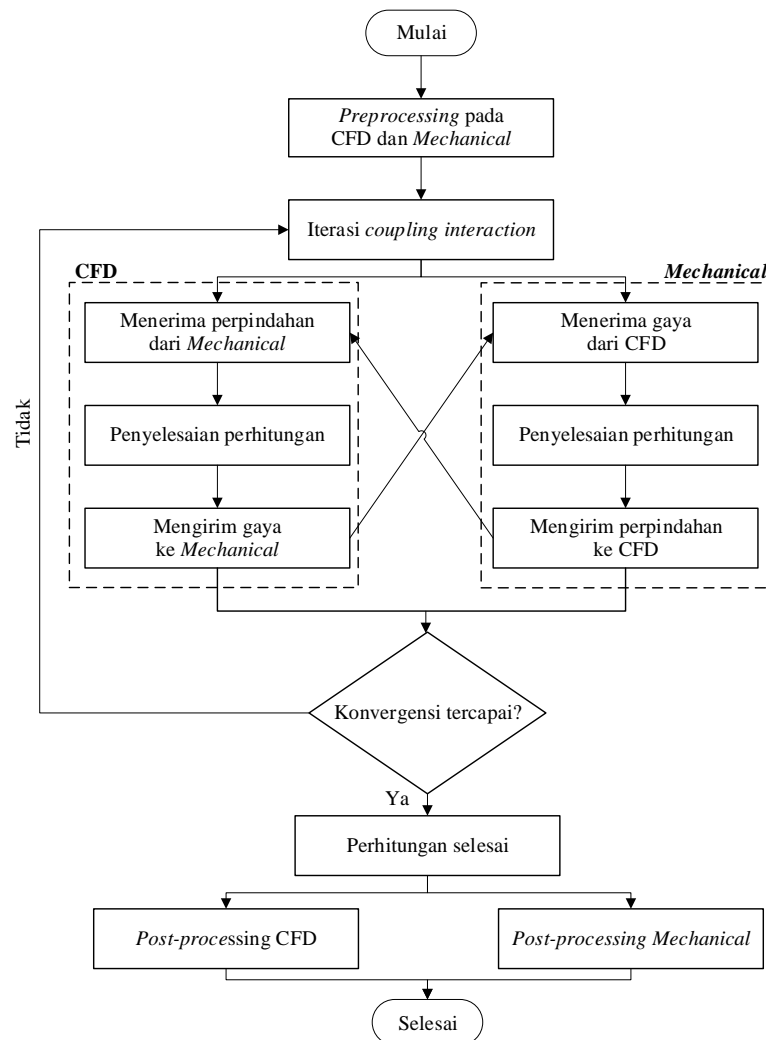
Penambahan tekstur pada *thrust bearing* dapat menyebabkan perubahan performa pada bearing. *Thrust bearing* yang bertekstur dapat secara signifikan meminimalisir gesekan yang dihasilkan selama operasi dan meningkatkan ketahanan aus [3]. Turbulensi menyebabkan molekul fluida bergerak dalam arah dan kecepatan yang berbeda satu sama lainnya. Fenomena ini sangat penting dipertimbangkan karena turbulensi sangat sering terjadi dalam kondisi operasi nyata [4]. Selain turbulensi, terjadinya kavitasasi merupakan faktor lain yang diperhitungkan dalam penelitian ini. Sebuah studi oleh Atwal & Pandey [5] menunjukkan bahwa efek kavitasasi bersifat berlawanan dari turbulensi. Studi

sebelumnya menunjukkan bahwa dengan melibatkan kondisi termal, terjadi penurunan performa tribologi *thrust bearing* yang disebabkan oleh pemanasan minyak pelumas yang tinggi [6].

Berdasarkan permasalahan-permasalahan tersebut, penelitian pada studi ini bertujuan untuk menganalisis performa *thrust bearing* dengan *rectangular dimples* menggunakan beberapa jenis pemodelan turbulensi. Hasil penelitian ini akan menunjukkan perbandingan performa tribologi antara masing-masing model turbulensi dengan mempertimbangkan adanya kavitasi dan kondisi termal pada *thrust bearing*. Dalam melakukan studi ini, analisis *thermohydrodynamic* (THD) dilakukan dengan simulasi berbasis *computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan program ANSYS *Fluent*, ANSYS *Steady-State Thermal*, dan ANSYS *System Coupling*.

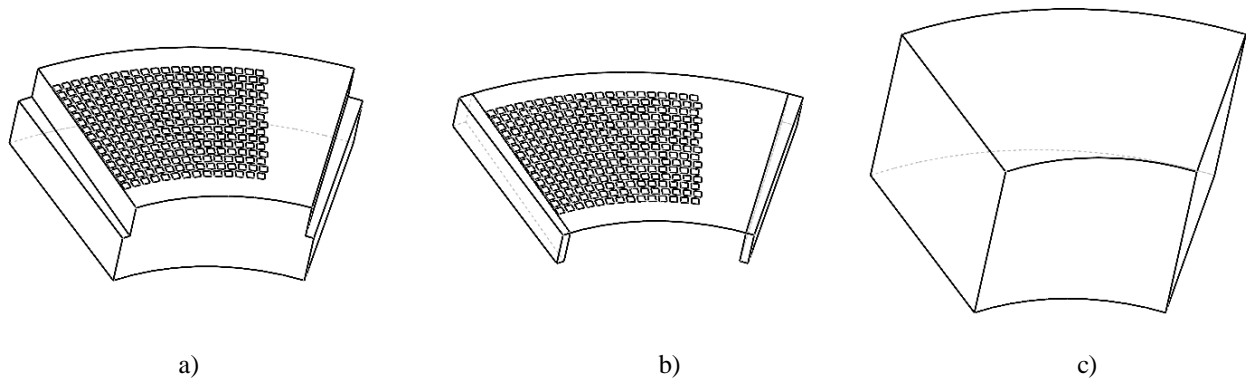
2. Dasar Teori dan Metodologi

Computational Fluid Dynamics (CFD), atau biasa disebut juga dengan komputasi dinamika fluida, merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis suatu aliran di samping penggunaan metode eksperimen. Kondisi termal saat bearing bekerja dapat mempengaruhi bagaimana performa pada bearing tersebut. Dengan mempertimbangkan adanya perubahan kondisi termal pada struktur solid bearing, baik karena adanya fenomena konduksi ataupun konveksi pada ruangan, hal tersebut dapat menyebabkan perubahan pada kondisi maupun sifat fisik pada aliran fluida. Adanya interaksi fisik antara fluida dan struktur dapat mempengaruhi satu sama lain antara kondisi fisik yang terjadi pada keduanya. Untuk mempertimbangkan fenomena tersebut, maka metode simulasi interaksi yang digunakan adalah metode *Two Ways System Coupling*. Penggunaan metode *Two Ways System Coupling* memungkinkan adanya pertukaran data hasil analisis simulasi antara fluida dan struktur solid. Alur simulasi diilustrasikan lebih lanjut pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Simulasi pada Studi Ini.

Thrust bearing yang digunakan dalam penelitian ini adalah *thrust bearing* rigid dengan delapan (8) *sector pads*. Permukaan rotor (tidak bertekstur) dan stator sejajar. Bagian dari permukaan stator diubah pada setiap *pad* dengan memperkenalkan tekstur dalam bentuk *dimple* persegi kecil dan dangkal. Gambar 2 menggambarkan geometri *bearing* dan parameter ukuran *thrust bearing* dapat dilihat di Tabel 1.



Gambar 2. Skema Geometri a) Stator, b) Pelumas, c) Rotor *Thrust Bearing*.

Geometri *thrust bearing* yang digunakan dalam kasus simulasi *thrust bearing* dalam studi ini mengadopsi parameter *thrust bearing* milik Papadopoulos dkk. [7] yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter *Thrust Bearing*

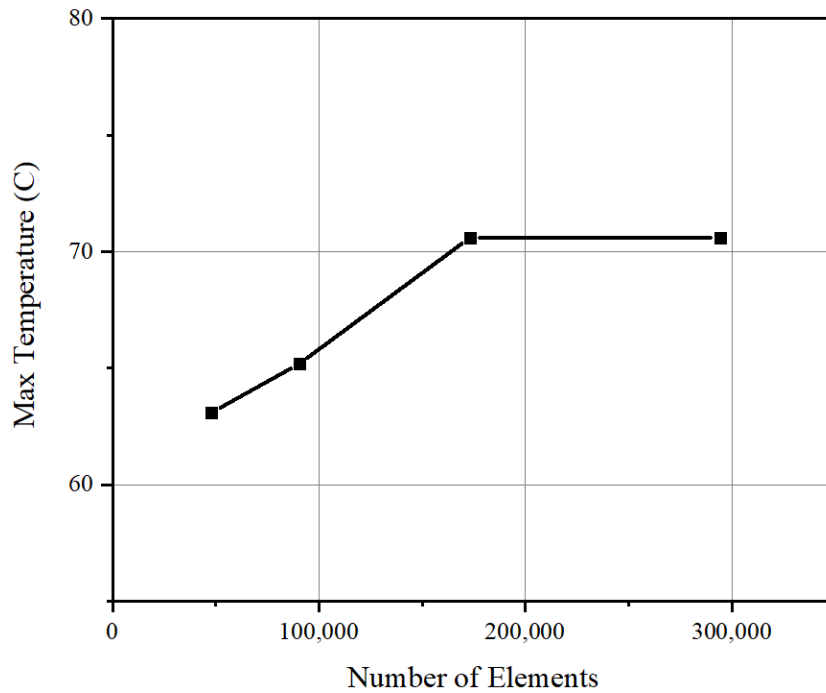
Parameter Geometri <i>Thrust bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Number of pads/sector angle</i>	N_p/θ_p	8/45	-/deg
<i>Outer/inner/mean diameter</i>	$D_o/D_i/D_m$	90/50/70	mm
<i>Width</i>	B	20	mm
<i>Groove length (constant)/depth</i>	L_g/h_g	3/4	mm
<i>Pad length (at midsector)</i>	L	24.5	mm
<i>Outer/inner dimple diameter</i>	D_{ot}/D_{it}	85/55	mm

Pada proses *meshing*, elemen yang terdapat pada *mesh* diharuskan berbentuk heksahedral untuk menghasilkan hasil uji simulasi yang valid dengan kualitas *mesh* yang terbaik. Untuk mempermudah dan meningkatkan kualitas *mesh* yang dihasilkan, maka proses *meshing* pada simulasi ini menggunakan ANSYS ICEM yang dapat menyeragamkan bentuk elemen dengan cara membaginya ke dalam beberapa blok. Parameter *meshing* geometri dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter *Meshing*

Parameter <i>Meshing</i>	Nilai
<i>Body sizing</i>	0.0002 m
<i>Cross-sectional fluid layer</i>	3
<i>Number of elements</i>	173,060
<i>Number of nodes</i>	139,089
<i>Maximum determinant</i>	1
<i>Minimum determinant</i>	0.215
Tipe <i>Meshing</i>	Heksahedral

Berikutnya dilakukan proses *Grid Independency Test* yang merupakan proses untuk mendapatkan hasil simulasi yang stabil tanpa terpengaruh jumlah *mesh* dengan proses yang tidak membebani kerja komputer. Proses ini dilakukan dengan cara mengatur jumlah *grid* atau *mesh* yang berbeda-beda yang hasil akhirnya menunjukkan deviasi yang rendah dengan tingkat kekeliruan atau *error* yang paling rendah pada saat proses simulasi mencapai nilai konvergen. Berikut adalah hasil *Grid Independency Test* pada kasus simulasi ini yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 3.



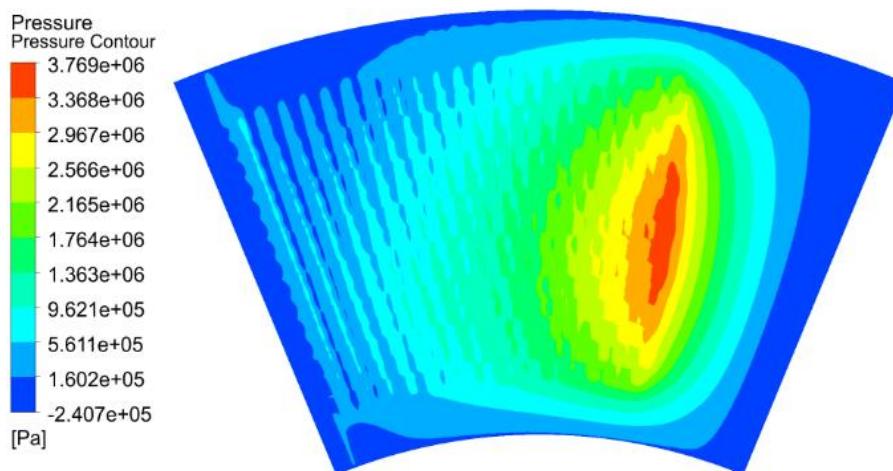
Gambar 3. Grafik perubahan hasil simulasi selama *Grid Independence Test*.

Tabel 3. Hasil uji *Grid Independence Test*

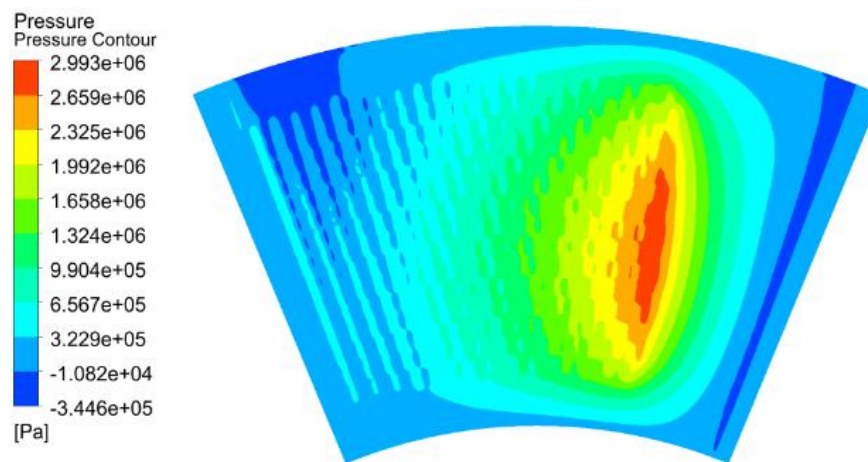
Jumlah Elemen	Max Temperature (°C)	Error (%)
47,929	63.1	-
90,493	65.2	3.22
173,060	70.6	7.64
294,510	70.5	-0.14

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah hasil simulasi studi untuk mengetahui pengaruh permodelan turbulensi serta kavitas pada performa tribologi suatu *thrust bearing* dengan tekstur *rectangular dimples*. Simulasi dilakukan dengan pelumasan *thermohydrodynamic* pada kecepatan rotasi 5000 RPM. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Tekanan Aliran Turbulen pada *Thrust Bearing*.



Gambar 5. Tekanan Aliran Laminar pada *Thrust Bearing*.

Terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 bahwa model turbulensi menyebabkan tekanan pada *thrust bearing* meningkat secara signifikan jika dibandingkan dengan aliran laminar. Hasil ini mengikuti pola yang konsisten dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Durany et al. [8], Feng & Peng [9], dan Song et al. [10]. Terlihat pada gambar *contour*, adanya permodelan turbulensi menyebabkan tekanan lebih terkonsentrasi ke bagian tekstur *bearing* dibandingkan dengan aliran laminar. Tekanan di bagian periodik, inlet, dan outlet *thrust bearing* menjadi sangat rendah dibandingkan tekanan pada bagian tekstur dengan adanya permodelan turbulensi. Sedangkan pada aliran laminar, tekanannya terdistribusi secara lebih merata.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menilai performa *thrust bearing* dengan *dimple* berbentuk persegi panjang menggunakan beberapa jenis model turbulensi, selain itu juga memperhitungkan adanya kavitas dan kondisi termal pada *thrust bearing*. Analisis *thermohydrodynamic* (THD) dilakukan dengan simulasi berbasis *computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan program ANSYS *Fluent*, ANSYS *Steady-State Thermal*, dan ANSYS *System Coupling*. Dari hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa adanya permodelan turbulensi menyebabkan tekanan dari *thrust bearing* menjadi meningkat secara signifikan jika dibandingkan dengan tekanan pada aliran laminar. Turbulensi juga menyebabkan tekanan menjadi lebih terkonsentrasi ke bagian tekstur *bearing* jika dibandingkan dengan aliran laminar yang memiliki distribusi tekanan yang lebih merata.

5. Referensi

- [1] Katsaros, K., Bompos, D., Nikolakopoulos, P., & Theodossiades, S. (2018). Thermal–hydrodynamic behaviour of coated pivoted pad thrust bearings: comparison between Babbitt, PTFE and DLC. *Lubricants*, 6(2), 50. <https://doi.org/10.3390/lubricants6020050>.
- [2] Wasilczuk, M., & Wasilczuk, F. (2020). Combined thrust radial bearing of a submarine main shaft – design and analysis of failure. *Eng. Fail. Anal.*, 115, 104651. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104651>.
- [3] Zhao, C., Long, R., Zhang, Y., Wang, Y., & Wang, Y. (2022). Influence of characteristic parameters on the tribological properties of vein-bionic textured cylindrical roller thrust bearings. *Tribol. Int.*, 175, 107861. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107861>.
- [4] Durany, J., Pereira-Pérez, J., & Varas, F. (2014). Some aspects of lubrication in heavy regimes: Thermal effects, stability and turbulence. *Math. Comput. Simul.*, 102, 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2013.09.005>.
- [5] Atwal, J., & Pandey, R. (2021). PerformanSce improvement of water-lubricated thrust pad bearing operating with the turbulent flow using a new micro-pocket design. *Tribol. Int.*, 154, 106738. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106738>.
- [6] Ibrahim, M., Marusman, N., Sunami, Y., Azizah Amran, S., Musa, S., Ochiai, M., & Lam, S. (2018). Characteristics of modified spiral thrust bearing through geometries and dimension modifications. *Tribol. Online*, 13(6), 334-339. <https://doi.org/10.2474/trol.13.334>.
- [7] Papadopoulos, C., Kaiktsis, L., & Fillon, M. (2013). Computational fluid dynamics thermohydrodynamic analysis of three-dimensional sector-pad thrust bearings with rectangular dimples. *J. Tribol.*, 136(1). <https://doi.org/10.1115/1.4025245>.

-
- [8] Durany, J., Pereira-Pérez, J., & Varas, F. (2015). About the constantinescu turbulent model in hydrodynamic lubrication: A comparison with 3-D LES models. *Tribol. Int.*, 83, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2014.10.008>.
- [9] Feng, H., & Peng, L. (2018). Numerical analysis of water-lubricated thrust bearing with groove texture considering turbulence and cavitation. *Ind. Lubr. Tribol.*, 70(6), 1127-1136. <https://doi.org/10.1108/ilt-07-2017-0204>.
- [10] Song, Z., Guo, F., Liu, Y., Hu, S., Liu, X., & Wang, Y. (2017). Investigation of slip/no-slip surface for two-dimensional large tilting pad thrust bearing. *Ind. Lubr. Tribol.*, 69(6), 995-1004. <https://doi.org/10.1108/ilt-06-2017-0152>.