

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN PUTARAN PADA PELUMASAN *ELASTOHYDRODYNAMIC MULTISTEP JOURNAL BEARING* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DAN *FLUID-STRUCTURE INTERACTION*

* Yusuf Muhammad Rizki¹, Muchammad², Mohammad Tauviqirrahman²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

² Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: yusuf rizki2431@gmail.com

Abstrak

Journal bearing merupakan sebuah elemen mesin yang digunakan untuk menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbunya. Meningkatnya permintaan untuk aplikasi *journal bearing* pada mesin-mesin berkecepatan tinggi yang efisien dan ekonomis mengakibatkan perlunya peningkatan terhadap performa tribologi *journal bearing*. Untuk itu, dilakukan penelitian menggunakan fluida Newtonian dengan variasi geometri *multistep journal bearing* pada berbagai kecepatan putar. Analisis dilakukan menggunakan *journal bearing* permodelan 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) – *Fluid Solid Interaction* (FSI). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian tekstur *multistep journal bearing* berpengaruh terhadap performa *tribology journal bearing*. Selain itu, perubahan nilai kecepatan putar pada poros yang digunakan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa tribologi dari pelumasan *journal bearing*.

Kata kunci: *computational fluid dynamics; kecepatan putar; multistep journal bearing*

Abstract

Journal bearing is a machine element that is used to keep the shaft always rotating about its axis. The increasing demand for *journal bearing* applications in high speed machines that are efficient and economical has resulted in the need for improvements to the tribological performance of *journal bearings*. For this reason, research was carried out using Newtonian fluids with variations in the geometry of *multistep journal bearings* at various rotational speeds. The analysis was carried out using a *journal bearing* modeling 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) – *Fluid Solid Interaction* (FSI). The results of this study indicate that the *multistep journal bearing* texture has an effect on the *tribology journal bearing* performance. In addition, changes in the value of the rotational speed of the shaft used have a significant effect on the tribological performance of *journal bearing* lubrication.

Keywords: *computational fluid dynamics; multistep journal bearing; rotation speed*

1. Pendahuluan

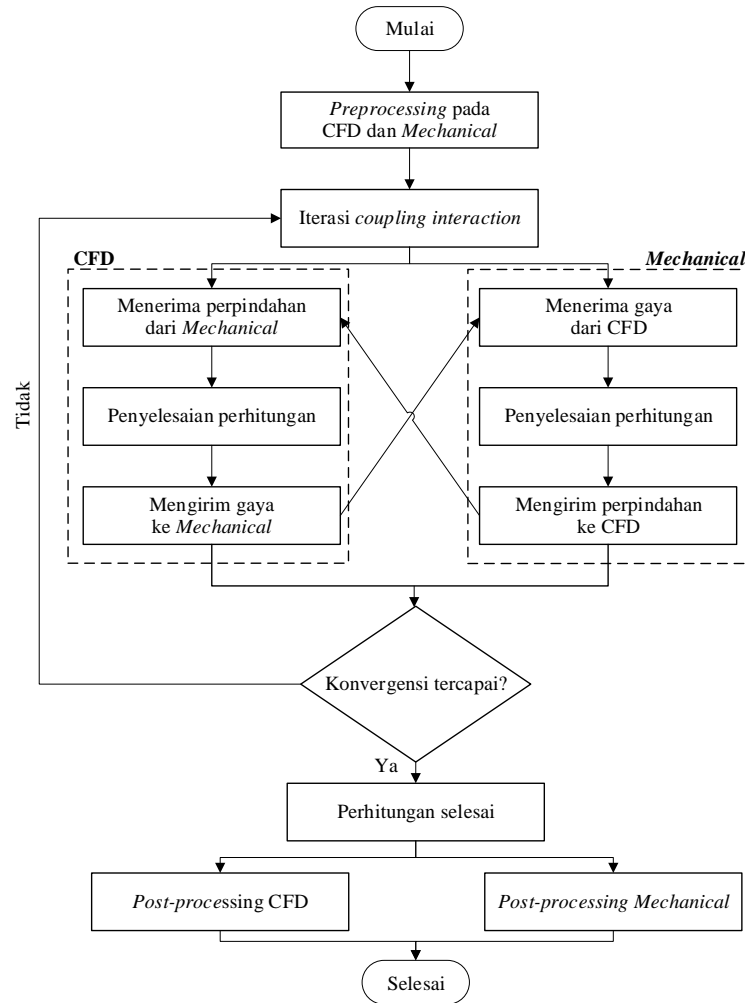
Journal bearing merupakan satu diantara elemen mesin dari berbagai jenis industri dimana aplikasinya sebagai penahan poros yang berputar [1]. Fungsinya menahan beban antara rotor dan kasing dengan keausan yang sangat kecil [2]. Pada kecepatan tinggi, akan menaikkan suhu yang menurunkan viskositas pelumas karena panas yang dihasilkan akibat laju geser yang besar dalam film pelumas [3]. Ilmuan di bidang nanomechanics dan biomimetics mempertimbangkan modifikasi permukaan *bearing* dan pengaplikasiannya [4].

Multistep journal bearing merupakan pemodelan tekstur yang paling sederhana jika dibandingkan tekstur yang lainnya [5]. *Multistep journal bearing* memakai tekanan fluida yang terbentuk karena ada kecepatan pada dinding poros [6]. Sebagian literatur yang memodelkan adanya kavitasi saat tekanan pada lapisan fluida turun pada tingkat tertentu [7]. Menurut Li, dkk. [8] kavitasi menghasilkan efek terhadap daya dukung beban dan performansi gesekan.

Poros engkol mesin *Internal Combustion* (IC) memiliki keausan yang rendah dengan bahan paduan Al-Si dimana memiliki tinggi konten berbasis besi sehingga berpengaruh dalam mengurangi keausan dan gesekan [9]. Metalurgi dan sejarah logam proses ekstraksi dan logam keras berada dalam dua subbagian terpisah. Dalam keluarga bahan *nonferrous* subdivisi didasarkan pada kepentingan dan penggunaan [10]. Gwidon W Stachowiak dkk. [11] menjelaskan dampak suhu tinggi dan ketahanan aus yang memiliki koefisien gesekan yang buruk ketika tidak dilumasi.

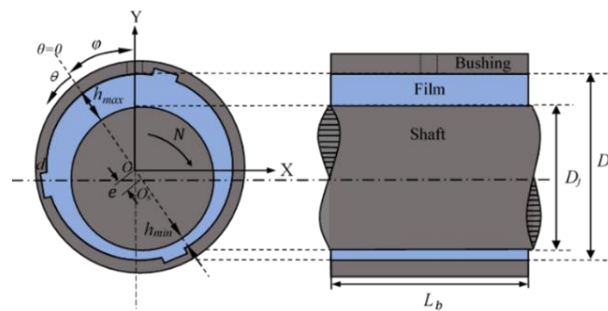
2. Dasar Teori dan Metodologi

Fluid-Structure Interaction (FSI) adalah metode yang dapat menggambarkan interaksi antara beberapa struktur elastis yang bergerak ataupun terdeformasi elastis akibat pengaruh dari aliran fluida internal maupun eksternal [12].



Gambar 1. Diagram Alir Metode *Fluid–Structure Interaction* [13]

Pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh pemberian tekstur *multistep* pada *journal bearing*. Jenis *multistep* yang digunakan berdasarkan *paper* Bompos dan Nikolakopoulos [5]. Selain sebagai penentu posisi sudut *multistep groove*, *paper* acuan digunakan juga sebagai referensi pada pembahasan hasil setelah dilakukannya simulasi.



Gambar 2. Skema Geometri *Multistep Journal Bearing*

Parameter dari *journal bearing*, yaitu dimensi dan karakteristik fluida pelumasan diadopsi dari jurnal Dhande dan Pande [13]. Parameter *journal bearing* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter *journal bearing* [13].

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Bearing</i>			
Diameter <i>journal</i>	D_j	50	mm
Diameter <i>bushing</i>	D_b	50,1	mm

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
Panjang <i>journal</i>	L_b	25	mm
Radial clearance	c	0,05	mm
Rasio eksentrisitas	ε	0,8	-
Attitude Angle	φ	35	°
Kecepatan putar poros	ω	2.000; 3.000; 4.000; 5.000	Rpm
Sudut busur <i>step</i>	γ	30	°
Sudut antara <i>step</i>	β	90	°
Panjang <i>groove</i>	L_{groove}	25	mm
Tinggi <i>groove</i>	H_{groove}	0,3	mm
Oil (10W40 SAE)			
Massa jenis <i>oil liquid</i>	ρ_o	850	kg/m ³
Viskositas <i>oil liquid</i>	μ_o	0,0125	Pa.s
Massa jenis <i>oil vapour</i>	ρ_V	10,95	kg/m ³
Viskositas <i>oil vapour</i>	μ_V	2×10^{-5}	Pa.s
Tekanan saturasi <i>vapour</i>	P_{sat}	29.185	Pa
Shaft: Steel			
Modulus elastis	E_S	210	GPa
Densitas	ρ_S	7.850	kg/m ³
Poison ratio	ν_S	0,3	-
Bushing: Aluminium			
Modulus elastis	E_A	70	GPa
Densitas	ρ_A	2.700	kg/m ³
Poison ratio	ν_A	0,334	-

Pada kasus validasi ini, geometri serta metode *meshing* menggunakan ANSYS *Meshing Editor* untuk dapat menghasilkan *meshing* pada ANSYS 19.2. Kualitas dari *meshing* dapat dilihat dari factor *skewness* dan hasil *grid independency*.

Poros *journal bearing* bergerak dengan kecepatan ω 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 pada simulasi.

Domain	Kondisi batas	Condition
Fluid	<i>Inlet</i>	<i>Pressure inlet</i> (0 Pa)
	<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i> (0 Pa)
	<i>Stationary Wall</i>	-
	<i>Moving Wall</i>	2.000; 3.000; 4.000; 5.000
Solid	<i>Contact Pressure Stationary Wall</i>	<i>Fluid-Solid Interface - 1</i>
	<i>Contact Pressure Moving Wall</i>	<i>Fluid-Solid Interface - 2</i>

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

- a. 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* [14].

$$W = \iint_A p dA \quad (2.1)$$

- b. Gaya gesek didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing* [14].

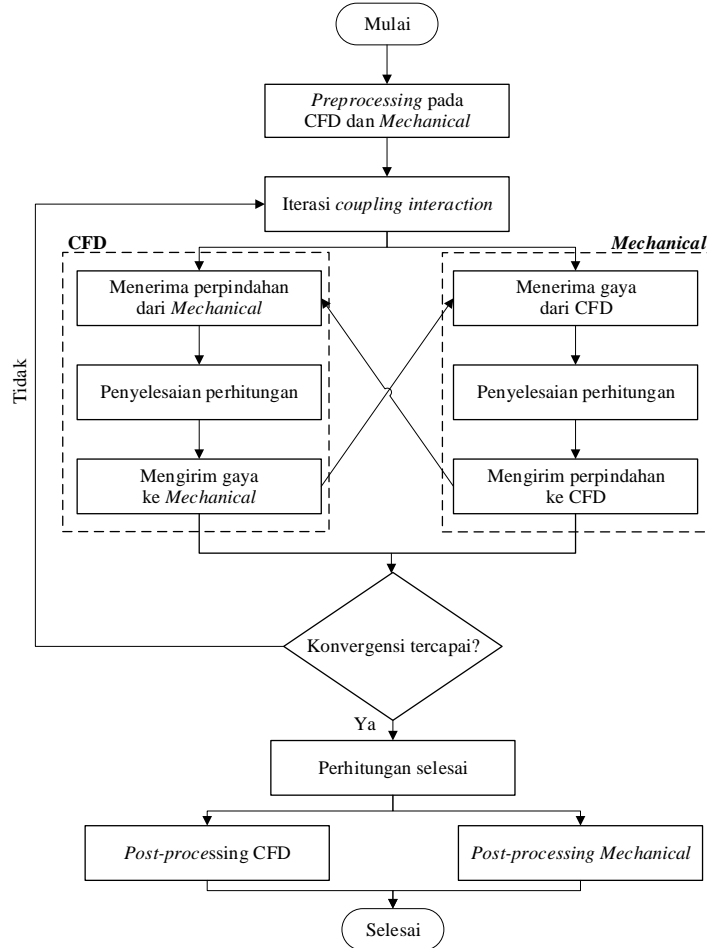
$$F_f = \iint_A \tau dA \quad (2.2)$$

c. *Acoustic power level* dapat diketahui dengan memperhitungkan daya per satuan volume yang muncul akibat adanya aliran turbulensi fluida [14].

$$L_p (dB) = 10 \log (W / W_{ref}) \quad (2.3)$$

$$W = a_e \rho \varepsilon \left(\frac{\sqrt{2k}}{c_0} \right)^5 \quad (2.4)$$

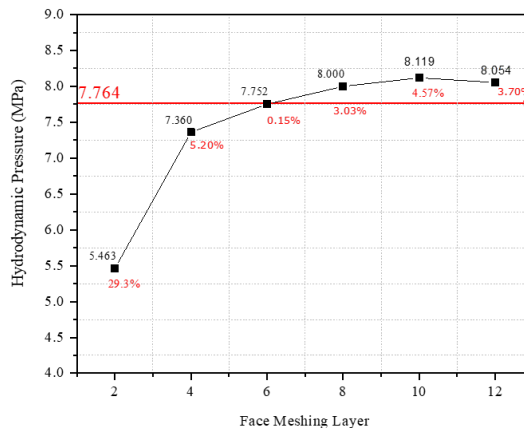
Diagram alir simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi.

3. Analisis dan Pembahasan

Pada simulasi dengan rasio eksentrisitas 0,8 dan kecepatan poros 4.000 RPM, didapatkan hasil yang stabil dan dengan mempertimbangkan agar waktu komputasi yang lebih sedikit maka digunakan 6 *face layer*, hal ini menjadi acuan konfigurasi meshing yang akan digunakan pada simulasi selanjutnya.



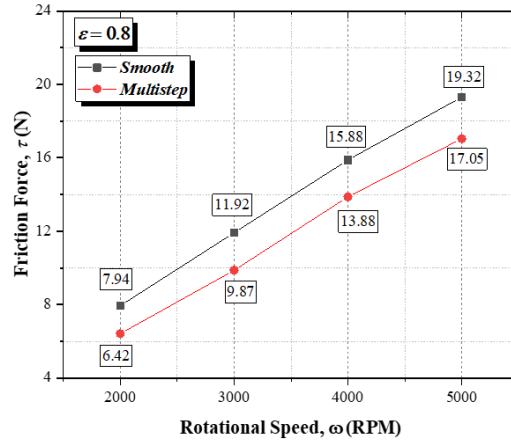
Gambar 4. Grid Independency Journal Bearing pada $\varepsilon = 0,8$, dengan kecepatan poros 4.000 RPM.

3.1 Hasil Simulasi *Multistep Groove* pada Performa *Journal Bearing* dengan Pemodelan Aliran Turbulen

Pada bab ini akan membahas pengaruh yang diberikan *multistep groove journal bearing* terhadap *smooth journal bearing*. Peningkatan performa yang dibahas antara lain adalah *friction force*, *load carrying capacity*, dan *average acoustic power level*.

3.1.1 *Friction Force*

Dari kasus ini, fenomena yang perlu diperhatikan adalah pengaruh dari penambahan *multistep groove* pada *journal bearing* terhadap *friction force* yang dihasilkan. Berikut adalah hasil dari simulasi.



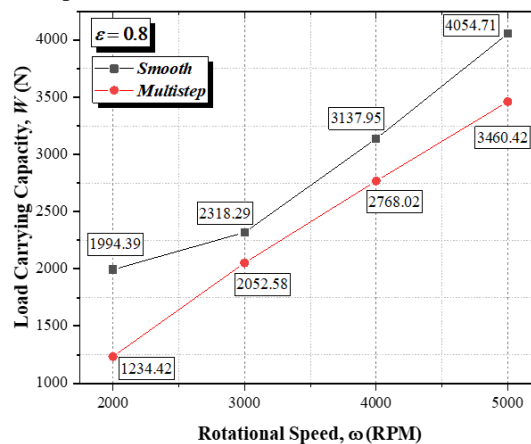
Gambar 5. Nilai Perbandingan *Friction Force Multistep Groove Journal Bearing* dengan *Smooth Journal Bearing* pada Tiap Kecepatan Putar.

Dari nilai *friction force* dapat dilihat bahwa *multistep journal bearing* memiliki nilai *friction force* lebih rendah dibandingkan dengan *smooth journal bearing*. Hal ini menunjukkan penambahan *multistep groove* pada *journal bearing* menurunkan nilai *friction force*.

Friction force menjadi penting untuk ditinjau karena parameter ini berkaitan dengan *power losses* pada *journal bearing* [5]. *Improvement* akan terjadi ketika nilai *friction force* pada *journal bearing* mengalami penurunan nilai.

3.1.2 *Load Carrying Capacity*

Selain ditinjau dari nilai *friction force*, performa pelumasan juga dapat dilihat dari *load carrying capacity* (LCC) yang dihasilkan dari perhitungan integral tekanan di seluruh permukaan lapisan fluida. Berikut merupakan grafik *load carrying capacity* (LCC) yang ditunjukkan pada Gambar 6.

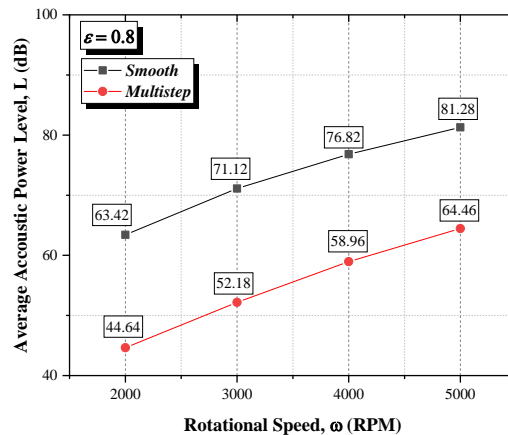


Gambar 6. Diagram Batang *Load Carrying Capacity Multistep Groove & Smooth Journal Bearing*.

Dapat dilihat dari Gambar 6 diatas, bahwa diagram *load carrying capacity* (LCC) yang dihasilkan *multistep groove journal bearing* lebih rendah dibandingkan dengan *smooth journal bearing*. Hal ini menunjukkan penambahan *multistep groove* pada *journal bearing* menurunkan *load carrying capacity* (LCC) [1].

3.1.3 *Average Acoustic Power Level* (dB)

Performa pelumasan lainnya juga dapat dilihat dari *average acoustic power level* (dB). Berikut hasil yang didapatkan.



Gambar 7. Diagram Batang Average Acoustic Power Level (dB) pada Multistep Groove & Smooth Journal Bearing

Dari hasil *average acoustic power level* (dB) dapat dilihat bahwa *multistep journal bearing* memiliki nilai *average acoustic power level* (dB) lebih rendah dibandingkan dengan *smooth journal bearing*. Hal ini menunjukkan penambahan *multistep groove* pada *journal bearing* menurunkan nilai *average acoustic power level* (dB).

Perhitungan *average acoustic power level* dengan *multistep journal bearing* memiliki nilai lebih rendah daripada *smooth journal bearing* yang disebabkan oleh pemberian *tekstur multistep* [15].

4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Pemberian *tekstur multistep* pada *journal bearing* akan mempengaruhi performa *tribology journal bearing*.
2. Pengaruh kecepatan putar pada *journal bearing* memainkan peran yang signifikan.

5. Referensi

- [1] Y. Chen, Y. Sun, Q. He, and J. Feng, "Elastohydrodynamic Behavior Analysis of Journal Bearing Using Fluid–Structure Interaction Considering Cavitation," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 1305–1320, 2019, doi: 10.1007/s13369-018-3467-9.
- [2] E. Malcom and P. Leader, "Understanding Journal Bearings," *Applied Machinery Dynamics Co*, 2001. .
- [3] M. Sahu, A. K. Giri, and A. Das, "Thermohydrodynamic Analysis of a Journal Bearing Using CFD as a Tool," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 2, no. 9, pp. 1–7, 2012.
- [4] X. Lu and M. M. Khonsari, "An experimental investigation of dimple effect on the stribeck curve of journal bearings," *Tribol. Lett.*, vol. 27, no. 2, pp. 169–176, 2007, doi: 10.1007/s11249-007-9217-x.
- [5] D. A. Bompos and P. G. Nikolakopoulos, "Tribological design of a multistep journal bearing," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 68, pp. 18–32, 2016, doi: 10.1016/j.simpat.2016.07.002.
- [6] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of Machine Component and Design*. 2012.
- [7] X. Shi and T. Ni, "Tribology International Effects of groove textures on fully lubricated sliding with cavitation," *Tribology Int.*, vol. 44, no. 12, pp. 2022–2028, 2011, doi: 10.1016/j.triboint.2011.08.018.
- [8] Q. Lin, Q. Bao, K. Li, M. M. Khonsari, and H. Zhao, "An investigation into the transient behavior of journal bearing with surface texture based on fluid-structure interaction approach," *Tribol. Int.*, vol. 118, pp. 246–255, 2018, doi: 10.1016/j.triboint.2017.09.026.
- [9] M. Voong, A. Neville, and R. Castle, "The compatibility of crankcase lubricant-material combinations in internal combustion engines," *Tribol. Lett.*, vol. 15, no. 4, pp. 431–441, 2003, doi: 10.1023/B:TRIL.0000003066.97141.2e.
- [10] S. Mridha, "Metallic Materials," *Ref. Modul. Mater. Sci. Mater. Eng.*, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1016/b978-0-12-803581-8.04097-2.
- [11] A. W. B. Gwidon W. Stachowiak, "Wear of NonMetallic Materials," *Eng. Tribol.*, vol. 24, pp. 715–771, 1993, doi: 10.1016/s0167-8922(08)70590-x.
- [12] H. J. Bungartz and M. Schäfer, *Fluid-structure interaction: Modelling, Simulation, Optimisation*, vol. 53. 2006.
- [13] D. Y. Dhande and D. W. Pande, "A two-way FSI analysis of multiphase flow in hydrodynamic journal bearing with cavitation," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 9, pp. 3399–3412, 2017, doi: 10.1007/s40430-017-0750-8.
- [14] 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.
- [15] F. M. Meng and W. Zhang, "Effects of Compound Groove Texture on Noise of Journal Bearing," *J. Tribol.*, vol. 140, no. 3, 2018, doi: 10.1115/1.4038353.