

## ANALISIS KARAKTERISTIK *THERMO-HYDRODYNAMIC* PADA *MULTISTEP JOURNAL BEARING* DENGAN VARIASI BENTUK GEOMETRI DAN JUMLAH *GROOVE* MENGGUNAKAN METODE CFD

\*Rizky Kurniawan<sup>1</sup>, Muchammad<sup>2</sup>, Mohammad Tauviquirrahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: rizkykurniawaannnn@gmail.com

### Abstrak

*Journal bearing* memiliki fungsi krusial dalam menopang beban poros yang berputar pada berbagai sistem permesinan. Pada kondisi pembebanan berat dengan rasio eksentrisitas tinggi, performa pelumasan rentan mengalami degradasi secara signifikan akibat perluasan fenomena kavitasi. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh modifikasi geometri *multistep* terhadap kapasitas dukung beban (*load carrying capacity*), gaya gesek (*friction force*), dan persentase uap kavitasi (*volume fraction of vapor*), khususnya pada rasio eksentrisitas kritis 0,8. Pemodelan dan simulasi numerik diselesaikan melalui pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi dengan mengadopsi model kavitasi multifase Zwart-Gerber-Belamri. Variabel independen yang dievaluasi mencakup modifikasi profil geometri (*rectangular*, *semicircular*, dan *fillet*) serta penambahan jumlah *groove*. Hasil komputasi mengindikasikan bahwa profil *rectangular* secara konsisten menginduksi efek bendungan (*damming effect*) yang kuat pada zona konvergen, sehingga menghasilkan nilai kapasitas dukung beban tertinggi. Sementara itu, profil *fillet* terbukti paling efektif dalam mereduksi gaya gesek fluida. Sebaliknya, aplikasi profil *semicircular* justru mengakibatkan degradasi performa yang ditandai dengan penurunan daya angkat secara drastis. Lebih lanjut, pada evaluasi kavitasi di kondisi eksentrisitas ekstrem, variasi profil geometri terbukti tidak memberikan dampak reduksi yang signifikan. Penurunan intensitas *volume fraction of vapor* secara dominan justru dikontrol oleh penambahan kuantitas *groove*. Peningkatan jumlah struktur *groove* terbukti efektif dalam menginterupsi ekspansi tekanan negatif sebelum fluida pelumas mengalami perubahan fase secara menyeluruh.

**Kata kunci:** *computational fluid dynamics (cf)*; kavitasi; *load carrying capacity*; *multistep journal bearing*

### Abstract

*Journal bearings* play a crucial role in supporting rotating shaft loads in various machinery systems. Under heavy loading conditions with a high eccentricity ratio, lubrication performance is highly susceptible to significant degradation due to the expansion of cavitation phenomena. This study aims to investigate the effect of multistep geometric modifications on load carrying capacity, friction force, and volume fraction of vapor, specifically at a critical eccentricity ratio of 0.8. Numerical modeling and simulation were conducted using a three-dimensional *Computational Fluid Dynamics* (CFD) approach adopting the Zwart-Gerber-Belamri multiphase cavitation model. The independent variables evaluated include geometric profile modifications (*rectangular*, *semicircular*, and *fillet*) as well as the addition of the number of grooves. Computational results indicate that the rectangular profile consistently induces a strong damming effect in the convergent zone, thereby yielding the highest load carrying capacity. Meanwhile, the fillet profile proved to be the most effective in reducing fluid friction force. Conversely, the application of the semicircular profile resulted in performance degradation, characterized by a drastic reduction in lifting capacity. Furthermore, in the evaluation of cavitation under extreme eccentricity conditions, geometric profile variations were proven to have no significant reduction impact. The decrease in the intensity of the volume fraction of vapor is predominantly controlled by increasing the quantity of grooves. Increasing the number of groove structures proved effective in interrupting the expansion of negative pressure before the lubricating fluid undergoes a complete phase change.

**Keywords :** *cavitation*; *computational fluid dynamics (cf)*; *load carrying capacity*; *multistep journal bearing*

### 1. Pendahuluan

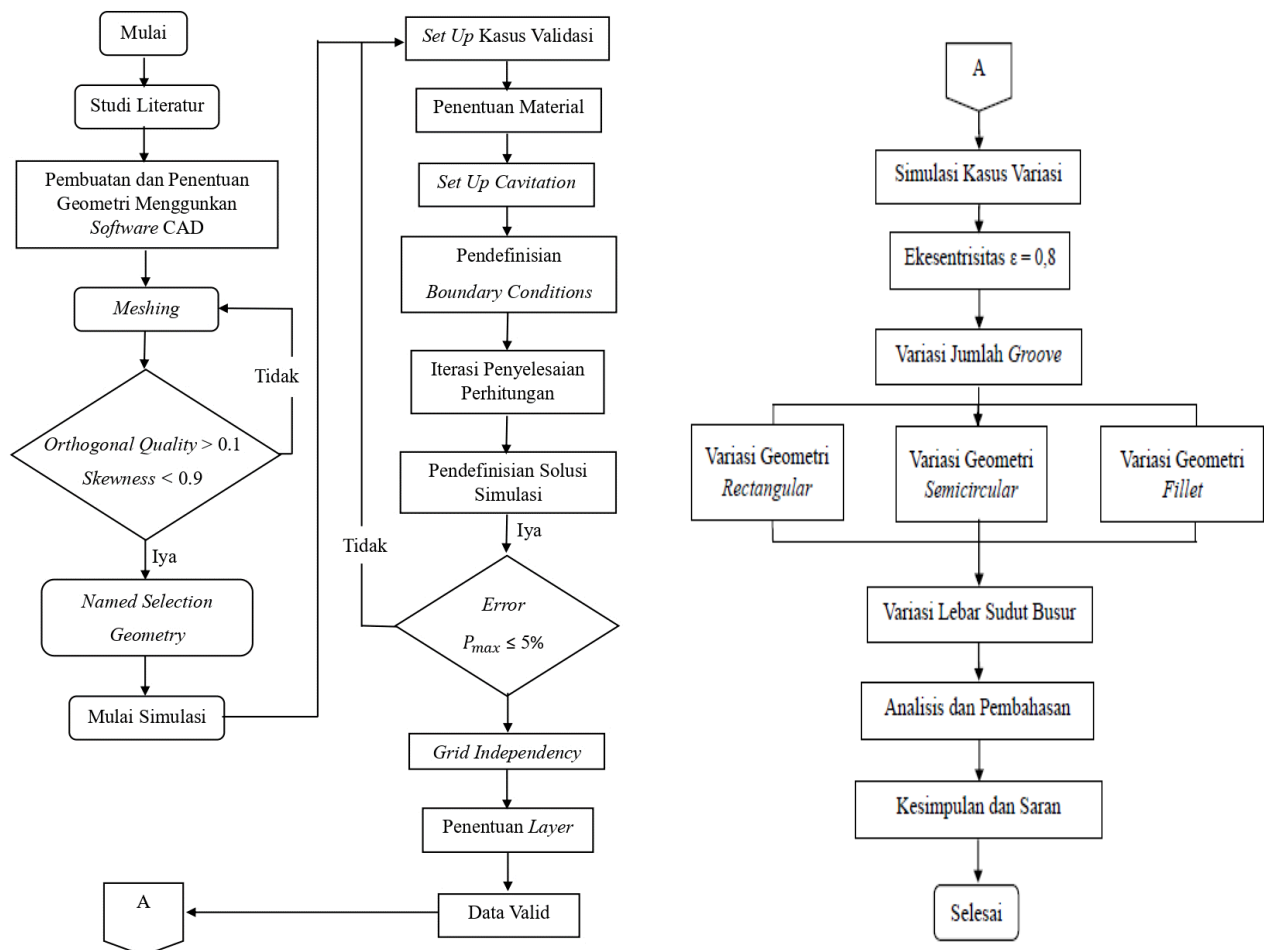
*Journal bearing* merupakan komponen penopang poros berputar di mana kontak antar permukaannya dipisahkan oleh lapisan fluida pelumas [1]. Pada aplikasi beban berat, bantalan sering beroperasi dengan rasio eksentrisitas yang sangat tinggi [2]. Kondisi ekstrem ini rentan memicu meluasnya zona divergen, yang menyebabkan tekanan statik fluida anjlok di bawah tekanan uap jenuhnya. Hal ini memunculkan fenomena kavitasi yang merusak kontinuitas lapisan *film* pelumas dan menurunkan performa bantalan secara drastis [3].

Untuk mengatasi kavitasi dan meningkatkan kapasitas angkat beban, modifikasi profil geometri seperti desain *multistep* dan penambahan tekstur *groove* sering diaplikasikan [4]. Modifikasi permukaan ini terbukti memengaruhi interaksi aliran mikro pelumas [5] dan cukup efektif menekan perluasan fraksi uap [6], [7]. Namun, modifikasi ini sering memicu efek *trade-off*. Keberadaan *groove* berpotensi memotong area konvergen pembentuk baji cairan (*fluid wedge*), yang justru berisiko melemahkan tekanan puncak dan menurunkan daya dukung beban atau *Load Carrying Capacity* [8].

Berdasarkan fenomena *trade-off* tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modifikasi geometri (profil *rectangular*, *semicircular*, dan *fillet*) serta variasi jumlah *groove* pada *multistep journal bearing*. Untuk membatasi ruang lingkup pada kondisi kritis, simulasi difokuskan pada rasio eksentrisitas tinggi (0,8) menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Analisis dititikberatkan pada parameter distribusi tekanan, LCC, dan *volume fraction of vapor* guna menentukan konfigurasi desain yang paling optimal.

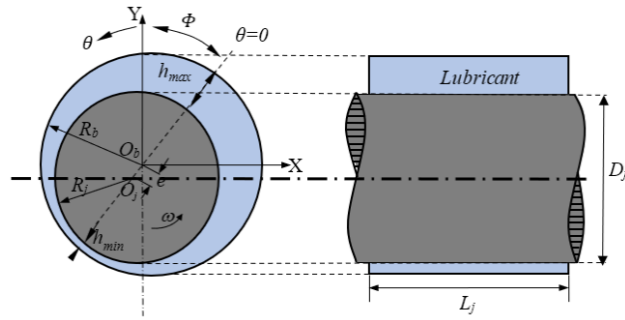
## 2. Dasar Teori dan Metodologi

Penelitian ini diselesaikan melalui pendekatan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent. Aliran fluida pelumas di dalam celah *journal bearing* diasumsikan sebagai aliran laminar dan *incompressible*. Distribusi tekanan fluida dievaluasi dengan memecahkan persamaan konservasi massa dan momentum (Navier-Stokes) [9]. Sementara itu, performa daya dukung beban diperoleh melalui integrasi distribusi tekanan fluida pada luasan permukaan bantalan pelumas [10].



Gambar 1. Diagram Alir Pendefinisian Masalah

Pemodelan komputasi aliran fluida pada penelitian ini menetapkan dimensi dasar *journal bearing* dan properti pelumas berdasarkan studi Taghipour, dkk. [9]. Selain sebagai penentu posisi sudut *multistep groove*, paper acuan digunakan juga sebagai referensi pada pembahasan hasil setelah dilakukannya simulasi.



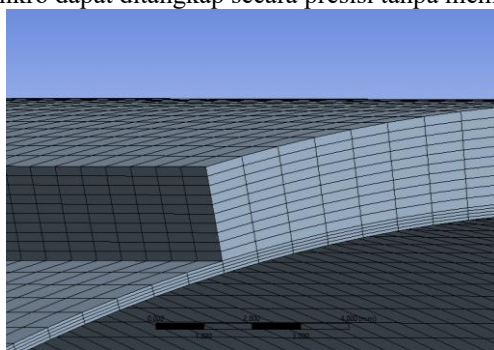
Gambar 2. Skema Geometri *Journal Bearing*

Adapun parameter modifikasi geometri, yang meliputi kedalaman *groove* 2 mm serta variasi 2 dan 6 *groove*, mengadopsi rentang optimal Chen, dkk. [10]. Guna memfokuskan investigasi pada kondisi pembebanan ekstrem, parameter rasio eksentrisitas dikunci secara statis pada nilai kritis  $\varepsilon = 0,8$ .

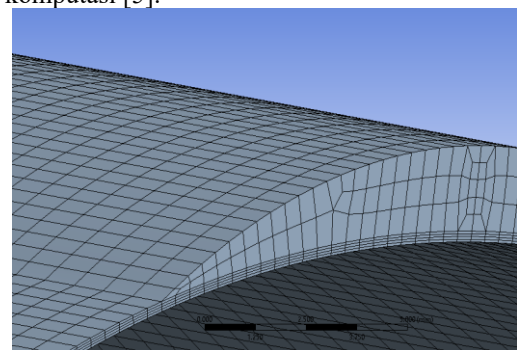
Tabel 1. Parameter *Multistep Journal Bearing*.

Parameter <i>Journal Bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Bearing</i>			
Jari – jari <i>journal</i>	$R_j$	50	mm
Panjang <i>journal</i>	$L_j$	133	mm
Radial clearance	$c$	0,145	mm
Rasio eksentrisitas	$\varepsilon$	0.8	-
Kecepatan putar poros	$N$	48	rad/s
Attitude angle	$\theta$	199,75°	degree
Kedalaman <i>Groove</i>	$h_{step}$	2	mm
Jumlah <i>Groove</i>	$n_{step}$	2, 4 dan 6	-
Sudut antara <i>Groove</i>	$\beta$	150, 60 dan 30	degree
Sudut busur <i>Groove</i>	$\gamma$	30	degree
Sudut orientasi	$\psi$	5	degree
<i>Material Properties</i>			
Massa jenis <i>oil liquid</i>	$\rho_l$	840	kg/m <sup>3</sup>
Viskositas <i>oil liquid</i>	$\mu_l$	0,0127	Pa.s
Vapor pressure	$P_{sat}$	20.000	Pa
Viskositas <i>oil vapor</i>	$\mu_v$	$2 \times 10^{-5}$	Pa.s
Diameter <i>bubbles</i>	$D_b$	0,01	mm

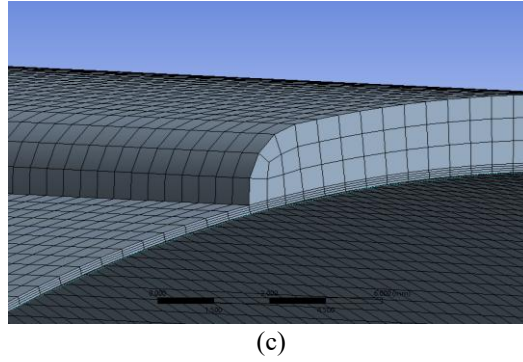
Proses *meshing* pada variasi geometri *rectangular*, *semicircular*, dan *fillet* dilakukan secara terstruktur guna menjaga kualitas elemen komputasi pada celah radial bantalan yang mikroskopis [2]. Peningkatan kerapatan *mesh* difokuskan secara khusus pada area transisi geometri dan zona divergen [11] agar gradien tekanan statik serta interaksi aliran mikro dapat ditangkap secara presisi tanpa memicu anomali komputasi [5].



(a)



(b)



Gambar 3. Meshing pada Geometri: (a) Rectangular, (b) semicircular, (c) fillet

Poros *journal bearing* bergerak dengan kecepatan  $\omega$  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 Fluid Domain

Domain	Batas	Kondisi Batas	Kondisi
Fluid	Inlet	Total Pressure Inlet	0 MPa, 300K
	Outlet	Opening Pressure Outlet	0 MPa, 300 K
	Moving Wall	No-slip Moving Wall	0 MPa, 300 K, 48 rad/s, 50 W/m <sup>2</sup> K, 300 K
	Stationary Wall	No-slip Stationary Wall	50 W/m <sup>2</sup> K, 300 K

Pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter untuk mengukur performa pelumasan pada *journal bearing* sebagai 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* [12].

$$W_f = \int \int_A p r d\phi dz \quad (2.1)$$

- Gaya gesek didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing* [12].

$$F_f = -\int \int_A \tau r d\phi dz \quad (2.2)$$

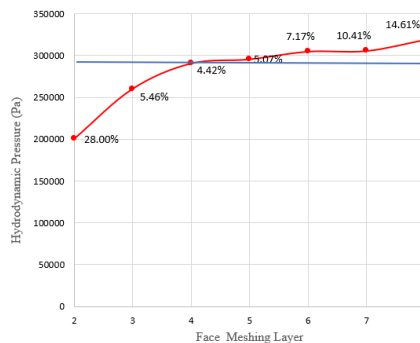
- Volume fraction of vapor* terjadi ketika tekanan film pelumas turun di bawah tekanan uap jenuh fluida, menyebabkan terbentuknya gelembung gas atau uap di dalam *film* pelumas [12].

$$\alpha_l + \alpha_v = 1 \quad (2.3)$$

$$\alpha_v = \frac{\alpha_a}{\alpha_a + (1 - \alpha_a)(R_a^3 / R_v^3)} \quad (2.4)$$

### 3. Analisis dan Pembahasan

Pada simulasi dengan rasio eksentrisitas 0,8 dan kecepatan poros 48 rad/s, didapatkan hasil yang stabil dan dengan mempertimbangkan agar waktu komputasi yang lebih sedikit maka digunakan 4 *face layer*, hal ini menjadi acuan konfigurasi *meshing* yang akan digunakan pada simulasi selanjutnya.



Gambar 4. Grid Independency Journal Bearing

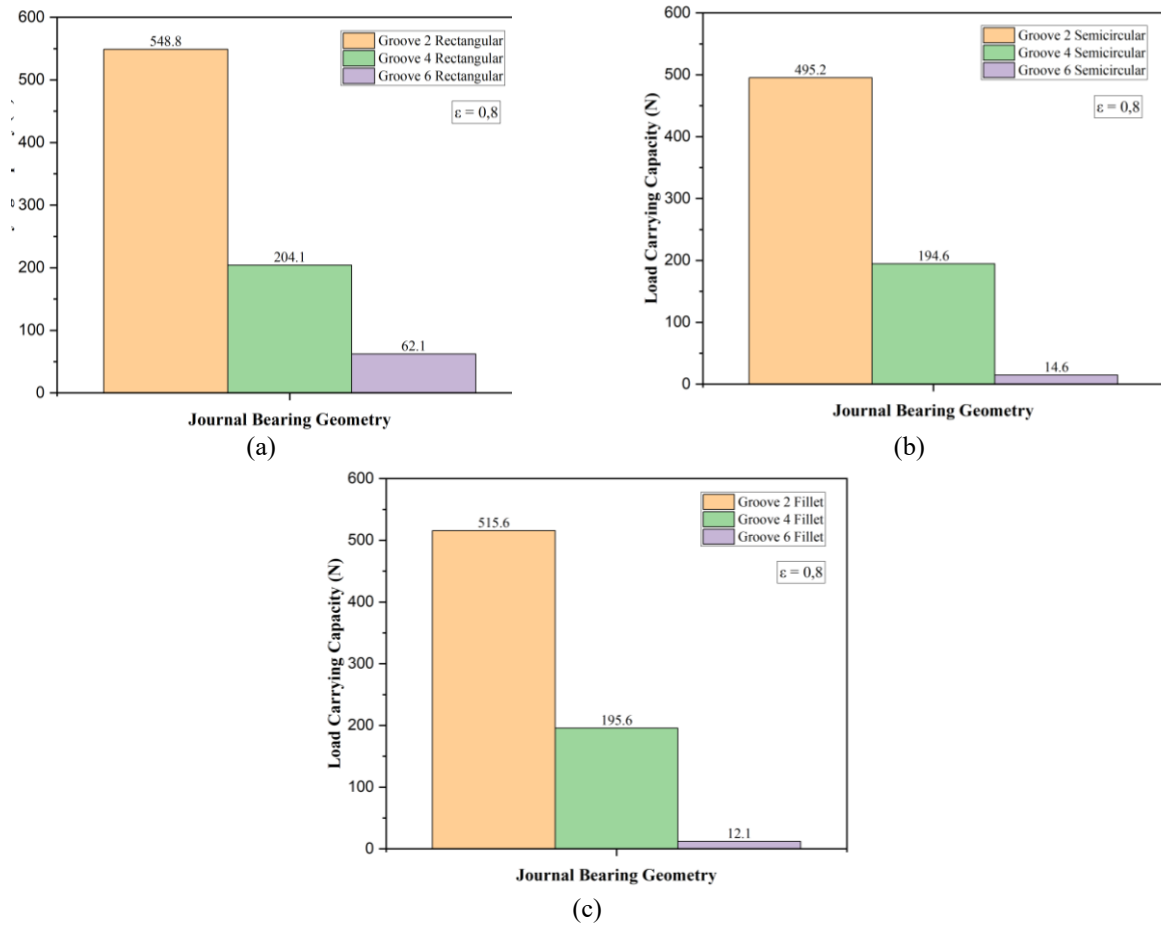
#### 3.1 Hasil Simulasi *Multistep Groove* pada Performa *Journal Bearing*

Pada bab ini akan membahas pengaruh variasi bentuk *groove* (*rectangular*, *semicircular*, dan *fillet*) serta variasi jumlah *groove*. Peningkatan performa yang dibahas antara lain adalah *load carrying capacity*, *friction force*, dan *volume fraction of vapor*.

### 3.1.1 Load Carrying Capacity

#### Load Carrying Capacity

Performa pelumasan dapat dilihat dari *load carrying capacity* (LCC) yang dihasilkan dari perhitungan integral tekanan di seluruh permukaan lapisan fluida. Berikut merupakan diagram batang perbandingan dari ketiga geometri.

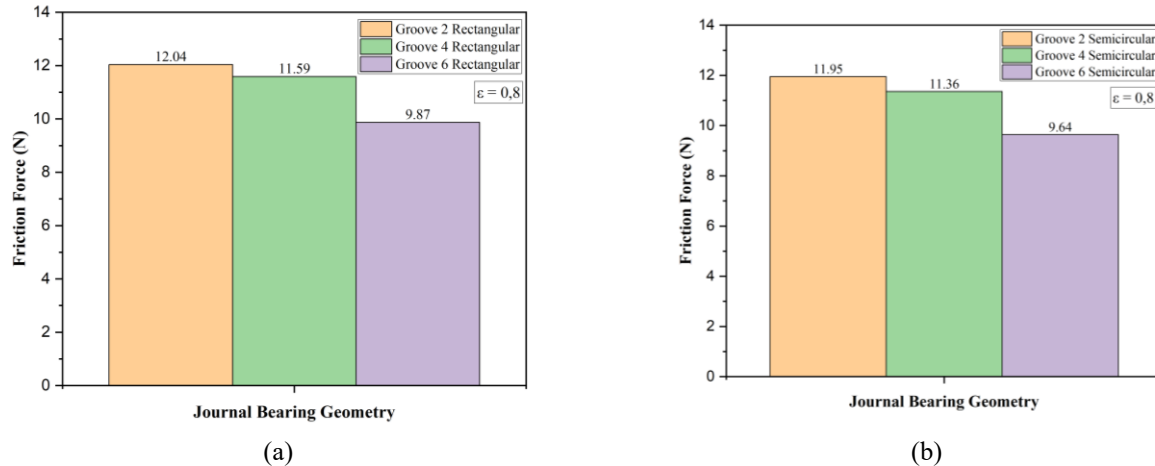


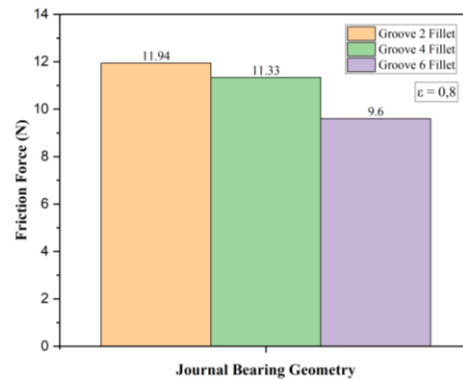
**Gambar 5.** Perbandingan Nilai *Load Carrying Capacity* Sudut Busur 30° dengan  $\varepsilon = 0,8$  dan  $\omega = 48$  rad/S Pada Variasi Geometri: (a) *Rectangular*, (b) *Semicircular*, dan (c) *Fillet*

Dapat dilihat dari Gambar 5 di atas bahwa variasi geometri memberikan pengaruh pelemahan performa yang signifikan, di mana profil *semicircular* mengalami kemerosotan daya angkat paling tajam hingga kisaran 30% dibandingkan profil *rectangular*.

### 3.1.2 Friction Force

Selain itu, fenomena yang perlu diperhatikan adalah pengaruh dari penambahan jumlah *groove* dan bentuk geometri *groove* pada *journal bearing* terhadap *friction force* yang dihasilkan. Berikut adalah hasil dari simulasi.





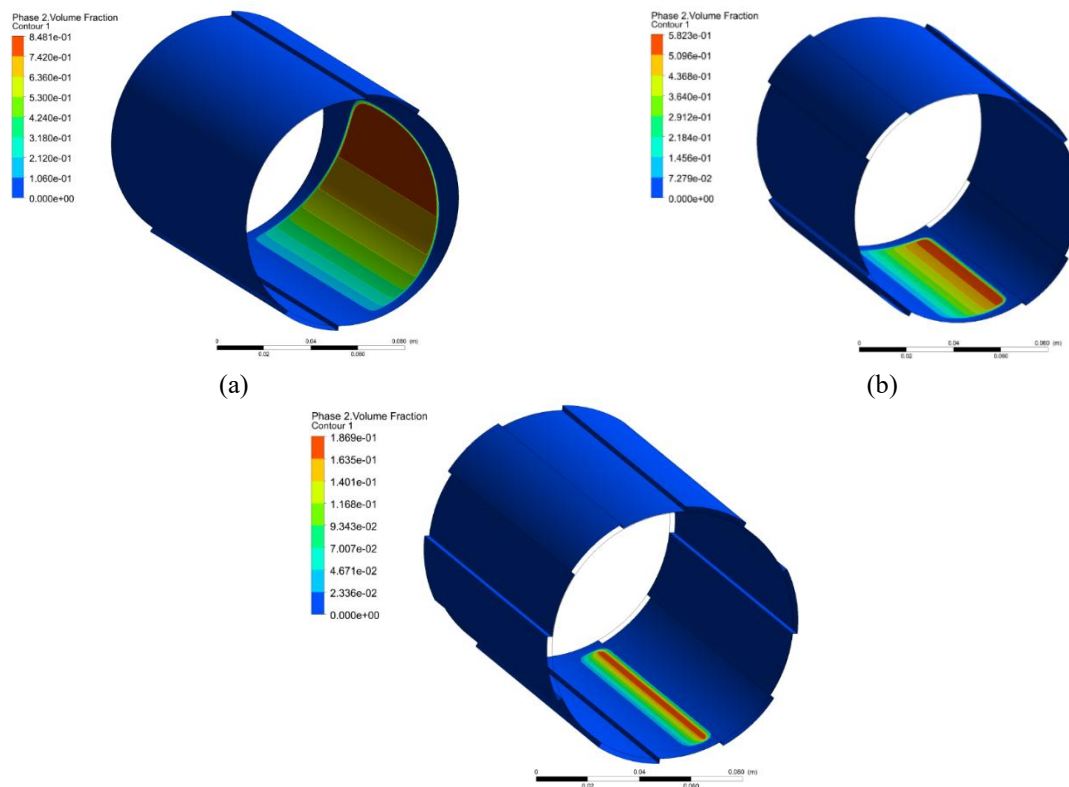
(c)

**Gambar 6.** Perbandingan Nilai *Friction Force* Sudut Busur  $30^\circ$  dengan  $\varepsilon = 0,8$  dan  $\omega = 48$  rad/s pada Variasi Geometri: (a) *Rectangular*, (b) *Semicircular*, dan (c) *Fillet*

Pada simulasi *friction force* ( $\varepsilon = 0,8$ , sudut busur  $30^\circ$ ) yang ditunjukkan oleh Gambar 6 di atas, profil geometri *fillet* menunjukkan penurunan gaya gesek yang paling terlihat, dengan tingkat deviasi penyusutan di kisaran 1% hingga 2,7% dibandingkan dengan profil *rectangular*. Penurunan ini terjadi karena transisi kelengkungan yang halus pada desain *fillet* efektif mengurangi resistensi tegangan geser (*shear stress*) aliran fluida ketika melewati area celah yang lebar.

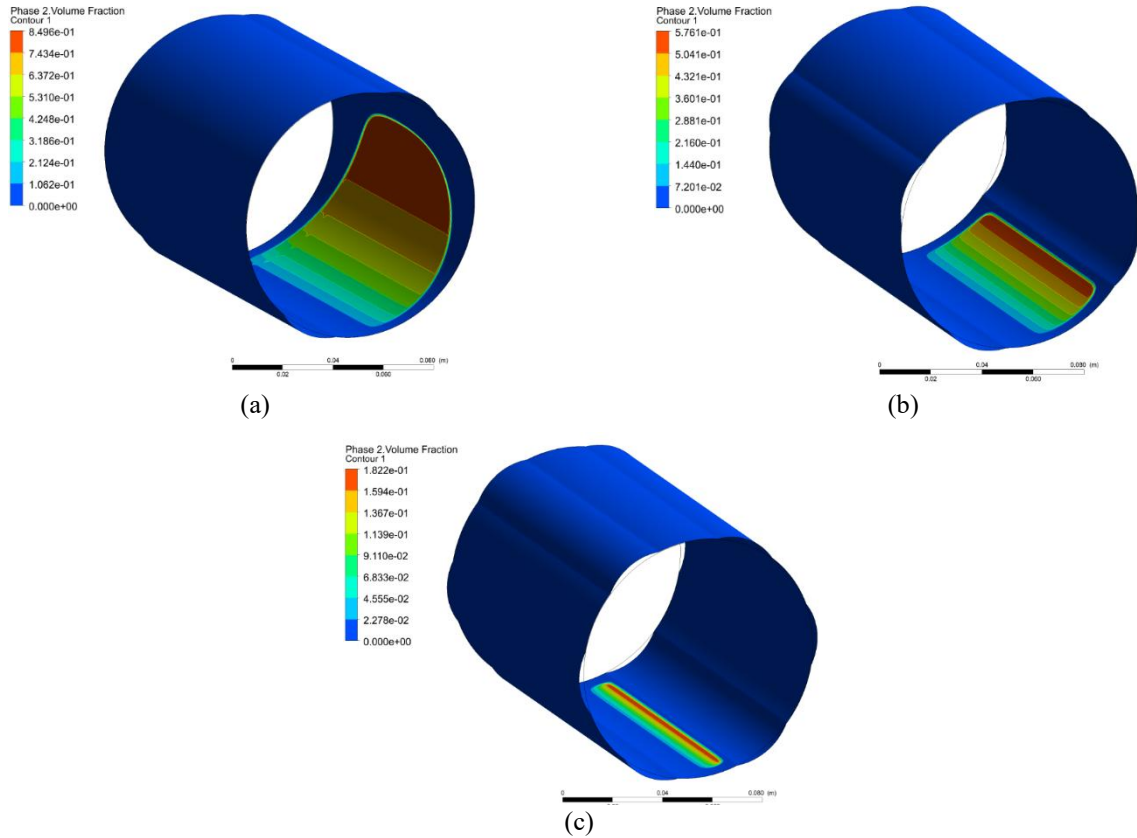
### 3.1.3 Volume Fraction of Vapor

Parameter *volume fraction of vapor* (rasio volume uap terhadap volume total fluida) merupakan indikator utama fenomena kavitasi, yaitu kondisi ketika fluida berubah fase dari cair menjadi uap akibat turunnya tekanan lokal di bawah tekanan uap jenuhnya. Dalam konteks *multistep journal bearing*, analisis fraksi uap ini sangat krusial untuk mengevaluasi stabilitas operasi; di mana kavitasi yang berlebih dapat memicu dampak negatif berupa ketidakstabilan aliran, erosi material, dan penurunan kapasitas dukung beban, meskipun di sisi lain keberadaan zona uap berviskositas rendah ini juga menguntungkan karena dapat menurunkan gaya gesek total pada bantalan. Berikut adalah visualisasi *volume fraction of vapor* yang ditunjukkan oleh Gambar 7 hingga Gambar 9.

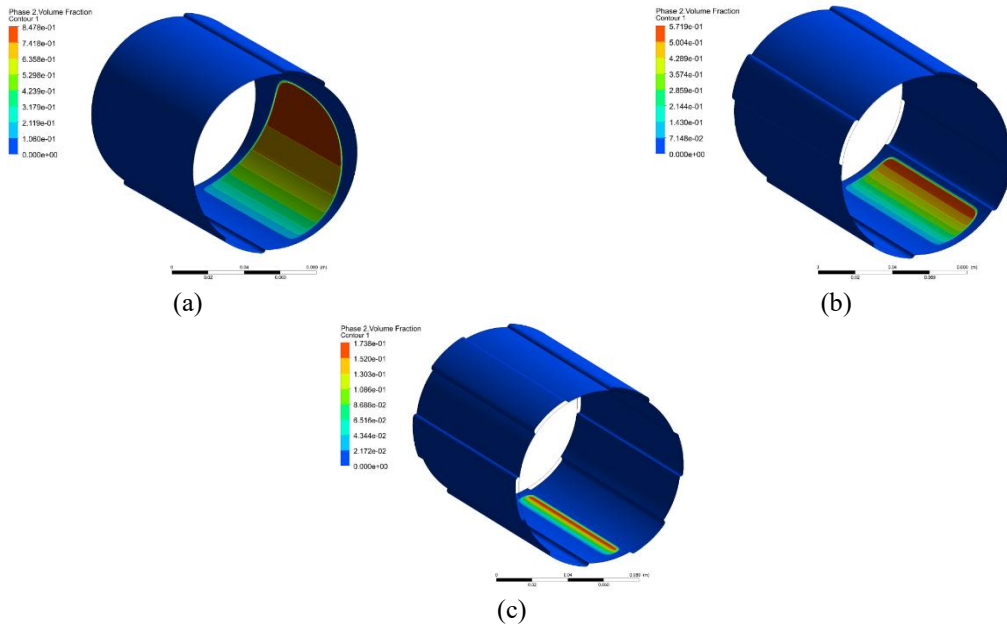


(c)

**Gambar 7.** Kontur *Volume Fraction of Vapor* Sudut Busur  $30^\circ$  dengan  $\varepsilon = 0,8$  dan  $\omega = 48$  rad/s pada Variasi Geometri *Rectangular*



**Gambar 8.** Kontur *Volume Fraction of Vapor* Sudut Busur 30° dengan  $\varepsilon = 0,8$  dan  $\omega = 48$  rad/s pada Variasi Geometri *Semicircular*



**Gambar 9.** Kontur *Volume Fraction of Vapor* Sudut Busur 30° dengan  $\varepsilon = 0,8$  dan  $\omega = 48$  rad/s pada Variasi Geometri *Semicircular*.

Variasi geometri pada hasil *volume fraction of vapour* hanya memberikan pengaruh yang minor. Deviasi peningkatan yang konsisten terlihat pada geometri *semicircular*, yang memperluas area kavitasinya sekitar 0,28%-0,33% dibandingkan profil *rectangular*.

#### 4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Profil *rectangular* memberikan daya dukung beban tertinggi akibat efek bendungan, sedangkan profil *fillet* menghasilkan gaya gesek terendah. Sebaliknya, profil *semicircular* menurunkan daya angkat secara drastis.
2. Variasi bentuk geometri tidak signifikan dalam mengurangi kavitasi. Penurunan volume uap kavitasi secara dominan justru ditentukan oleh penambahan jumlah *groove*.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] P. Zulhanafi, S. Syahrullail, and M. A. Ahmad, "The Tribological Performance of Hydrodynamic Journal Bearing Using Bio-Based Lubricant," *Jurnal Tribologi*, vol. 42, pp. 1-20, 2020.
- [2] F. Savero, Muchammad, and M. Tauviqirrahman, "Analisis Pengaruh Rasio Eksentrisitas pada Pelumasan Elastohydrodynamic Multistep Journal Bearing Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics dan Fluid-Structure Interaction," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 9, no. 2, pp. 247-254, 2021.
- [3] M. Tauviqirrahman, M. Wijaya, M. Muchammad, P. Paryanto, and J. Jamari, "Hydrodynamic Lubrication Analysis of Journal Bearing Considering Cavitation, Slip and Thermal Condition," *Jurnal Tribologi*, vol. 42, pp. 1-20, 2024.
- [4] D. A. Bompos and P. G. Nikolakopoulos, "Tribological design of a multistep journal bearing," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 68, pp. 18-32, 2016.
- [5] Y. Wang, G. Jacobs, and F. König, "Investigation of Microflow Effects in Textures on Simulations," *Lubricants*, vol. 11, no. 1, p. 20, 2023.
- [6] N. Tala-Ighil, M. Fillon, and P. Maspeyrot, "Effect of textured area on the performances of a hydrodynamic journal bearing," *Tribology International*, vol. 44, no. 3, pp. 211-219, 2011.
- [7] X. Liang, Z. Liu, H. Wang, X. Zhou, and X. Zhou, "Hydrodynamic lubrication of partial textured sliding journal bearing based on three-dimensional CFD," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 68, no. 1, pp. 106-115, 2016.
- [8] N. Singh and R. K. Awasthi, "Theoretical investigation of surface texture effects on the performance characteristics of hydro-dynamic two-lobe journal bearing," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 234, no. 11, pp. 1712-1725, 2020.
- [9] Taghipour, Y., Akbarzadeh, P., Moradgholi, F., & Eftekhari Yazdi, M., "Numerical study of the cavitation effect on plain bearings in constant and variable viscosity states," *Meccanica*, vol. 56, no. 10, pp. 2507-2516, 2021.
- [10] Chen, Y., Sun, Y., He, Q., and Feng, J., "Analysis of Journal Bearing Using Fluid – Structure Interaction Considering Cavitation," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 44, no. 2, pp. 1305-1320, 2019.
- [11] X. Liang, Z. Liu, H. Wang, X. Zhou, and X. Zhou, "Hydrodynamic lubrication of partial textured sliding journal bearing based on three-dimensional CFD," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 68, no. 1, pp. 106-115, 2016.
- [12] F. Meng, Z. Wei, D. Minggang, and G. Gao, "Study of acoustic performance of textured journal bearing," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, vol. 230, no. 2, pp. 156-169, 2016, doi: 10.1177/1350650115594406