

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA TRIBOLOGI *PLAIN JOURNAL BEARING* TERHADAP PENGARUH JENIS TURBULEN DAN DAYA KOMPUTASI PADA SIMULASI

*Bobby Martius Simarmata¹, Muchammad², Mohammad Tauviquirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: bobs.martinus20simarmata@gmail.com

Abstrak

Bearing adalah salah satu komponen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua permukaan yang bergerak relatif satu sama lain. Fungsi utama dari *bearing* adalah untuk mendukung beban mekanis dan membantu pergerakan relatif yang lancar antara dua komponen mesin yang berputar atau bergerak secara linear. *Bearing* sangat sering digunakan pada dunia industri, dan salah satu jenis *bearing* yang sering digunakan tersebut adalah *journal bearing* yang digunakan agar menjaga poros selalu berputar pada sumbunya. *Bearing* memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari mesin – mesin yang ada di pabrik, kendaraan, turbin pesawat, hingga peralatan medis. Seiring berkembangnya teknologi dan kebutuhan dalam efisiensi komponen-komponen mesin, menuntut adanya peningkatan performa dari *journal bearing*. Adanya peningkatan kebutuhan mesin-mesin yang berkecepatan tinggi dan bertekanan tinggi, mengakibatkan peningkatan distribusi tekanan, temperatur, dan gesekan. Untuk meningkatkan performa tribologi tersebut, dilakukan analisis distribusi tekanan, temperatur, gaya gesekan, daya dukung beban, fenomena kavitasi, dan daya dukung beban telah diajukan berbagai penelitian oleh ilmuwan pada *journal bearing*. Pada penelitian tugas akhir ini akan membahas performa tribologi dari *plain journal bearing* dan *multistep journal bearing* dengan menggunakan beberapa jenis aliran turbulen serta membandingkan daya komputasi dari jenis-jenis turbulen yang dipakai untuk menganalisa performa tribologi *plain journal bearing* dan *multistep journal bearing*. Hasil penelitian dari tugas akhir ini menunjukkan bahwa pada setiap aliran jenis turbulen pada *plain journal bearing* dan *multistep journal bearing* yang digunakan untuk menganalisa performa tribologi memiliki perbedaan dan peningkatan performa yang signifikan. Perbedaan tersebut terjadi dipengaruhi oleh pemilihan model aliran turbulen yang tepat dari simulasi yang digunakan.

Kata kunci : *cfd*; *multistep journal bearing*; *pemodelan turbulen*; *performa tribology*; *plain journal bearing*

Abstract

Bearings are one of the machine components that function to reduce friction between two surfaces that move relative to each other. The main function of bearings is to support mechanical loads and assist smooth relative movement between two machine components that rotate or move linearly. Bearings are very often used in the industrial world, and one type of bearing that is often used is a *journal bearing* which is used to keep the shaft always rotating on its axis. Bearings have a very important role in various industrial applications, ranging from machines in factories, vehicles, aircraft turbines, to medical equipment. As technology develops and the need for efficiency of machine components demands an increase in the performance of journal bearings. There is an increase in the need for high-speed and high-pressure machines, resulting in an increase in pressure distribution, temperature and friction. To improve the tribological performance, analysis of the distribution of pressure, temperature, friction force, load carrying capacity, cavitation phenomena, and load carrying capacity has been proposed by various scientists in bearing journals. In this final research assignment, we will discuss the tribological performance of *plain journal bearings* and *multistep journal bearings* using several types of turbulent flow and compare the computing power of the types of turbulence used to analyze the tribological performance of *plain journal bearings* and *multistep journal bearings*. The research results from this final project show that each type of turbulent flow in *plain journal bearings* and *multistep journal bearings* used to analyze tribological performance has significant differences and performance improvements. This difference occurs due to the selection of the appropriate turbulent flow model from the simulation used.

Keywords : *cfd*; *multistep journal bearing*; *turbulent modeling*; *tribological performance*; *multistep journal bearing*

1. Pendahuluan

Bearing merupakan elemen mesin yang dipakai untuk membatasi gerak relatif pada dua komponen atau lebih dalam mesin sehingga bisa digerakkan pada arah yang diinginkan. Prinsip kerja dari *bearing* adalah kebalikan dari prinsip kerja roda gigi. Jika fungsi dari kerja roda gigi adalah untuk menyalurkan putaran dari satu bagian ke bagian lainnya. Berbeda dengan *bearing*, prinsip kerja dari *bearing* adalah mencegah agar putaran yang dihasilkan tidak menyalur dari satu bagian ke bagian yang lain. Secara umum, *journal bearing* terdiri dari sebuah poros berputar (*journal*) dengan *bearing* silindris. Kebanyakan, tapi tidak semuanya, *bearing* tersebut menyatu dengan *housing*. Tidak ada elemen berputar didalam *bearing* ini. Rancangan dan konstruksinya relatif lebih sederhana, tetapi teori dan pengoperasian *bearing* ini jauh lebih kompleks [1].

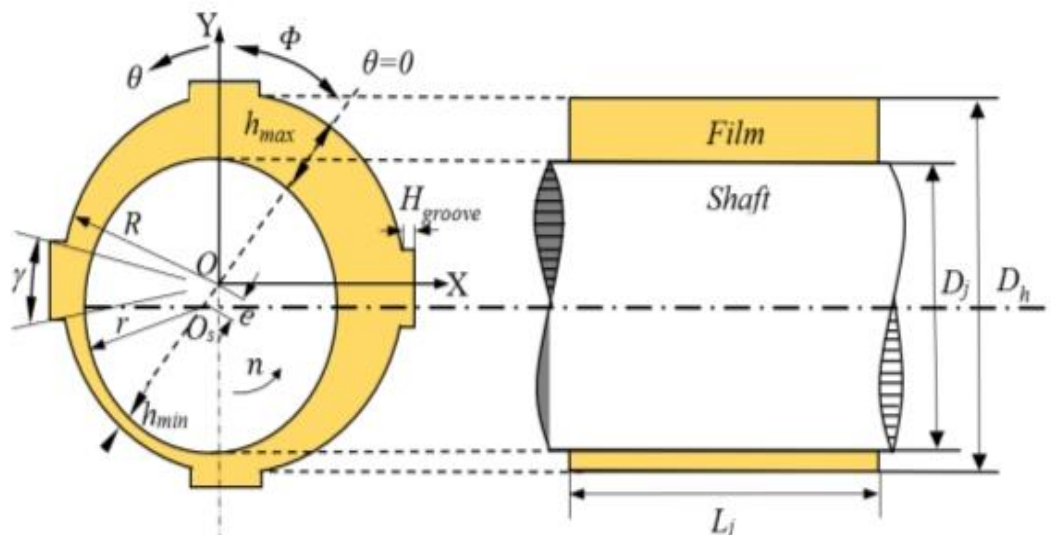
Tekanan dinamis yang dihasilkan dalam *Journal Bearing* dapat diprediksi menggunakan persamaan Reynolds dan umumnya digabungkan dengan persamaan gerak rotor untuk memprediksi perilaku. Bantalan jurnal biasanya digunakan dalam mesin berputar karena umumnya yang lebih panjang, biaya rendah, dan sifat redaman yang unggul dibandingkan dengan jenis bantalan lainnya. Bantalan seperti itu rentan terhadap ketidakstabilan tertentu seperti pusran atau cambuk oli, yang sering kali mencapai siklus batas yang stabil [2]. Aliran laminar dan turbulen ini dibedakan berdasarkan pada karakteristik internal aliran [3]. Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah software yang menghasilkan prediksi kuantitatif fenomena aliran *fluida* berdasarkan hukum konservasi (konservasi massa, momentum, dan energi), hukum konservasi tersebut menjadi dasar sebagai pengatur gerak *fluida*. Penggunaan *software* CFD sebagai metode numerik komputasi dinilai lebih efisien terutama dalam hal biaya dan waktu dibandingkan percobaan secara eksperimental, maka metode komputasi menggunakan CFD dipilih dalam penelitian ini. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan performa antara *Multistep Journal Bearing* dan *Plain Bearing* terhadap pengaruhnya dengan jenis – jenis Turbulen dan juga dihitung dengan jumlah iterasi per waktunya. Pemecahan masalah pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan pada tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak ANSYS 2020 R2, dimana kavitas dimodelkan dengan pemodelan menurut Zwart-Gerber-Belamri.

2. Dasar Teori

Journal Bearing memiliki fungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua komponen atau lebih dalam mesin, menjaga poros tetap berputar pada sumbunya. *Journal Bearing* dapat memberikan kestabilan posisi komponen yang berputar yang sering digunakan pada kompresor, pompa, turbin, motor, dan generator.

2.1 Performa Tribologi Journal Bearing

Bearing pelat atau *Journal Bearing* adalah komponen yang mendukung poros dalam kondisi radial atau berputar. Struktur *journal bearing* terdiri dari dua komponen utama, yaitu poros (*shaft*) dan lubang silinder (*housing*). Poros dikenal dengan sebagai *journal*, sedangkan lubang silinder disebut sebagai *bearing*. Poros yang berbantalan luncur memiliki kemampuan untuk mencapai putaran tinggi, dan untuk meredam ayunan, kejutan, serta kebisingan yang dihasilkan oleh putaran tersebut, pelumasan dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai bentuk, seperti cair, padat, atau gas.



Gambar 1. Nomenklatur *Multistep Journal Bearing*

Pada umumnya terdapat banyak sekali parameter yang dapat dijadikan pedoman dalam mengukur performa pelumasan pada *journal bearing*. Namun dalam tugas akhir ini, performa pelumasan pada *journal bearing* hanya akan diukur melalui tiga parameter sebagai berikut.

a. Gaya Gesek (*Friction Force*)

Gaya gesek didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing*. Secara matematis gaya gesek yang terjadi pada *journal bearing* dapat diekspresikan sebagai persamaan 2.5 berikut [4].

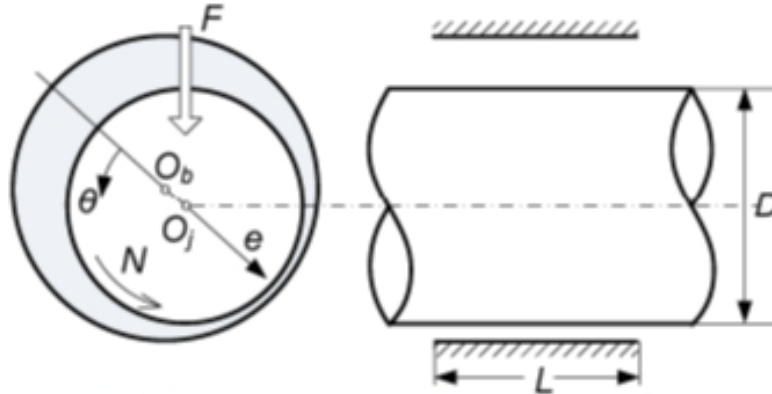
$$F_F = \iint_A \tau \, dx \, dz \quad (2.1)$$

b. Gaya Gesek (*Friction Force*)

Gaya gesek didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing*. Secara matematis gaya gesek yang terjadi pada *journal bearing* dapat diekspresikan sebagai persamaan 2.5 berikut

$$F_F = \iint_A \tau \, dx \, dz \quad (2.2)$$

Model geometri *plain journal bearing* yang digunakan untuk menjalankan simulasi untuk validasi tugas akhir ini diadopsi dari *plain journal bearing* [5].



Gambar 2. Nomenklatur *Plain Journal Bearing*

Aliran turbulen sangat dipengaruhi oleh keberadaan dinding. Dengan lebih detailnya, bidang kecepatan rata – rata dipengaruhi oleh *no-slip condition* yang harus dipenuhi pada dinding. Namun, turbulensi juga dapat berubah oleh keadaan *the wall in non-trivial ways*. Jika sangat dekat dengan dinding, *viscous damping* dapat mengurangi fluktuasi kecepatan tangensial. Sedangkan *kinematic blocking*, dapat mengurangi fluktuasi normal. Jika jauh dari wilayah luar dekat dinding, turbulensi semakin besar dan memproduksi energi kinetik lebih besar karena besarnya gradien kecepatan rata – rata [5]. Aliran turbulen merupakan aliran yang memiliki pola aliran random dan kacau yang mengandung *eddie*, *swirl*, dan ketidakstabilan aliran didalamnya. Sedangkan aliran laminar adalah aliran dengan pola yang halus dan terprediksi tanpa adanya gangguan antar *path*. Meskipun dapat diprediksi apakah aliran tersebut turbulen atau tidak, namun perhitungan pola dan karakteristik aliran secara spesifik masih belum dapat ditentukan. *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS) adalah persamaan model tersebut dan digunakan untuk mensimulasikan berbagai masalah aliran fluida. Pemodelan turbulensi RANS adalah pemodelan paling terkenal dan penerapannya pada aliran industri. Di antara semua model RANS, model turbulensi bilangan Reynold rendah (LRN) lebih akurat dibandingkan model turbulensi standar. Ini bermaksud untuk memberikan tinjauan singkat penelitian tentang pemodelan turbulensi RANS untuk pemahaman mendasar dalam memecahkan masalah aliran fluida dan mengidentifikasi peluang untuk penelitian di masa depan. Pada pemodelan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulation* terdapat beberapa model yang sangat populer digunakan pada *fluent* yaitu model turbulensi $k - \epsilon$ dan model turbulensi $k - \omega$. Kedua pemodelan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Pemodelan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* sangat cocok untuk aliran 3D yang kompleks. Karena model ini dapat menyelesaikan arus kuat dengan garis kelengkungan, putaran kuat pada aliran seperti saluran melengkung, aliran yang berputar, dan aliran dengan *inlet swirl* yang besar dan siklon. Namun pemodelan ini memerlukan waktu simulasi dan memori dari CPU yang besar. Sehingga membutuhkan waktu lama untuk mencapai konvergensi. Dalam penelitian ini, digunakan beberapa model aliran turbulen untuk membandingkan hasil performa tribologi tiap model – model turbulen yang digunakan. Berikut model turbulen yang digunakan pada penelitian ini.

2.2 Persamaan Kontinuitas dan Kavitasasi

Dalam mekanika fluida, kontinuitas adalah massa aliran fluida yang harus tetap kontinu didalam sistem tertentu. Ini berarti, bahwa jumlah massa yang masuk ke suatu daerah dalam sistem harus sama dengan jumlah massa yang keluar dari sistem tersebut. Pada hukum konservasi massa menyatakan bahwa setiap sistem yang tertutup untuk semua transfer materi dan energi, massa sistem harus tetap konstan dari waktu ke waktu, karena massa sistem tidak dapat berubah. Karena hal tersebut, persamaan Navier – Stokes membutuhkan prinsip konservasi energi. Maka dari itu, persamaan kontinuitas dapat didefinisikan pada persamaan 2.22 berikut [4].

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.3)$$

Dimana ρ adalah massa jenis fluida pelumasan dan u_i adalah vektor kecepatan pelumasan fluida. Kavitasasi merupakan fenomena dimana tekanan cairan turun dibawah tekanan jenuh yang menyebabkan pembentukan gelembung – gelembung uap didalam cairan. Proses kavitasasi terjadi ketika cairan mengalir dengan kecepatan tinggi dan menciptakan

tekanan rendah. Ketika tekanan cairan turun dibawah tekanan jenuh, molekul – molekul cairan berubah menjadi uap yang membentuk gelembung – gelembung. Saat gelembung – gelembung ini mencapai daerah yang memiliki tekanan kembali yang tinggi, mereka bisa meledak dan menciptakan gelombang kejut yang dapat merusak permukaan benda atau menyebabkan masalah dalam sistem fluida. Kavitasi adalah suatu fenomena perubahan fasa dari cair ke uap akibat berkurangnya tekanan hingga dibawah tekanan uap jenuh. Sebagian besar pada literatur – literatur mengasumsikan bahwa kondisi ideal dimana terjadi tekanan negatif pada lapisan pelumas. Hanya sebagai literatur yang memodelkan adanya kavitasi saat tekanan pada lapisan fluida turun pada tingkat tertentu [6]. Pada ANSYS terdapat 3 pemodelan kavitasi, pemodelan tersebut adalah Singhal et., al., Zwart – Gerber – Belamri, dan Schnerr – Sauer. Pada penelitian ini, model kavitasi yang digunakan adalah model kavitasi Zwart – Gerber – Belamri. Model kavitasi Zwart – Gerber – Belamri digunakan, karena menurut Dhande model kavitasi Zwart – Gerber – Belamri memodelkan kavitasi dengan baik pada kasus aliran yang memiliki *inlet* dan *outlet* yang berada pada samping *journal* [7]. Pada model kavitasi Zwart – Gerber – Belamri, diasumsikan bahwa semua gelembung – gelembung pada sistem memiliki ukuran yang sama, hal ini bertujuan agar total transfer massa antar fasa per unit dihitung menggunakan densitas gelembung. Model kavitasi ini dapat digunakan pada *multiphase* model campuran, dan dengan menggunakan atau tanpa *slip* kecepatan. Namun, tetap disarankan agar menggunakan *mixture* model. Berikut ini adalah penurunan dari nilai perubahan fasa bersih untuk model kavitasi Zwart – Gerber – Belamri yang didefinisikan pada persamaan dibawah ini.

$$R = n \times \left(4\pi R_B^3 \rho_v \frac{DR_B}{Dt} \right) \quad (2.4)$$

Dimana fraksi volume uap-cair (α) dihubungkan dengan densitas angka gelembung (n) dan radius gelembung (R_B) sehingga didapat dengan persamaan 2.8 berikut.

$$\alpha = n \times \left(\frac{4}{3} \pi R_B^3 \right) \quad (2.5)$$

Dengan asumsi bahwa semua gelembung dalam suatu sistem memiliki ukuran yang sama. Asumsi tersebut bertujuan, agar total transfer massa antar fasa per unit (R) dihitung menggunakan densitas gelembung (n). Lalu substitusi nilai dari densitas gelembung (n) dari persamaan 2.7 ke persamaan 2.8, dan dapat didefinisikan menjadi persamaan 2.9.

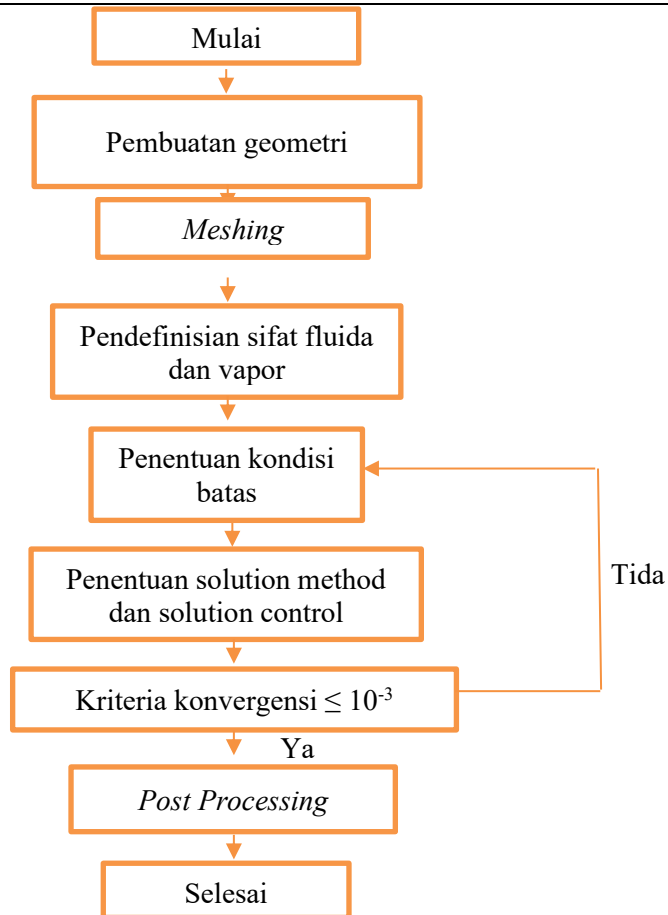
$$R = \frac{3\alpha\rho_v}{R_B} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{|P_B - P|}{P_l}} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.9, nilai transfer massa volumenya hanya berhubungan dengan densitas fasa uap ρ_v . Lalu, persamaan ini diturunkan pada asumsi pertumbuhan gelembung (evaporasi). Pengaplikasiannya terjadi pada proses menghilangkan gelembung (kondensasi), formula yang didapatkan dapat didefinisikan pada persamaan 2.26 berikut.

$$R_e = F \frac{3\alpha\rho_v}{R_B} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{|P_B - P|}{P_l}} \text{sign}(P_B - P) \quad (2.7)$$

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* CFD (*Computational Fluid Dynamics*) sebagai penyelesaian kasus. *Software* CFD yang digunakan adalah ANSYS 2020 R2 yang digunakan untuk menganalisa kasus pemodelan fluida. Pada kasus penelitian ini, analisa terhadap pelumasan dianggap *steady* karena sifat dari fluida sebagai pelumasan pada *journal* tidak terdapat perubahan walaupun terdapat perubahan waktu. Pada tahap awal, sebelum menjalankan proses simulasi perlu dilakukan pembuatan geometri yang dibuat dengan *software* CAD apapun. Namun pada penelitian ini, *software* CAD yang digunakan adalah solidworks workbench. Setelah itu, perlu dilakukan proses *meshing* dan pendefinisian material dari pelumasan. Jika *mesh quality* dan pendefinisian material dari pelumasan sudah baik berdasarkan kriteria dari *ansys guide*, maka dilanjutkan dengan proses penentuan kondisi batas atau *boundary condition*. Selanjutnya, penentuan *solution method*, *solution control*, dan penentuan batas konvergensi. Batas konvergensi yang digunakan akan mempengaruhi pada hasil simulasi dan jumlah iterasi yang digunakan pada saat proses simulasi. Saat sebelum memulai simulasi, dilakukan penentuan jumlah iterasi yang akan menentukan daya komputasi. Hasil akhir dari simulasi yang dilakukan kemudian dapat diolah melalui bagian *post-processing*.



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi *Ansys Fluent 2020*

Pada penelitian ini dimulai dengan pembahasan terhadap hasil – hasil penelitian dan literatur yang sudah pernah ada membahas *multistep journal bearing* serta literatur yang berkaitan sebelumnya. Lalu, dilanjutkan dengan proses pembuatan geometri dengan menggunakan *software CAD*. Model geometri *plain journal bearing* yang digunakan untuk menjalankan simulasi untuk validasi tugas akhir ini diadopsi dari *plain journal bearing* milik [8]. Setelah itu dilakukan validasi dari permasalahan yang akan disimulasikan. Parameter dari *plain journal bearing*, yaitu dimensi dan karakteristik fluida pelumasan diadopsi dari *paper* [8]. Parameter dari *plain journal bearing* dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter *Plain Journal Bearing*

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Bearing</i>			
Diameter Shaft	D	80	mm
Panjang Shaft	L_f	80	mm
Radial Clearance	C	0.04	mm
Eksentrisitas	E	0.028	mm
<i>Water Liquid</i>			
Massa jenis	ρ	998.2	kg/m ³
Specific heat	c	2000	kJ/(kg.K)
Heat Transfer coefficient		2000	W/(m ² K)
Dynamic Viscosity	ν	0.001003(293K) 0.000656(313K)	Pa.s
Konduktivitas termal	k	0.6	W/(m ² K)
Tekanan Saturasi		2340	Pa
<i>Water Vapor</i>			
Massa Jenis	ρ	0.5542	kg/m ³
Specific heat	c	1857.7	kJ/(kg.K)
Konduktivitas termal	k	0.026	W/(m.K)
Dynamic Viscosity	ν	1.34×10^{-5}	Pa.s
<i>Steel</i>			
Specific heat		502.48	J/(kg.K)
Konduktivitas termal		50	W/(m.K)

Boundary condition atau kondisi batas inlet, outlet, stationary wall, dan rotating wall. Dimana kondisi batas telah disesuaikan dengan kondisi batas *paper* milik [6].

Tabel 2. Kondisi Batas Simulasi pada Ansys

Kondisi Batas	Parameter
Inlet	Pressure Inlet (0 Pa) Temperature Inlet (293 K)
Outlet	Pressure Outlet (0 Pa) Temperatur Outlet (293 K)
Rotary Wall Stationary Wall	3000 rpm

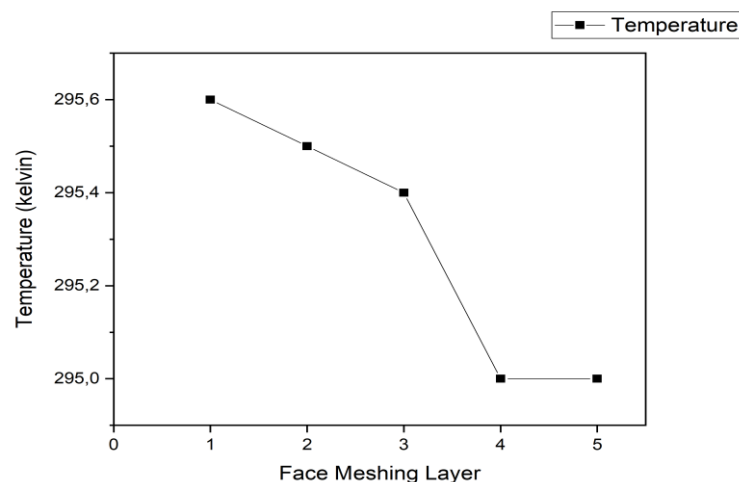
Pada kasus *Multistep Journal Bearing* ini, pemodelan turbulen yang digunakan sama seperti pada settingan kasus *Plain Journal Bearing*. Settingan lainnya seperti kondisi batas, metode penyelesaian, dan lain-lainnya juga sama seperti kasus *Plain Journal Bearing*. Namun dengan variabel bebas yaitu dengan penambahan *multistep*. Penambahan *multistep* ini merujuk pada *paper* [9] yaitu *Investigations on Influence of Grooves Shapes for the Journal Bearing in High-speed and Heavy-load Press System*. dan *paper* milik. [10] yaitu *Investigation Influence Of Turbulence To Tribology Performance On Smooth & Multistep Journal Bearing With Hydrodynamics Simulation*. *Paper* acuan digunakan sebagai penentu posisi sudut *multistep groove*, dan juga digunakan sebagai referensi pembahasan hasil setelah dilakukan simulasi.

Tabel 3. Parameter *Multistep Journal Bearing*

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang <i>groove</i>	80	mm
Besar sudut <i>groove a, b, c</i>	30, 30, 30	degree
Jarak antar sudut <i>groove, a-b, b-c, c-a</i>	90, 90, 90	degree
Tinggi <i>groove</i>	0.154	mm

4. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil uji *grid* pada simulasi, dimana dilakukan penambahan *meshing* dengan menambahkan jumlah *meshing* pada *face layer*, didapatkan hasil yang stabil dengan mempertimbangkan agar waktu komputasi yang lebih sedikit maka digunakan 3 *face layer*, hal ini menjadi acuan konfigurasi *meshing* yang akan digunakan pada simulasi selanjutnya.

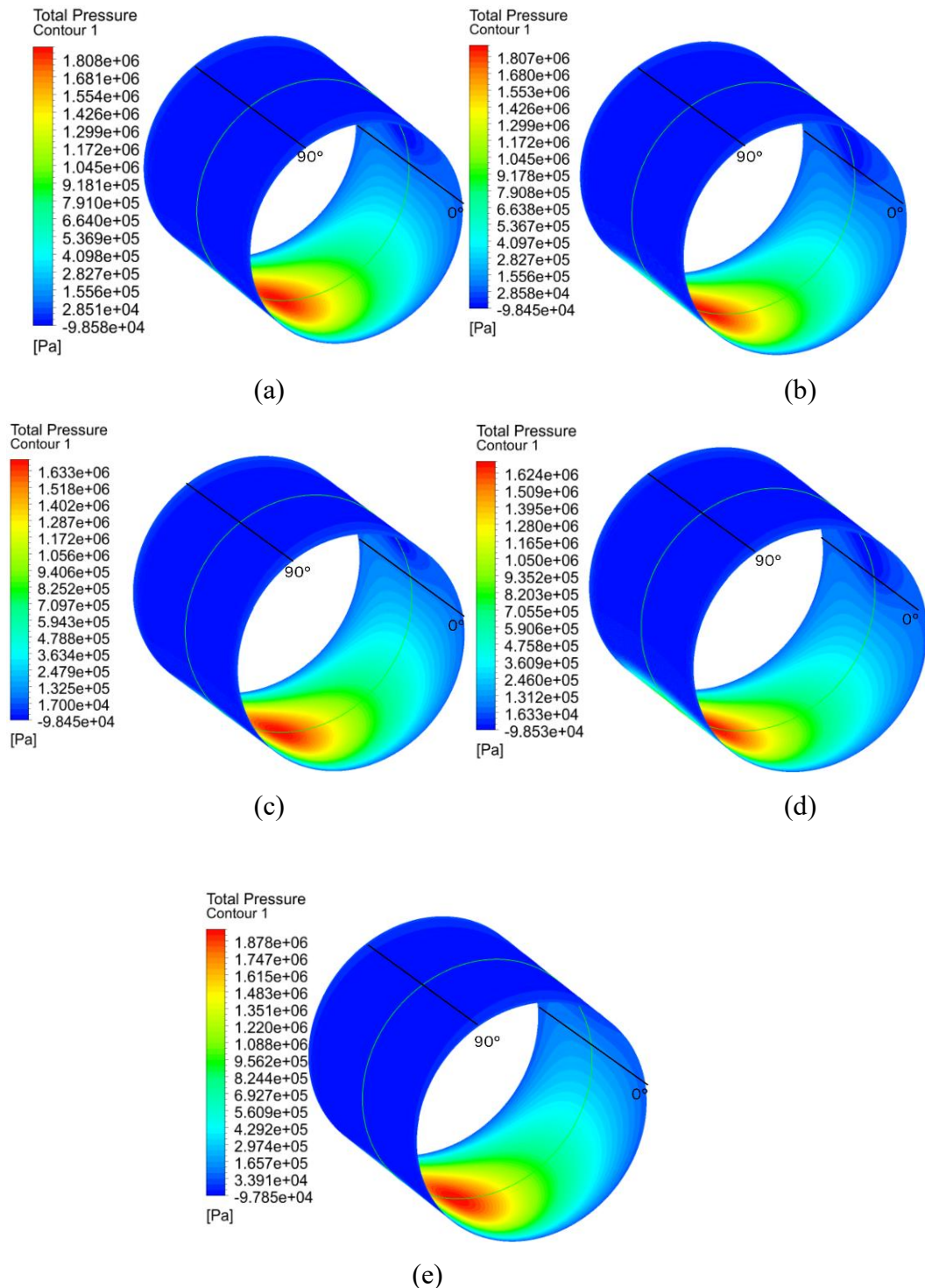


Gambar 4. Grafik hasil uji *grid independency test*

4.1 Hasil Simulasi Performa Tribologi *Plain Journal Bearing*

Pada kasus I yaitu pengaruh efek model – model turbulensi pada *plain journal bearing* pada performa tribologi. Performa yang akan dibahas pada *plain journal bearing* terhadap efek model – model turbulensi yang dipakai antara lain nilai dari kontur *pressure*.

Pada gambar dibawah didapatkan bahwa *maximal pressure* dengan nilai paling besar adalah pada model turbulen *Reynold Stress*, sedangkan model turbulen dengan nilai *maximum pressure* paling rendah adalah *k-omega SST*. Model turbulen yang memiliki nilai *minimal pressure* paling besar adalah *k-epsilon standart* dan *k-omega standart*, sedangkan model turbulen yang memiliki nilai *minimal pressure* paling rendah adalah *Reynold Stress*. Hasil kontur temperatur yang dihasilkan dengan model – model aliran turbulen yang digunakan bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Kontur distribusi tekanan *plain journal bearing* dengan $\varepsilon = 0.7$ dan $\omega = 3000$ rpm aliran turbulen dengan perhitungan viskositas : (a) *k-epsilon realizable* (b) *k-epsilon standart* (c) *k-omega standart* (d) *k-omega SST* (e) *Reynold Stress*

5. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian ini :

1. Pemodelan aliran menggunakan pemodelan turbulen Reynold Stress Model memiliki efek meningkatkan nilai tekanan dan suhu lebih tinggi, serta memperluas daerah vapour volume friction.
2. Pemodelan aliran menggunakan pemodelan turbulen k – epsilon standart memiliki nilai tekanan paling tinggi
3. Pemodelan aliran turbulen Reynold Stress Model adalah pemodelan turbulen dengan nilai kecepatan komputasi paling besar namun membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mencapai konvergen..

6 Daftar Pustaka

- [1] Wang, H., Bie, W., Zhang, S., & Liu, T. (2023). Theoretical and Experimental Study of Friction Characteristics of Textured Journal Bearing. *Micromachines*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/mi14030577>
- [2] Gantasala, S., & Baum, C. (2023). Database approach for force calculation of journal bearings with oil feed holes: An application to turbocharger bearings. *International Conference on Dynamics of Rotating Machines 2*, hal. 3 – 4.
- [3] Miraskari, M., Hemmati, F., Alqaradawi, M. Y., & Gadala, M. S. (2017). Linear stability analysis of finite length journal bearings in laminar and turbulent regimes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 231(10), hal. 1254–1267. <https://doi.org/10.1177/1350650117691697>
- [4] Meng, F. M., & Zhang, W. (2018). Effects of Compound Groove Texture on Noise of Journal Bearing. *Journal of Tribology*, 140(3). <https://doi.org/10.1115/1.4038353>
- [5] ANSYS Inc., (2020). ANSYS Fluent Tutorial Guide 20.0. Pennsylvania: Canonsburg.
- [6] Shi, X., & Ni, T. (2011). Effects of groove textures on fully lubricated sliding with cavitation. *Tribology International* 44(12), hal. 2022–2028. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.08.018>
- [7] Dhande, D. Y., & Pande, D. W. (2018). Multiphase flow analysis of hydrodynamic journal bearing using CFD coupled Fluid Structure Interaction considering cavitation. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 30(4), hal. 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.09.001>
- [8] Zhang, X. L., Yin, Z. W., Jiang, D., & Gao, G. Y. (2014). Comparison of the Lubrication Performances of Water-Lubricated and Oil-Lubricated Plain Journal Bearings. *Applied Mechanics and Materials* 711, hal. 27–30. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.711.27>
- [9] Chen, Y., Sun, Y., & Cao, C. (2018). Investigations on influence of groove shapes for the journal bearing in high-speed and heavy-load press system. *Industrial Lubrication and Tribology* 70(1), hal. 230–240.1108/ILT-02-2016-0036.
- [10] Muchammad, M., Wibowo, D. D. P., Tauviquirrahman, M., Setiyana, B., Yoahana, E., & Jamari, J. (2022). Investigation of the influence of turbulence to tribological performance on smooth and multistep journal bearing with hydrodynamics simulation. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.946074>