

## Analisis Pengaruh *Slip*, *Open Pocket*, dan Pemodelan Kavitasasi terhadap Karakteristik *Thermohydrodynamic Thrust Bearing* dengan Menggunakan CFD

Muchammad\*

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

\*E-mail: m\_mad5373@yahoo.com

### Abstract

*Thrust bearings are bearings designed to with stand loads that are parallel to the axial axis of a rotating surfaces, this makes the use of lubricants play a very important role to limit the friction that occurs between components that are in contact so as to avoid the negative effects due to friction. Developments in the industrial world and the rapid human needs of, then the scientists confront the problem to be able to improve performance on the bearing. One method or methods used to improve bearing performance is by providing slip boundary conditions, providing surface texturing in the form of an open pocket on the bearing surface and modeling the cavitation phenomenon. This study aims to determine the effect of giving slip, giving open pocket, and modeling of non-cavitation and with cavitation on the lubrication of thrust bearings and using variations in  $H_{min}$  values, namely: 15, 20, 50, and 80 on the performance of thrust bearings viewed from the temperature distribution pressure distribution, load support and friction. The final results of this study indicate that, the provision of open pocket conditions with slip surfaces produces values of load support, friction, and high pressure, and the effect of temperature on open pocket conditions with slip surfaces is so small that the load support values continue to increase. In addition, for cavitation and non-cavitation conditions, for the results of pressure, load support, friction results of non-cavitation are greater than the results of cavitation. However, the temperature results are inversely proportional, where the non-cavitation results are lower than the cavitation results.*

**Keyword:** *Open pocket thrust bearing, slip condition, cavitation.*

### Abstrak

*Thrust bearing* merupakan bantalan yang didesain untuk menahan beban yang sejajar dengan sumbu aksial dari permukaan yang berputar hal ini membuat penggunaan pelumas memegang peranan yang sangat penting untuk membatasi gesekan yang terjadi antara komponen-komponen yang mengalami kontak sehingga dapat menghindari efek negatif akibat gesekan tersebut. Perkembangan dalam dunia industri dan kebutuhan manusia yang pesat menghadapkan para ilmuwan pada persoalan untuk dapat meningkatkan performa pada bantalan. Adapun salah satu cara atau metode yang digunakan untuk meningkatkan performa bearing yaitu dengan memberikan kondisi batas *slip*, memberikan *surface texturing* berupa *open pocket* pada permukaan *bearing* dan pemodelan fenomena kavitasasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian *slip*, pemberian *open pocket*, dan pemodelan *non* kavitasasi dan dengan kavitasasi pada pelumasan *thrust bearing* serta menggunakan variasi nilai  $H_{min}$  yaitu: 15, 20, 50, dan 80 terhadap peforma *thrust bearing* yang dilihat dari distribusi temperatur, distribusi tekanan, *load support*, dan *friction*. Hasil akhir penelitian ini menunjukkan bahwa, pemberian kondisi *open pocket* dengan permukaan *slip* menghasilkan nilai dari *load support*, *friction*, dan tekanan yang tinggi, serta pengaruh temperatur pada kondisi *open pocket* dengan permukaan *slip* sangat kecil sehingga nilai *load support* tetap meningkat. Selain itu, untuk kondisi kavitasasi dan *non* kavitasasi, untuk hasil tekanan, *load support*, *friction* hasil *non* kavitasasi lebih besar dibandingkan hasil kavitasasi. Namun, untuk hasil temperatur berbanding terbalik, dimana hasil *non* kavitasasi lebih rendah dibandingkan hasil kavitasasi.

**Kata kunci:** *Open pocket thrust bearing, kondisi slip, kavitasasi.*

### 1. Pendahuluan

*Bearing* atau bantalan adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua benda yang bergerak relatif satu sama lain, seperti: poros dengan sumbu putar. Selain itu, fungsi dari *bearing* juga sebagai tumpuan dan mengurangi keausan dari benda yang berputar. Bantalan digunakan pada sebuah mesin atau struktur, yang mengacu pada kontak permukaan melalui pembebanan yang diterima [1].

*Thrust bearing* merupakan bantalan yang didesain untuk menahan beban yang sejajar dengan sumbu aksial dari permukaan yang berputar hal ini membuat penggunaan pelumas memegang peranan yang sangat penting untuk

membatasi gesekan yang terjadi antara komponen-komponen yang mengalami kontak sehingga dapat menghindari efek negatif akibat gesekan tersebut. Perkembangan dalam dunia industri dan kebutuhan manusia yang pesat menghadapkan para ilmuwan pada persoalan untuk dapat meningkatkan performa pada bantalan. Adapun salah satu cara atau metode yang digunakan untuk meningkatkan performa *bearing* yaitu dengan memberikan kondisi batas *slip*, memberikan *surface texturing* berupa *open pocket* pada permukaan *bearing* dan pemodelan fenomena kavitasi.

Selama beberapa dekade terakhir banyak bukti yang menunjukkan kondisi *no-slip* tidak selalu valid, dan memiliki kecepatan relatif antara cairan dan permukaan *solid*, terutama jika pada permukaan *solid* terdapat tekstur. Pada umumnya dengan pemberian kondisi *slip/no-slip* akan merubah karakteristik *bearing*. Adapun perubahan yang dimaksud adalah, peningkatan *load support* dan menurunkan gaya gesek [2].

Namun pemberian kondisi batas *slip* pada seluruh permukaan *bearing* dapat mengurangi tekanan, daya dukung beban dan meningkatkan koefisien gesek [3].

*Thermohydrodynamics characteristics* pada *thrust bearing* dimana penjelasannya tentang analisis *thermal* pada *bearing* sangat penting, hal itu di sebabkan viskositas pada pelumas tidak konstan karena adanya pengaruh temperatur sehingga viskositas berubah terhadap temperatur [4].

*Surface texturing* merupakan cara yang cukup baik dilakukan untuk meningkatkan performa *thermohydrodynamic lubrication* pada *thrust bearing*. Pada tahun 2014, Fouflias dkk dalam penelitiannya melakukan perbandingan antara empat *surface texture* pada *thrust bearing*, yaitu *open pocket*, *closed pocket*, *tapered-land*, dan *textured*. Dimana dalam penelitiannya menghasilkan bahwa *surface texture* yang menghasilkan performa paling bagus adalah *open pocket thrust bearing* [5].

Dalam pemodelan *bearing*, fenomena kavitasi sangat penting untuk meningkatkan akurasi dari hasil simulasi. Fenomena kavitasi ini terjadi karena penurunan tekanan yang terlalu besar secara cepat pada fluida cair didalam *bearing* sehingga menimbulkan daerah kosong tanpa fluida pelumas. Penurunan tekanan yang dimaksud adalah ketika tekanan pelumas turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan terjadi perubahan fasa dari *liquid* menjadi *vapor*. Hasil dari pemodelan kavitasi ini memberikan efek positif kepada peneliti agar dapat mendesain *bearing* yang optimal. Selain itu dengan adanya pemberian *slip* dan peletakan tekstur dapat memberikan efek pada daerah terjadinya fenomena kavitasi. Maka dari itu efek kavitasi seharusnya diperhitungkan dalam penelitian ini.

Dengan demikian diperlukan suatu penelitian tentang *thermohydrodynamic lubrication* pada *thrust bearing* yang terdapat pengaruh dari kondisi *slip*, pengaruh *surface texturing* berupa *open pocket*, dan pengaruh pemodelan kavitasi terhadap performa bantalan itu sendiri dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

## 2. Deskripsi Analisis

Pada penelitian kali ini akan disimulasikan tentang kasus *open pocket thrust bearing* dengan faktor-faktor untuk menganalisisnya sebagai berikut.

### 2.1 Persamaan Pembangun

Pada penelitian ini, fluida diasumsikan *steady, incompressible* dengan sifat-sifat fisik konstan. Aliran diasumsikan laminar. Berdasarkan asumsi-asumsi ini, persamaan pembangun yang digunakan pada pemodelan CFD pada penelitian ini adalah persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan energi.

Dalam pengujian simulasi penelitian ini, nantinya akan dipengaruhi dengan pemodelan kavitasi. Dimana, kavitasi itu adalah kondisi saat tekanan pelumas turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan terjadi perubahan fasa dari *liquid* menjadi *vapor*. Maka persamaan pembangun kondisi kavitasi yang digunakan adalah persamaan liquid-gas transport. Untuk pemodelan CFD, kondisi kavitasi pada penelitian kali ini menggunakan model kavitasi Schnerr-Sauer.

### 2.2 Viskositas

Jika lapisan fluida bergerak relatif terhadap satu sama lain, maka akan terbentuk gaya gesek. Gaya gesek ini mengakibatkan lapisan yang bergerak lebih lambat cenderung menghambat lapisan yang bergerak lebih cepat. Hambatan internal fluida terhadap pergerakan atau "fluiditas", dapat diukur oleh properti fluida yang disebut viskositas. Viskositas terbentuk karena adanya gaya kohesi antara molekul pada zat cair atau tumbukan antar molekul pada gas. Viskositas adalah sifat yang menentukan besar daya tahan fluida terhadap gaya geser [6].

Salah satu hal yang perlu diperhatikan tentang pelumasan adalah viskositasnya, sifat ini dimiliki oleh setiap zat cair. Viskositas dari pelumas bervariasi dengan adanya perubahan temperatur, dalam kenyataannya suatu fluida umumnya akan mengalami penurunan nilai viskositas dengan adanya kenaikan temperatur. Perubahan nilai viskositas terhadap kenaikan suhu merupakan suatu hal yang penting untuk dipertimbangkan di dalam berbagai jenis penerapan minyak pelumas (oli) [7].

Pada perangkat model CFD untuk menentukan viskositas sebagai fungsi temperatur sebagai acuan mencari distribusi termal pada pemodelan dibutuhkan persamaan-persamaan yang tersedia di perangkat lunak tersebut.

### 2.3 Perpindahan Panas karena Adanya Aktivitas Friksi

Perpindahan panas pada celah sempit *bearing* terjadi karena adanya aktivitas friksi ketika bergesekan antara fluida dengan dinding permukaan *bearing*.

Disipasi energi adalah proses gesekan terdapat perbedaan kecepatan antar permukaan sehingga energi mekanik diubah menjadi energi panas yang mengakibatkan temperatur pada permukaan *bearing* meningkat [8].

### 2.4 Fenomena Slip

Kondisi *no-slip* sering diasumsikan secara umum sebagai kondisi batas pada interaksi *solid* dengan *liquid*. Hal ini menyatakan bahwa fluida yang berbatasan memiliki kecepatan relatif yang sama terhadap permukaan *solid* [9].

Hipotesa bahwa *slip* mampu mengurangi gesekan dengan cara mengatur permukaan bersifat heterogen, yaitu sebagian permukaan dikondisikan *slip*. Persamaan *Reynolds* termodifikasi dengan *slip* dipecahkan dengan metode elemen hingga. Hasil simulasi menunjukkan bahwa permukaan *slip* heterogen mampu memberikan performansi pelumasan lebih baik dibandingkan permukaan *no-slip* [10].

### 2.5 Pengaruh Kavitasasi pada Bearing

Memodelkan adanya kavitasasi saat tekanan pada lapisan fluida turun pada tingkat tertentu. Secara umum mekanisme kavitasasi meliputi dua hal [11]:

1. Saat tekanan turun di bawah tekanan atmosfer, kemampuan udara untuk larut di dalam fluida berkurang, sehingga udara muncul pada lapisan fluida dan membentuk kavitasasi.
2. Saat tekanan pelumas turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan terjadi perubahan fasa dari *liquid* menjadi *vapor*.

Akan tetapi, fenomena bentuk film pada pelumas telah diteliti ketika tekanan pelumas turun sedikit di bawah tekanan atmosfer. Dengan pertimbangan tekanan jenuh pelumas jauh di bawah tekanan atmosfer. Kavitasasi menghasilkan efek yang cukup signifikan terhadap load support dan performansi gesekan. Oleh karena itu, efek dari kavitasasi juga diperhitungkan [12].

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Kondisi Batas

Penelitian ini menggunakan desain geometri permukaan yang bergerak yaitu rotor serta permukaan yang diam yaitu stator. Adapun spesifikasi geometri thrust bearing yang digunakan pada kasus ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan pada Tabel 2 menunjukkan kondisi batas yang digunakan.

**Tabel 1.** Spesifikasi geometri thrust bearing

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<b>Geometri thrust bearing</b>			
Lebar	$B$	20	mm
Outer Diameter	$D_0$	90	mm
Inner Diameter	$D_i$	50	mm
Ketebalan film	$H_{min}$	15, 20,30,50,80	$\mu\text{m}$
<b>Desain tekstur open pocket</b>			
Kedalaman pocket	$H_d$	20	$\mu\text{m}$
Lebar pocket	$B_p$	15	mm
Outer diameter pocket	$D_{op}$	85	mm
Inner diameter pocket	$D_{ip}$	55	mm
Sudut pocket	$a_p$	29	deg

**Tabel 2.** Kondisi batas pada thrust bearing

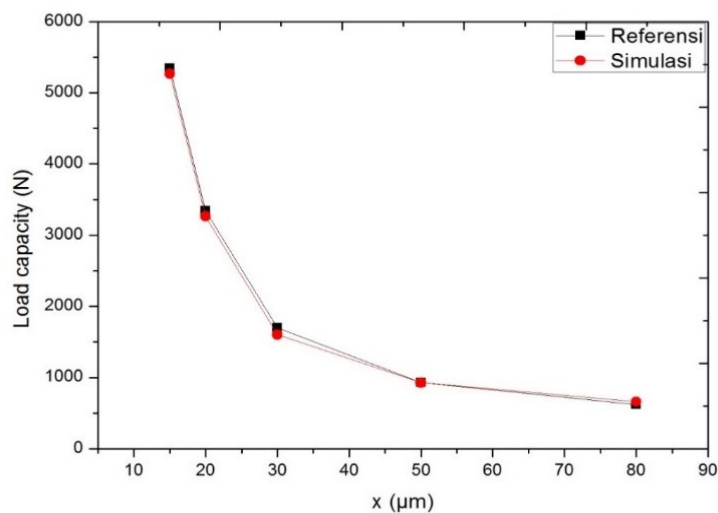
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<b>Kondisi pengoperasian</b>			
<i>Rotational speed</i>	$N$	2000	rpm
<i>Temperatur oil inlet</i>	$T_i$	40	°C
<i>Pressure oil inlet</i>	$P_i$	0.1	Mpa
<i>Pressure oil outlet</i>	$P_o$	0	Mpa
<b>Karakteristik lubricant</b>			
<i>Oil viscosity</i>	$\mu_{40^\circ\text{C}}$	0.0416	Pa.s
	$\mu_{80^\circ\text{C}}$	0.0105	
<i>Oil density</i>	$\rho$	870	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Specific heat capacity of oil</i>	$C_p$	2000	J/Kg.K
<i>Thermal conductivity of oil</i>	$\lambda_f$	0.13	W/m.K
<i>Viscosity of oil vapor</i>	$\mu_v$	$6.5 \times 10^{-5}$	Pa.s
<i>Density of oil vapor</i>	$\rho_v$	0.824	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Specific heat capacity of oil vapor</i>	$C_{pv}$	2170	J/Kg.K
<i>Thermal conductivity of oil vapor</i>	$\lambda_{fv}$	0.126	W/m.K
<i>Saturation pressure of vapor</i>	$P_v$	800	Pa

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Validasi

Dalam pemodelan ini dibutuhkan sebuah perbandingan yang dapat dijadikan acuan bahwa analisis yang dilakukan telah benar dan sesuai. Analisis yang telah dikerjakan oleh Fouflias dkk (2014) dijadikan sebagai acuan dalam validasi dengan kondisi pemodelan *open pocket thrust bearing* dengan kondisi *No Slip* dan pada keadaan *non* kavitasi.

Berdasarkan pemodelan kasus validasi, didapat hasil perbandingan kontur tekanan, kontur temperatur, dan grafik *load support*. Perbandingan kontur tekanan ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan kontur distribusi temperatur pada kasus validasi. Gambar 1 menunjukkan hasil perbandingan grafik nilai *load support* pada kasus validasi.



Gambar 1. Grafik perbandingan nilai *load support* pada kasus validasi.

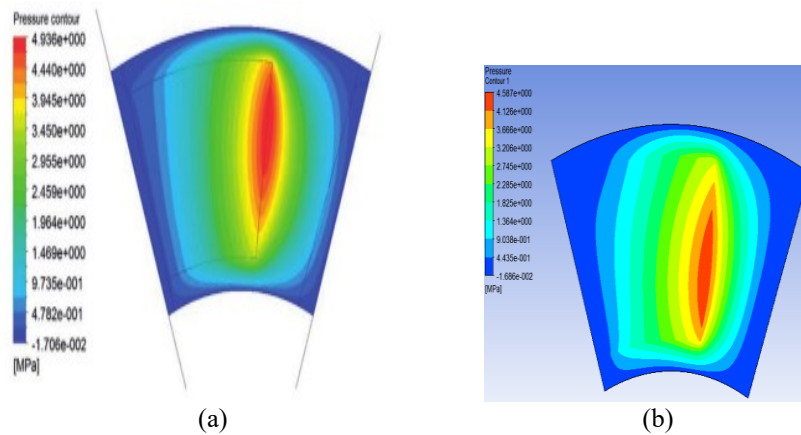
##### 4.2 Pendefinisian Variasi Kasus Permasalahan *Thrust Bearing*

Setelah berhasil melakukan validasi terhadap penelitian yang dilakukan oleh Fouflias dkk, 2014. Maka, dalam penelitian ini akan melakukan beberapa variasi permasalahan pada model *thrust bearing*. Pendefinisian variasi kasus permasalahan *thrust bearing* dapat dilihat pada Tabel 3.

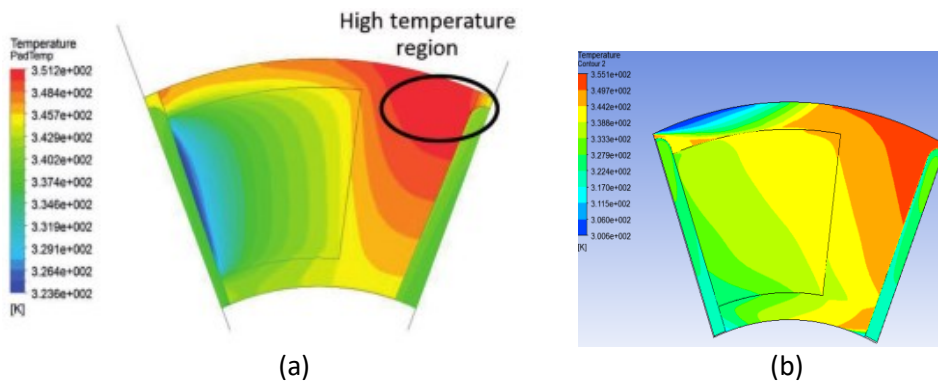
Tabel 3. Pendefinisian Variasi Kasus Permasalahan *Thrust Bearing*

No	Deskripsi Keterangan
----	----------------------

1	Kasus <i>open pocket thrust bearing</i> dengan kondisi <i>no-slip</i> , keadaan kavitasi dan <i>non</i> kavitasi dengan variasi $H_{min} = 15 \mu\text{m}, 20 \mu\text{m}, 30 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}, 80 \mu\text{m}$ dan $H_d = 20 \mu\text{m}$ .
2	Kasus <i>open pocket thrust bearing</i> dengan kondisi <i>slip</i> pada bagian <i>pocket</i> , keadaan kavitasi dan <i>non</i> kavitasi dengan variasi $H_{min} = 15 \mu\text{m}, 20 \mu\text{m}, 30 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}, 80 \mu\text{m}$ dan $H_d = 20 \mu\text{m}$
3	Kasus <i>smooth thrust bearing</i> dengan kondisi <i>slip</i> , keadaan kavitasi dan <i>non</i> kavitasi dengan variasi $H_{min} = 15 \mu\text{m}, 20 \mu\text{m}, 30 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}, 80 \mu\text{m}$ dan $H_d = 20 \mu\text{m}$ .



**Gambar 2.** Perbandingan kontur distribusi tekanan pada kasus validasi *open pocket thrust bearing*, (a) kontur distribusi tekanan referensi Fouflias dkk, 2014, (b) kontur distribusi tekanan pada pengujian.

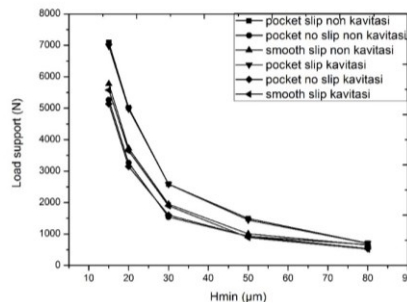


**Gambar 3.** Perbandingan kontur distribusi temperatur pada kasus validasi *open pocket thrust bearing*, (a) kontur distribusi temperatur referensi Fouflias dkk, 2014, (b) kontur distribusi temperatur pada pengujian simulasi.

#### 4.2 Hasil Kasus Permasalahan *Thrust Bearing*

Berdasarkan variasi kasus *thrust bearing* dengan parameter geometri dan kondisi batas yang digunakan yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, didapat hasil perbandingan *load support*, *friction*, distribusi tekanan, dan distribusi temperatur pada setiap kasusnya.

Berikut ini adalah perbandingan hasil pada semua variasi kasus *thrust bearing*, Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan *load support* pada keadaan *non*-kavitasi dan keadaan *non* kavitasi pada kasus *thrust bearing*.

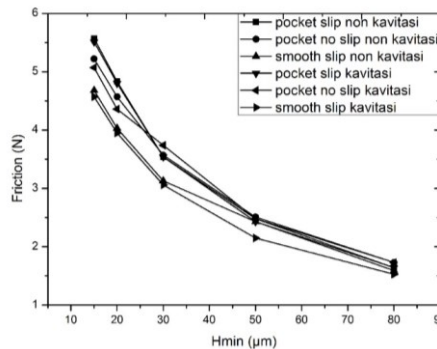


**Gambar 4.** Perbandingan nilai *load support* pada kasus *thrust bearing*.

Berdasarkan Gambar 4 hasil perbandingan nilai *load support* menunjukkan bahwa nilai *load support* maksimum terdapat pada  $H_{min} 15 \mu\text{m}$ , serta nilai *load support* akan turun seiring dengan bertambahnya  $H_{min}$ . Kemudian untuk nilai *load support* pada keadaan *non*-kavitasi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan kavitasi

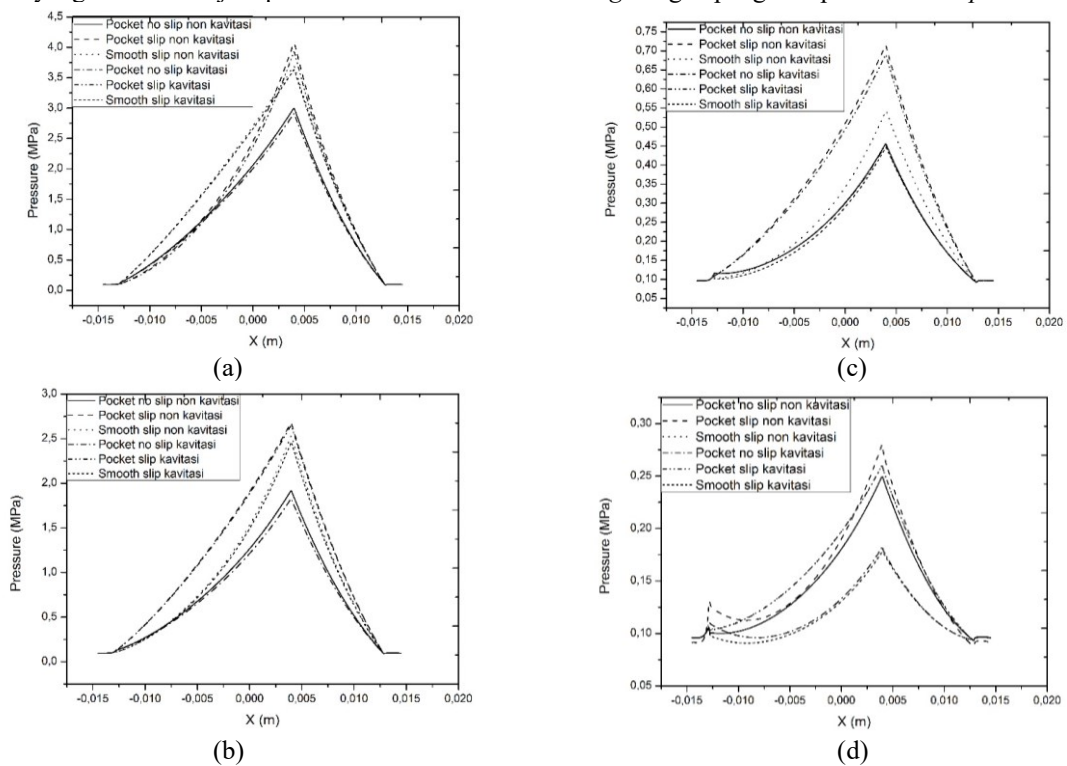
pada setiap kasusnya, serta untuk nilai *load support* tertinggi terjadi pada kasus *open pocket thrust bearing* dengan pengaruh permukaan *slip*, kemudian disusul pada kasus *smooth thrust bearing* dengan pengaruh permukaan *slip*, dan yang terendah terjadi pada kasus *open pocket thrust bearing* dengan permukaan *no-slip*.

Kemudian, Gambar 5 berikut ini menunjukkan grafik perbandingan *friction* pada keadaan kavitasi dan keadaan *non* kavitasi pada kasus *thrust bearing*.



**Gambar 5.** Perbandingan nilai *friction* pada kasus *thrust bearing*.

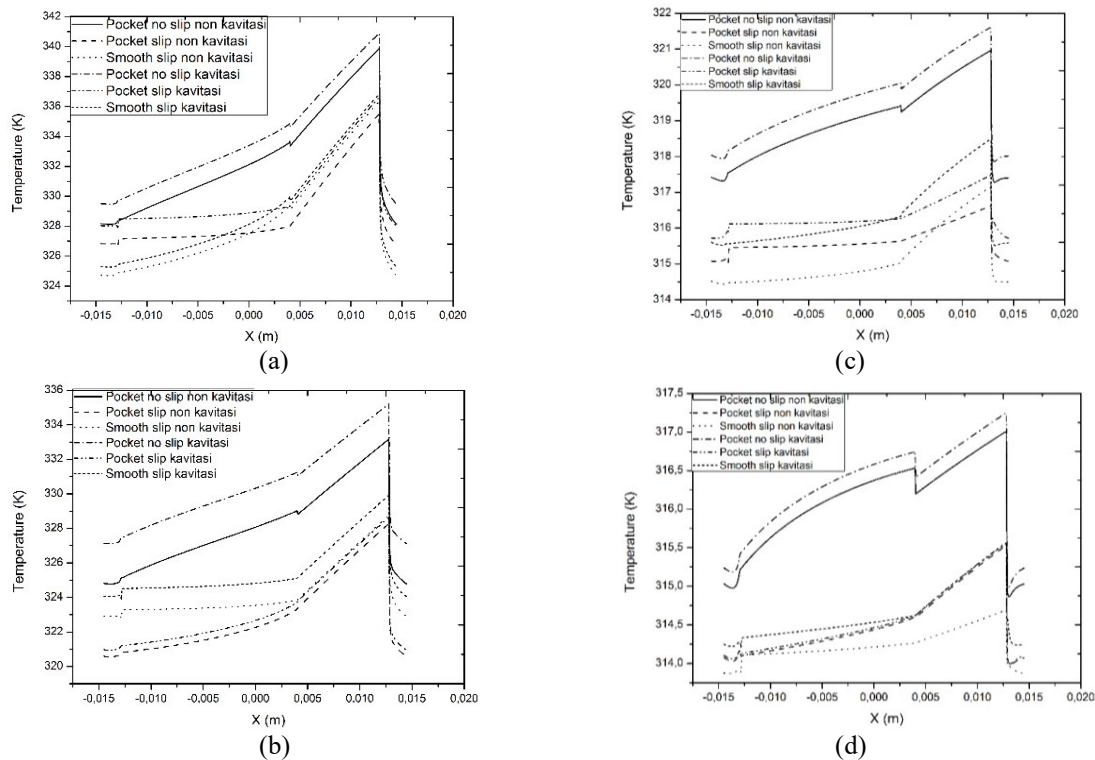
Berdasarkan Gambar 5 hasil perbandingan nilai *friction* menunjukkan bahwa nilai *friction* maksimum terdapat pada *Hmin* 15 µm, serta nilai *friction* akan turun seiring dengan bertambahnya *Hmin*. Kemudian untuk nilai *friction* pada keadaan *non*-kavitasi sebagian besar memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan kavitasi pada setiap kasusnya, serta untuk nilai *friction* tertinggi pada saat kondisi maksimumnya terjadi pada kasus *open pocket thrust bearing* dengan pengaruh permukaan *slip*, kemudian disusul pada kasus *open pocket thrust bearing* dengan permukaan *no-slip*, dan yang terendah terjadi pada kasus *smooth thrust bearing* dengan pengaruh permukaan *slip*.



**Gambar 6.** Perbandingan nilai distribusi tekanan pada kasus *thrust bearing*, (a) nilai distribusi tekanan pada kasus *thrust bearing* *Hmin* 15 µm, (b) nilai distribusi tekanan kasus *thrust bearing* *Hmin* 20 µm, (c) nilai distribusi tekanan kasus *thrust bearing* *Hmin* 50 µm, (d) nilai distribusi tekanan kasus *thrust bearing* *Hmin* 80 µm.

Berdasarkan Gambar 6 hasil perbandingan distribusi tekanan *Hmin* 15, 20, 50, dan 80 µm pada kasus *thrust bearing* menunjukkan bahwa nilai tekanan maksimum keadaan *non* kavitasi lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan maksimum keadaan kavitasi pada setiap kasusnya dengan nilai tertinggi adalah kasus *open pocket thrust bearing*

dengan permukaan *slip*, disusul dengan kasus *smooth slip thrust bearing* dan yang terendah adalah kasus *open pocket thrust bearing* dengan permukaan *no-slip*.



**Gambar 7.** Perbandingan nilai distribusi temperatur kasus *thrust bearing*, (a) nilai distribusi temperatur kasus *thrust bearing*  $H_{min}$  15  $\mu\text{m}$ , (b) nilai distribusi temperatur kasus *thrust bearing*  $H_{min}$  20  $\mu\text{m}$ , (c) nilai distribusi temperatur kasus *thrust bearing*  $H_{min}$  50  $\mu\text{m}$ , (d) nilai distribusi temperatur kasus *thrust bearing*  $H_{min}$  80  $\mu\text{m}$ .

Berdasarkan Gambar 7 hasil perbandingan distribusi temperatur  $H_{min}$  15, 20, 50, dan 80  $\mu\text{m}$  pada kasus *thrust bearing* menunjukkan bahwa nilai temperatur maksimum keadaan kavitasi lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan maksimum keadaan *non* kavitasi pada setiap kasus dengan nilai tertinggi adalah kasus *open pocket thrust bearing* dengan permukaan *no-slip*, disusul dengan kasus *smooth slip thrust bearing* dan yang terendah adalah kasus *open pocket thrust bearing* dengan permukaan *slip*. Hasil dari distribusi temperatur ini menunjukkan hasil yang berkebalikan dengan hasil distribusi tekanan.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi numerik analisa optimasi daya dukung beban slider bearing pada single, double dan multi tekstur adalah sebagai berikut:

- Karakteristik *thermal* pada setiap kasus dalam penelitian ini menghasilkan nilai distribusi temperatur *open pocket thrust bearing* yang tinggi untuk kondisi *no-slip*, sedangkan untuk tekanan, *load support* dan *friction* memiliki nilai yang lebih rendah.
- Pengaruh kondisi batas *slip* menghasilkan nilai *load support* dan distribusi tekanan lebih baik dibandingkan kondisi *no-slip* pada kasus *thrust bearing*.
- Pengaruh pemodelan kavitasi menghasilkan nilai *load support*, tekanan, dan *friction* lebih kecil dibandingkan dengan kondisi *non*-kavitasi. Sedangkan, untuk nilai distribusi temperatur kondisi kavitasi memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding kondisi *non* kavitasi.

## Daftar Pustaka

- [1] Juvinall, R.C., Marshek, K.M., 2012, “*Fundamentals of machine component design 5<sup>th</sup> ed.*” USA: John Willey and Sons, Inc.
- [2] Lin, Q., Wei, Z., Tang, Y., 2012, “*Numerical Study On Shear Flow In Sliding Bearing With Partial Slip Surface,*” *Procedia CIRP* 3, 197-202.
- [3] Syed, I., & Sarangi, M., 2013, “*Hydrodynamic Lubrication With Deterministic Micro Textures Considering Fluid Inertia Effect.*” *Tribology International*, 69: 30–38.



- [4] Vakilian, M., Nassab, S.A.G., & Kheirandish, Z., 2013, “*CFD-Based Thermohydrodynamic Analysis Of Rayleigh Step Bearings Considering An Inertia Effect*,” Tribology Transactions 57: 123–133.
- [5] Dimitrios G Fouflias, 2014, “*Performance Comparison Between Textured, Pocket, And Tapered-Land Sector-Pad Thrust Bearings Using Computational Fluid Dynamics Thermohydrodynamic Analysis*,” Journal of Engineering Tribology. Institution of Mechanical Engineers.
- [6] Munson, B.R., 2010, “*Fundamentals Of Fluids Mechanics 6th Edition*,” USA: John Wiley.
- [7] Parenden, D., 2012, “*Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Minyak Pelumas*. Jurnal Ilmiah Mustek Anim 1(3).
- [8] Kennedy, F.E., 2001, “*Frictional Heating And Contact Temperatures. Modern Tribology Handbook*,” Dartmouth College 6.
- [9] Wu, C. W., Ma, G. J., Zhou, P., & Wu, C. D., 2006, “*Low Friction And High Load Support Capacity Of Slider Bearing With A Mixed Slip Surface*,” Journal of Tribology 128(4): 904–907.
- [10] Tauviqirrahman, M., Schipper, D.J. & Ismail, R., 2011, “*Aplikasi Slip Untuk Mengurangi Gesekan Pada Bantalan*,” Prosiding SNST Fakultas Teknik, 1(1).
- [11] Xi Shi & Ting Ni., 2011, “*Effects Of Groove Textures On Fully Lubricated Sliding With Cavitation*.”
- [12] Lin, Q., & Li, B., 2015, “*Comparison Of The Influences Of Surface Texture And Boundary Slip On Tribological Performances*,” Mathematical Problems in Engineering.