

ANALISIS PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN PADA *HYDRODYNAMIC JOURNAL BEARING* DENGAN PELUMAS *NON-NEWTONIAN* DENGAN PERANGKAT LUNAK CFD

* Andreas Partogi H¹, 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: andreas26shbng@gmail.com

Abstrak

Bantalan jurnal adalah elemen mesin yang digunakan untuk menjaga agar poros selalu berputar pada porosnya. Bantalan jurnal digunakan dalam sistem mekanis dengan karakteristik yang membutuhkan presisi, kecepatan, dan pembebanan yang tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir, studi untuk meningkatkan kinerja tribologi bantalan telah mulai mempertimbangkan desain/arsitektur bantalan ini. Dalam meningkatkan kinerja tribologi, berbagai metode untuk menganalisis distribusi tekanan, dan fenomena kavitasi telah diusulkan oleh berbagai ilmuwan, terutama di bantalan jurnal. Dalam studi ini, analisis komputasi kinerja tribological pada bantalan jurnal disajikan. Kekasaran permukaan parsial di mana 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 pengaruh kavitasi pada journal bearing menggunakan fluida non-Newtonian, Non-Newtonian digunakan karena fluida ini memiliki sifat anti-us, 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 0,4. 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: dinamika fluida komputasi; hidrodinamika; non-newtonian; kekasaran permukaan

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 to improve the tribological performance of bearings have begun to consider the design/architecture of these bearings. In improving tribological performance, various methods to analyze pressure distribution, and cavitation phenomena have been proposed by various scientists, especially in journal bearings. 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. The roughness is assumed to follow the sand grain roughness model, the analysis was carried out using a journal bearing modeling 3D computational fluid dynamics (CFD) taking into account the effects of cavitation on the journal bearing using a non-Newtonian fluid, a Non-Newtonian fluid was used because this fluid has anti-wear properties, low friction, and extreme pressure. In this study 2 journal bearings are used, the first bearing has a smooth surface boundary condition and the second bearing has a partial rough surface boundary condition with both having an eccentricity ratio of 0.4. The results of this study indicate that the application of surface roughness to journal bearings with non-Newtonian fluids, decreases the maximum pressure value, changes in pressure distribution, expands the cavitation area, and reduces the volume fraction of vapor value.

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

1. Pendahuluan

Bearing merupakan salah satu elemen pada mesin yang berfungsi untuk mendukung fungsi gerak pada mesin. Bearing terdiri atas bagian rotor yang berputar dan bagian stator yang tidak bergerak. Penggunaan bearing pada struktur mesin memungkinkan untuk membatasi pergerakan suatu komponen yang ada pada mesin, sehingga, komponen tersebut memiliki sumbu gerak yang tetap dan memiliki arah gerak yang sesuai dengan yang diinginkan. Adanya gerakan tersebut menyebabkan terjadinya gesekan antara permukaan stator dan rotor. Untuk mengurangi dampak tersebut, salah satu cara yang digunakan ialah menambahkan pelumas atau pelumas di antara rotor dan stator [1]. Pada penelitian ini, jenis bearing yang digunakan adalah Journal Bearing.

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. [2]

Besarnya pembebanan pada gerakan komponen mesin pada bearing akan menyebabkan efisiensi penggunaan daya yang digunakan untuk menggerakkan komponen tersebut. Pembebanan ini juga menyebabkan terjadinya perubahan temperatur pada permukaan bearing. Hal ini dikarenakan adanya fenomena gesekan yang terjadi saat mesin tersebut bergerak. Selain penggunaan pelumas pada bearing, upaya lain yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan menambahkan tekstur atau alur pada permukaan bearing. 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 [3].

Computational Fluid Dynamics, atau biasa disebut juga dengan komputasi dinamika fluida, merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis suatu aliran disamping penggunaan metode eksperimen. Secara pengertian, CFD merupakan suatu ranah keilmuan yang mendiskusikan mengenai penentuan solusi terhadap suatu aliran fluida dengan menggunakan komputer [4]. CFD dapat memudahkan seorang insinyur 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.

Dalam operasinya peran pelumasan pada journal bearing memiliki peran yang sangat penting. Pemilihan pelumas terdapat beberapa kriteria yaitu, sifat termalnya dan laju aliran adalah parameter mekanisme pelumasan yang berbeda yang dianalisis pada kondisi operasi yang berbeda. Salah satu pelumasan yang umum digunakan adalah hydrodynamic lubrication. 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 ($L > D$) [5]. 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 [6].

Pada proses manufaktur bearing terdapat proses manufaktur yang menggunakan grinding [7]. Grinding adalah proses pengurangan ukuran partikel bahan dari bentuk kasar menjadi ukuran yang lebih halus untuk menyempurnakan proses mixing yaitu hasil pencampuran yang merata dan menghindari segregasi partikel-partikel bahan. Proses grinding ini mempengaruhi tingkat kekasaran (roughness) pada permukaan bagian luar maupun dalam pada bearing. Tingkat kekasaran ini mempunyai efek yang sangat besar terhadap karakteristik performa bearing. Pada penelitian yang dilakukan Bhaskar et al., [8] 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. [9] 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.

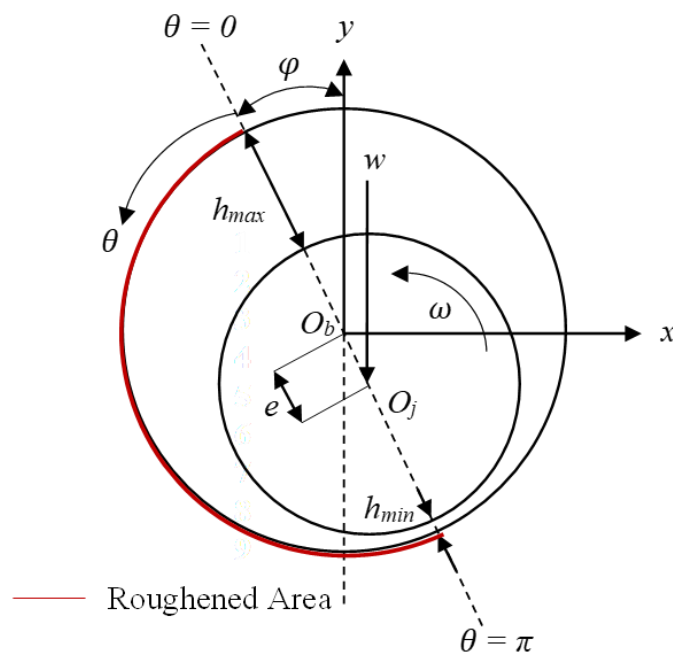
Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang akan dilakukan ialah mengenai investigasi pengaruh pelumasan hidrodinamis menggunakan pelumas Bingham pada journal bearing secara CFD. Pada penelitian ini, penginvestigasian terhadap journal bearing akan dilakukan untuk mengetahui bagaimana persebaran 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. Metodologi

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 journal bearing dengan smooth surface dan rough surface dengan pemodelan simulasi mempertimbangkan efek kavitasi.

2.1 Geometri *Partial Rough Journal Bearing*

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 area permukaan kasar, 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 0.4. Kemudian untuk kondisi *partial rough* menggunakan $R_a = 12.5 \mu\text{m}$. 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 $100,000 \text{ Pa}$. Skema *journal bearing* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema *journal bearing* kasus.

2.2 Meshing

Untuk dapat dilakukan simulasi, perlu dibuat *mesh*. *Meshing* yang dibuat berdasarkan dengan jurnal Gertzos et al., (2008) 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*. Parameter dari pemodelan *meshing* dapat dilihat pada Tabel 1.

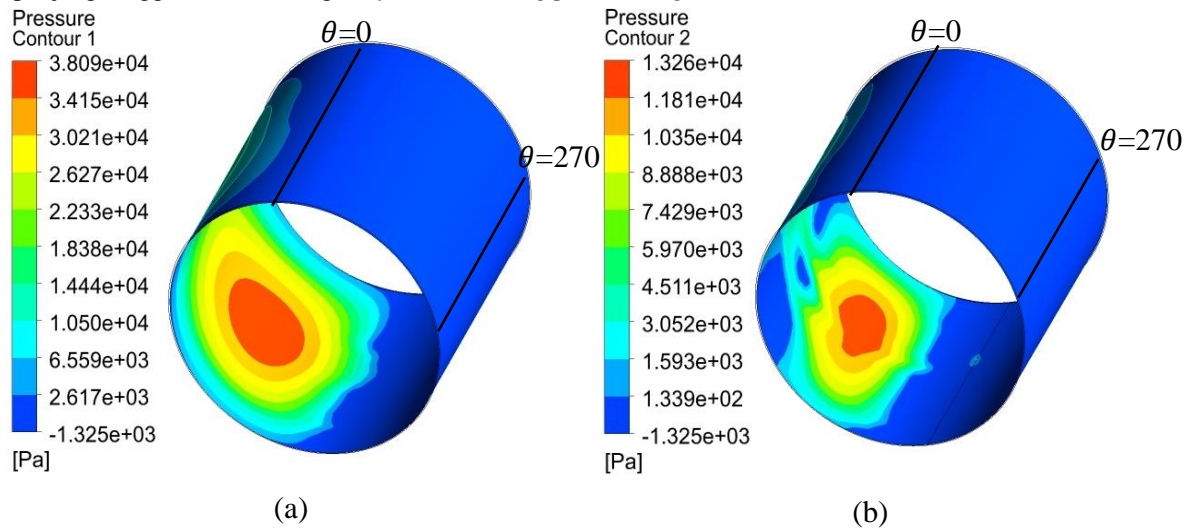
Tabel 1. Kriteria *Meshing* pada Rasio Eksentrisitas (ϵ) = 0.4,

Mesh kriteria	Jumlah
<i>Edge Sizing</i>	360 division
<i>Face meshing</i>	8-layers of division
<i>Face meshing</i>	25-layers of division
<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

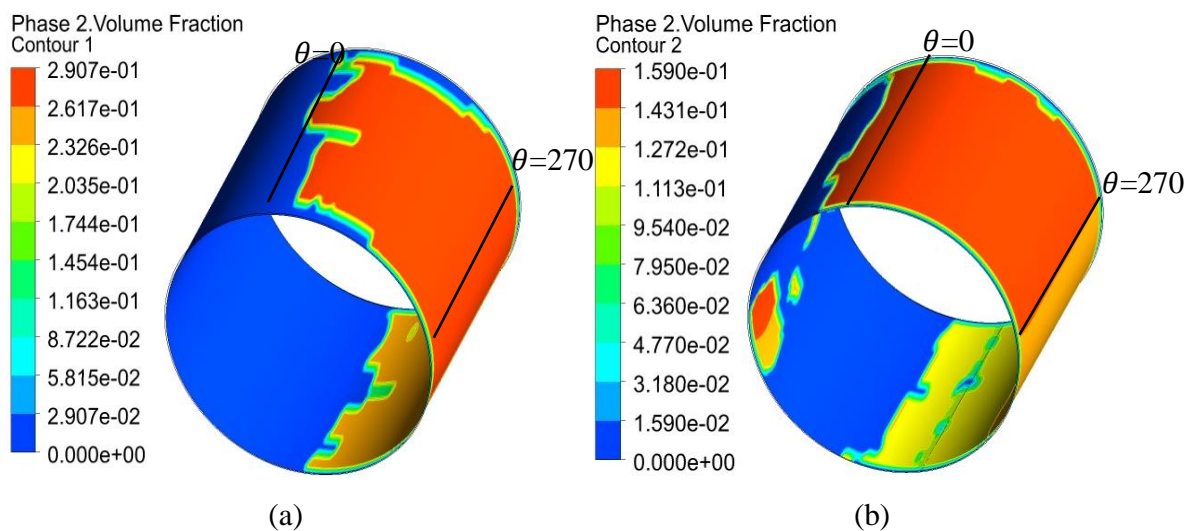
Berikut adalah hasil simulasi CFD untuk mengetahui pengaruh fluida non-newtonian pada pelumasan *hydrodynamic* dengan mempertimbangkan kondisi *partial rough* pada *journal bearing*. Simulasi dilakukan pada kondisi *journal bearing* dengan rasio eksentrisitas 0.4 dan *roughness level* 0; 12.5 μm . Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 2 menunjukkan perbandingan kontur tekanan pada *journal bearing* $\varepsilon = 0.4$ dengan 4 variasi kekasaran permukaan, perbedaan yang dapat dilihat adalah dengan diberikannya kekasaran permukaan mempengaruhi peningkatan dan penurunan tekanan, dimana tekanan pada *journal bearing smooth* memiliki nilai tekanan maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan *partial rough journal bearing* dan juga pada *journal bearing smooth* area tekanan lebih panjang hingga 17° dibandingkan *journal bearing partial rough*.



Gambar 2. Perbandingan Kontur Tekanan Pada *Journal Bearing* (a) $R_a = 0$, (b) $R_a = 12.5$.

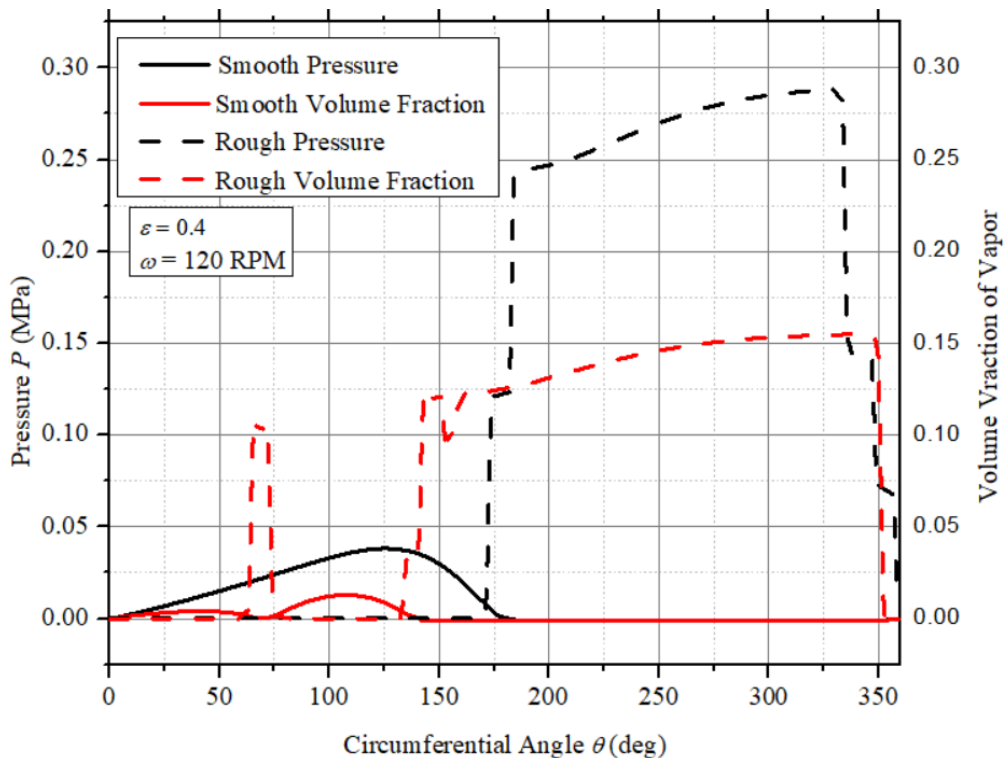
Gambar 3 dibawah menunjukkan perbandingan kontur *volume fraction of vapor* pada *journal bearing* $\varepsilon = 0.4$, dapat dilihat bahwa vapor lebih mudah terbentuk pada *journal bearing partial rough* hal ini menyebabkan terjadinya penurunan tekanan dan pembentukan kavitasi, area kavitas yang terbentuk pada *partial rough journal bearing* lebih luas bila dibandingkan dengan *journal bearing smooth* dengan perbedaan yang cukup besar dan dapat dilihat juga bahwa pada *partial rough journal bearing* pembentukan vapor terjadi pada area tekanan, semakin besarnya kavitasi mempengaruhi besarnya daerah bangkitnya tekanan pada *journal bearing* serta mempengaruhi juga tekanan maksimal yang terjadi pada *journal bearing*.



Gambar 3. Perbandingan Kontur *Volume Fraction of Vapor* Pada *Journal Bearing* (a) $R_a = 0$, (b) $R_a = 12.5$.

Gambar 4 menunjukkan hasil distribusi tekanan pada *journal bearing* $\varepsilon = 0.4$ pada *mid-plane journal bearing* dari sudut 0° sampai 360° . Pada simulasi ini distribusi tekanan maksimum terjadi pada kisaran sudut 90° - 150° dan distribusi tekanan minimum ada pada kisaran sudut 150° - 360° . Terlihat pada gambar nilai tekanan tertinggi pada rasio

eksentrisitas 0.4, terdapat pada *journal bearing smooth* dengan tingkat kekasaran $R_a = 0$ dan nilai tekanan terendah terjadi pada *partial rough journal bearing* dengan tingkat kekasaran $R_a = 12.5$, dapat dilihat juga pada gambar bahwa nilai tekanan maksimum yang terbentuk semakin turun seiring naiknya kekasaran permukaan, Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada sudut 65° - 75° terjadi penurunan tekanan pada *journal bearing partial rough*, hal ini terjadi karena pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada sudut 65° - 75° pada *journal bearing partial rough* terjadi pembentukan *vapor* sehingga terjadi penurunan tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian kekasaran menurunkan nilai tekanan maksimum pada simulasi *journal bearing* $\varepsilon = 0.4$.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Distribusi Tekanan Pada *Journal Bearing* $\varepsilon = 0.4$.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dari pemberian kekasaran permukaan pada hydrodynamic journal bearing dengan pelumasan non-Newtonian pada rasio eksentrisitas 0.4 dengan membandingkan dua *journal bearing* yaitu *smooth journal bearing* ($R_a = 0$ μm) dan *partial rough journal bearing* ($R_a = 12.5$ μm), menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dapat menurunkan nilai tekanan maksimum pada journal bearing, juga menggeser sudut terjadinya kenaikan tekanan pada journal bearing, hal ini terjadi karena pada *partial rough journal bearing* pembentukan *vapor* mudah terjadi dan juga terjadi perluasan area kavitasi dimana hal tersebut yang mempengaruhi turunnya nilai tekanan maksimum pada *partial rough journal bearing*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Juvinall, R.C., Marshek, K.M., 2019, "Fundamentals of Machine Component Design 7th ed," Wiley, New York, p. 548-549.
- [2] Riedel, M., Schmidt, M., Reinke, P., Nobis, M., Redlich, M., (2014). Application of computational fluid dynamics on cavitation in journal bearings. *EPJ Web of Conferences*, 67.
- [3] 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.
- [4] Cengel, Y., Cimbala, J., 2013, "Fluid Mechanics Fundamentals and Applications (SI units)". McGraw Hill, New York, p. 880
- [5] Marey, N., Hegazy, E., El-Gamal, H., 2021, "Journal Bearing Performance – State of The Art." *Sylwan*, 165(4): 390-416.
- [6] 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.
- [7] Stout, K. J., Rowe W. B. (1974) Externally pressurised bearings - design for manufacture, part 1, *Tribology International*, 7(3): 98 – 106.
- [8] 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.

-
- [9] 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.
- [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.