

Kaji Numerik Pengaruh Temperatur terhadap Ketebalan Lapisan *Film* dan Tekanan pada *Roller Bearing* Menggunakan Metode Beda Hingga

Iqbal Lazardo¹, Dedi Rosa Putra Cupu², Nazaruddin³

Konstruksi dan Perancangan, Teknik Mesin, Universitas Riau

¹iqbal.lazardo6194@student.unri.ac.id, ²dedi.cupu@lecturer.unri.ac.id, ³nazaruddinyok@gmail.com

ABSTRACT

The temperature is one of the factors to affect the performance of bearings. High temperatures will decrease the lubricant properties, which its allow direct contact between bearing components. This study examines influencing of the temperature on the pressure of the cylindrical roller bearing and the thickness of film layer in the lubrication of elastohydrodynamic lubrication (EHL) in the contact area. In this research was conducted simulation method by varying the working temperature at 30°C, 60°C, and 100°C. In this simulation applied the finite difference method in solving the Reynolds equation and the pressure-viscosity equation to analyze the EHL pressure and the thickness of the film layer formed. The simulation results were obtained at temperatures of 30°C and 60°C the thickness of the film layer and the pressure forming that were a safe condition. However, the temperature of 100°C was revealed a quite risk (critical) condition due to the thickness of the film layer almost touches zero, which resulted the direct contact (solid contact).

Keywords: elastohydrodynamic lubrication, temperature, mineral oil.

1. Pendahuluan

Bearing merupakan komponen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros yang mempunyai beban tertentu, sehingga gerak berputar atau gerakan bolak balik dapat berlangsung dengan halus, dan aman [1]. *Bearing* secara garis besar terbagi menjadi dua jenis, yaitu *journal bearing* yang menahan gesekan luncur dan *roller bearing* yang menahan gesekan gelinding. *Roller bearing* terbagi lagi menjadi dua jenis yaitu *ball bearing* yang mempunyai *rolling element* berbentuk bola (*bola*) dan *cylindrical roller bearing* yang mempunyai *rolling element* berbentuk silinder. *cylindrical roller bearing* memiliki beberapa bagian utama demi mendukung percagringputaran dari *bearing* tersebut. Bagian itu terdiri dari *cage*, *roller element*, *inner ring*, dan *outer ring*. Ketika *cylindrical roller bearing* beroperasi, *inner ring* akan mengikuti perputaran dari *shaft*, sedangkan *roller element* juga akan mengikuti arah putaran dari *shaft* dan *inner ring*, hanya saja pergerakan dari *roller element* akan berputar berlawanan arah dari *inner ring* dan *shaft*. Berbeda dengan *inner ring* dan *roller element*, pada *outer ring* tidak mengalami perputaran. Hal ini disebabkan *outer ring* berperan sebagai lintasan luar pada *roller element*. *Lubricant* merupakan parameter peredam panas dan optimasi putaran *bearing*. Pada daerah kontak yang terjadi akan membentuk suatu lapisan yang membatasi kontak langsung antar permukaan yang disebut sebagai lapisan *film* [2].

Cylindrical roller bearing yang juga biasa disebut dengan *roller bearing* mempunyai kelebihan dapat menumpu beban yang sangat berat jika dibandingkan dengan *ball bearing*. *Cylindrical roller bearing* mempunyai *rolling*

element yang berbentuk silinder pejal dengan kontak permukaan (*surface contact*) berbentuk garis (*line contact*), dan saat *roller bearing* beroperasi akan meninggalkan jejak (*footprint*) yang berbentuk persegi panjang. *Line contact* ialah jenis jejak pembebanan yang membentuk garis pada dasar permukaan kontak (*base contact*). Pada *cylindrical roller bearing* terjadi pelumasan *elastohydrodynamic* (EHL) yaitu pelumasan dimana lapisan tipis *lubricant* terbentuk diantara dua permukaan kontak dalam gerak relatif pada suatu tekanan yang cukup untuk membuat deformasi elastis dari kontak tersebut.

Temperatur merupakan salah satu parameter yang menjadi alasan utama suatu *bearing* mengalami kegagalan, temperatur yang tinggi dapat menyebabkan penurunan nilai viskositas [3]. Hal tersebut akan berdampak secara langsung terhadap distribusi tekanan dan ketebalan lapisan *film* yang terbentuk. Semakin kecil nilai viskositas dari suatu *lubricant* maka tekanan yang terjadi pada *cylindrical roller bearing* akan semakin meningkat dan ketebalan lapisan *film* yang terbentuk akan semakin tipis, dan apabila hal seperti ini terjadi secara berkelanjutan, maka akan terjadi *solid contact* (kontak padat). *Bearing* dengan *solid contact* akan mengalami kegagalan karena *solid contact* tersebut akan menyebabkan penguraian ketebalan permukaan material yang biasa disebut dengan keausan (*wear*), dan apabila hal ini terjadi secara terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya kegagalan pada *cylindrical roller bearing*.

Pada penelitian ini menggunakan salah satu jenis dari *bearing* yaitu *cylindrical roller bearing*

dengan kondisi pembebanan yang diasumsikan konstan (*steady-state*), dengan data input sebagai berikut [4].

Tabel 1 *Lubricants properties* [5]

Properties	Temperature		
	30°C	60°C	100°C
Viscositas kinematik, mm ² /s	0,9260	27,6	3,8
viskositas dinamik, Pa.s	0,9137	39,6	3,1
Pressure-viscosity coefficient, GPa-1	0,8930	40.24	1,7
Density, g/mL	0,8663	0,845	0,845

Tabel 2 *Physical parameter cylindrical roller bearing* [6]

Material	Steel: AISI 52100
Elastic Modulus (E)	210 GPa
Poisson's ratio (ν)	0,3
Roller radius (R)	13,225 mm

2. Persamaan

Persamaan yang digunakan pada penelitian ini dibuat dalam bentuk *dimensionless*. Persamaan *dimensionless* Reynolds dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$\frac{d}{dx} \left(\varepsilon \frac{dP}{dx} \right) - \frac{d(\rho^* H)}{dx} = 0 \quad (1)$$

Persamaan *dimensionless* ketebalan lapisan *film* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H(X) = H_0 + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{\pi} \int_{X_0}^{X_e} \ln|X - X'| p(X') dX' \quad (2)$$

Persamaan *dimensionless* densitas (ρ) dituliskan sebagai berikut:

$$\rho = \left(1 + \frac{0,6p}{1+1,7p} \right) \quad (3)$$

Untuk kalkulasi viskositas (η), persamaan *viscosity-pressure* yang digagas oleh Roelands digunakan pada simulasi ini

$$\eta = \exp\{[\ln(\eta_0) + 9,67][-1 + (1 + 5,1 \times 10^{-9} P \cdot p_H)^Z]\} \quad (4)$$

$$\text{Dimana, } Z = \frac{\alpha}{(\ln(\eta_0) + 9,67)(5,1 \times 10^{-9})} \quad (5)$$

Persamaan *dimensionless force balance* dapat dituliskan sebagai berikut:

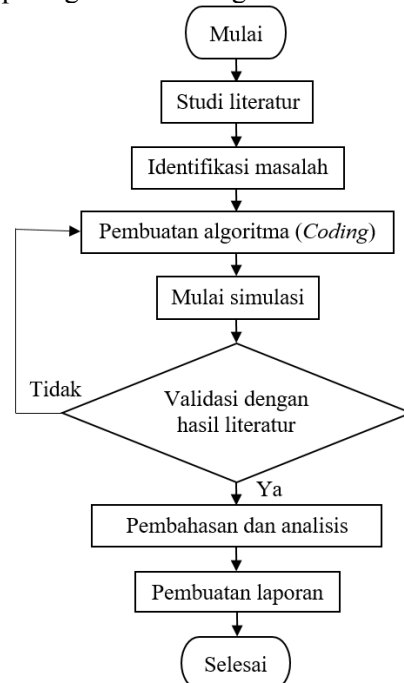
$$\int_{X_0}^{X_e} P dX = \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap distribusi tekanan dan ketebalan lapisan *film* yang terbentuk pada *cylindrical roller bearing*.

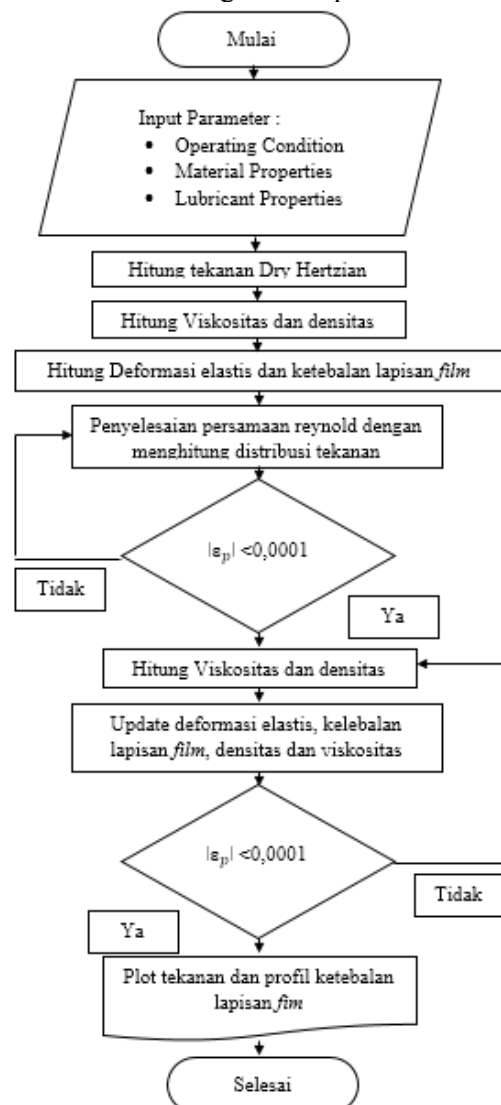
3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kajian numerikal (*numerical study*) yaitu metode yang menerapkan proses iterasi dalam penyelesaian suatu permasalahan dan memiliki atau terdapat persentase *error* pada iterasi tersebut. Secara garis

besar metode dan mekanisme penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2:



Gambar 1 Diagram alir penelitian



Gambar 2 Diagram alir simulasi

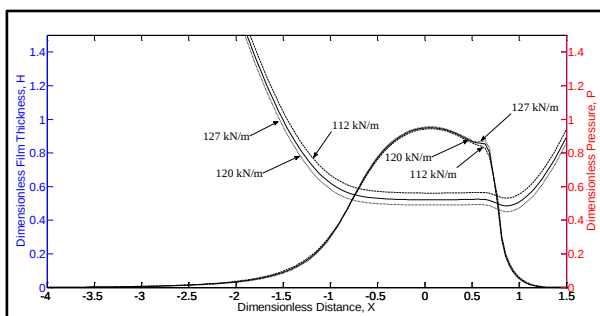
4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini mengkaji tentang pengaruh temperatur kerja yang berbeda terhadap ketebalan lapisan *film* dan tekanan pada *roller bearing*. Temperatur kerja divariasikan pada tiga titik, yaitu 30°C, 60°C, dan 100°C. Untuk jenis *lubricant* yang digunakan yaitu *mineral oil* P150N dengan *properties* yang sudah dipaparkan sebelumnya. *Bearing* yang digunakan dalam simulasi yaitu *bearing* SKF NU 310 ECP dengan *properties* dan parameter kerja yang juga sudah dipaparkan sebelumnya.

Pada gambar 3 menunjukkan grafik distribusi tekanan dan ketebalan lapisan *film* menggunakan pada temperatur 30° dengan menerapkan variasi *load*, pada tabel 3 telah dipaparkan nilai variasi tekanan dan ketebalan lapisan *film* dengan nilai variasi yakni 112 kN/m, 114 kN/m, 117 kN/m, 120 kN/m, 125 kN/m dan 127 kN/m. Variasi dilakukan berdasarkan *load* maksimum yang dapat ditahan oleh bearing tersebut sesuai tertera pada katalog SKF. Namun pada gambar 3 hanya dipaparkan nilai variasi *load* pada *minimum load*, *center load* dan *maximum load* untuk melihat perubahan yang terjadi akibat pengaruh variasi *load* yaitu pada *load* 112 kN/m, 120 kN/m, dan 127 kN/m.

Tabel 3 Hasil simulasi variasi *load* dan *speed*

No	w (kN /m)	u (m /s)	Pmax	Hmin	Keterang an
1	112	5.8	0.9442	0.5307	Pengaruh Load terhadap Pressure dan Film Thickness
2	114		0.9459	0.5188	
3	117		0.9485	0.5016	
4	120		0.9507	0.4853	
5	125		0.9547	0.4600	
6	127		0.9560	0.4505	
7	114	5.6	0.9479	0.5040	Pengaruh Speed terhadap Pressure dan Film Thickness
8		6.1	0.9427	0.5406	
9		6.3	0.9406	0.5550	
10		6.5	0.9387	0.5693	
11		6.7	0.9366	0.5835	

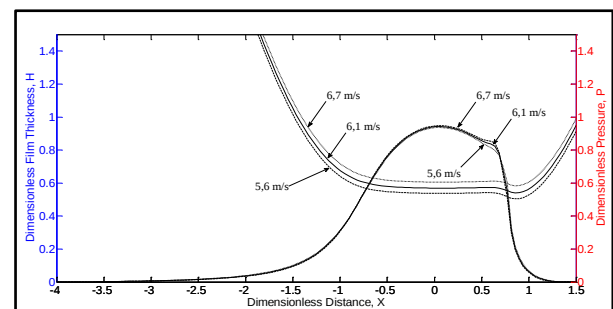


Gambar 3 Pengaruh variasi *load* T 30°C

Terlihat pada gambar 3 yaitu grafik pengaruh variasi *load* pada temperatur 30°C, terlihat jelas bahwa tekanan terbesar yang terjadi berada pada *load* terbesar yaitu sebesar 127 kN/m, sedangkan tekanan terkecil berada pada *load* terkecil yaitu sebesar 112 kN/m, hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai *load* yang diterapkan pada *bearing*, maka akan meningkatkan tekanan kerja yang diterima oleh *bearing* tersebut.

Pada awal terjadinya tekanan hingga ke puncak tekanan lalu menurun sampai grafik tersebut kembali naik nilai tekanannya dinamakan zona *inlet*, kemudian terjadi penurunan tekanan hingga ke titik nol dinamakan zona *outlet*. Pada grafik terlihat tekanan maksimum berada di koordinat X=0. Setelah mencapai nilai tekanan maksimum pada koordinat X=0, terjadi penurunan nilai tekanan pada tahap tersebut *lubricant* masuk ke dalam sela-sela area kontak, namun di area transisi dari zona *inlet* ke *outlet* terjadi pengecilan area permukaan sehingga tekanan menjadi naik, tekanan tersebut dinamakan *pressure spike*, hal ini dapat terjadi akibat hubungan eksponensial antara viskositas dan tekanan.

Parameter berikutnya selain *load* yaitu *speed* (kecepatan), Pada gambar 4 merupakan hasil simulasi distribusi lapisan *film* dan tekanan yang terbentuk dengan variasi *speed* pada temperatur 30°C, terlihat grafik hasil simulasi dari berbagai nilai variasi *speed* yang diterapkan. Variasi dilakukan berdasarkan *speed* maksimum yang dapat ditahan oleh *bearing* tersebut sesuai dengan yang tertera pada katalog SKF. Variasi dilakukan pada kecepatan 5,6 m/s, 5,8m/s, 6,1 m/s, 6,3 m/s, 6,5 m/s, dan 6,7 m/s, namun hanya dipaparkan nilai variasi *speed* pada *minimum speed*, *center speed* dan *maximum speed* untuk melihat perubahan yang terjadi akibat pengaruh variasi *speed* yaitu pada *speed* 5,6 m/s, 6,1 m/s, dan 6,7 m/s untuk melihat perubahan yang terjadi akibat pengaruh variasi *speed*.



Gambar 4 Pengaruh variasi *speed* T 30°C

Dari grafik terlihat bahwa nilai kecepatan terendah (5.6 m/s) memiliki nilai distribusi tekanan tertinggi dengan nilai sebesar 0.9479,

sedangkan kecepatan tertinggi (6.7 m/s) memiliki nilai distribusi tekanan yang paling rendah dengan nilai sebesar 0.9366, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari kecepatan berbanding terbalik dengan kenaikan tekanan pada *bearing* atau semakin tinggi nilai kecepatan yang diterapkan akan menurunkan tekanan yang terjadi pada area kontak.

Lalu terhadap lapisan *film*, pada gambar 4 terlihat bahwa nilai kecepatan terendah (5.6 m/s) memiliki nilai distribusi ketebalan lapisan *film* terendah, sedangkan pada kecepatan tertinggi (6.7 m/s) memiliki nilai distribusi tekanan yang paling tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari kecepatan berbanding lurus dengan kenaikan ketebalan lapisan *film* pada *bearing* atau semakin tinggi nilai kecepatan yang diterapkan akan meningkatkan ketebalan lapisan *film* yang terjadi pada area kontak.

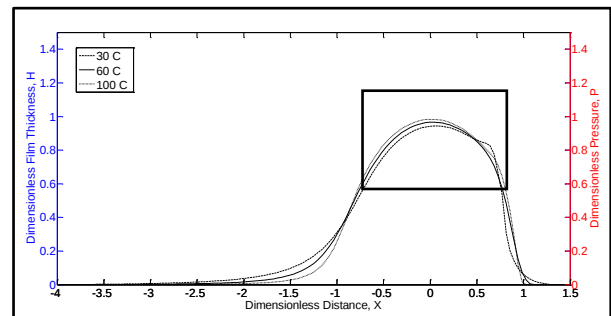
Parameter temperatur sangat berpengaruh pada *properties* dari *lubricant*, oleh karena itu setiap perubahan nilai temperatur yang terjadi akan berpengaruh terhadap *lubricant* yang akan langsung mempengaruhi nilai tekanan dan ketebalan lapisan *film* yang terjadi. Untuk mendapatkan perbandingan pengaruh masing-masing temperatur terhadap tekanan dan ketebalan lapisan *film* pada *roller bearing*. Simulasi dilakukan pada kecepatan 5,8 m/s dan pembebanan 114 kN/m. maka didapatkan hasil dari pengaruh temperatur terhadap pressure dan film thickness yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil simulasi pada temperatur berbeda

T (°C)	u (m/s)	w (kN/m)	Pmax	Hmin
30	5,8	0,0086	0.9459	0.5188
60			0.9672	0.1056
100			0.9839	0.0321

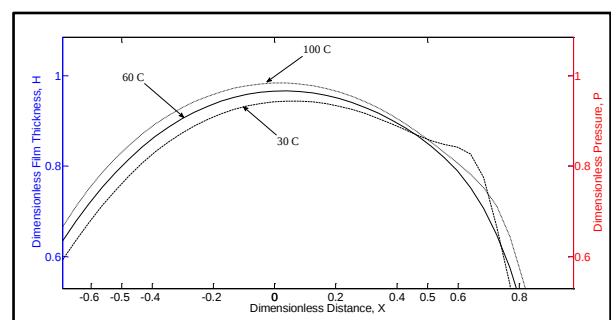
Dari data tabel di atas, dapat kita lihat tekanan terbesar berada pada temperatur tertinggi yaitu 100°C, sedangkan tekanan terendah berada pada temperatur terendah yaitu 30°C. Hal ini menyatakan bahwa semakin tinggi nilai temperatur kerja dari *bearing* akan meningkatkan tekanan kerja yang terjadi pada area kontak. Namun pada nilai ketebalan lapisan *film* yang tertinggi pada temperatur 30°C dan nilai ketebalan lapisan *film* terendah pada temperatur 100°C, maka hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur kerja pada *bearing* akan menurunkan nilai ketebalan lapisan *film* pada area kontak. Hal ini dapat terjadi karena peningkatan nilai

temperatur akan menurunkan nilai *properties* dari *lubricant* yang ada pada *bearing*, yaitu viskositas kinematik, viskositas dinamik, densitas *lubricant* serta koefisien tekanan viskositas.



Gambar 5 variasi pada tekanan EHL

Terlihat pada gambar 5 merupakan grafik distribusi tekanan yang terjadi dengan variasi temperatur, kotak hitam yang ada pada grafik menandakan perbesaran yang dilakukan untuk melihat data grafik secara lebih jelas terlihat seperti pada gambar 6.

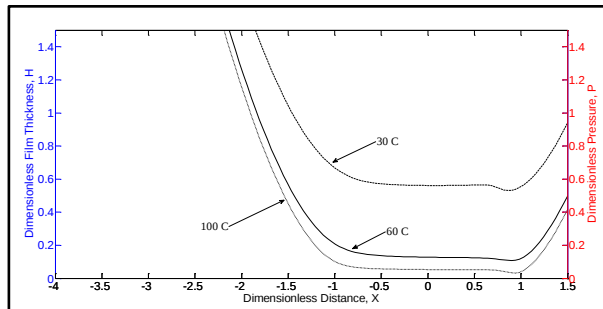


Gambar 6 Zoom in variasi temperatur pada tekanan EHL

Pada hasil simulasi variasi temperatur pada tekanan EHL terlihat digrafik hasil dari beberapa temperatur yang berbeda. Pada grafik tersebut saat temperatur kerja sebesar 30°C, terjadi fenomena *pressure spike* yaitu kenaikan nilai tekanan setelah titik tekanan maksimum pada transisi *inlet outlet*. Hal tersebut dapat terjadi karena pada temperatur 30°C *properties* dari *lubricant* masih pada temperatur ruangan dan memiliki nilai yang cukup besar, sehingga saat melalui transisi *inlet* ke *outlet* memerlukan tekanan tambahan agar *lubricant* dapat melewati sela-sela area kontak, namun pada temperatur 60°C dan 100°C nilai *properties lubricant* sudah menurun sehingga tidak memerlukan tekanan tambahan untuk melewati transisi *inlet* ke *outlet* dari area kontak, sehingga fenomena *pressure spike* yang terjadi tidak terlalu terlihat dan bahkan hampir tidak ada.

Properties lubricant berbanding terbalik nilainya dengan kenaikan temperatur, apabila nilai temperatur semakin kecil maka nilai dari viskositas kinematik, viskositas dinamik, densitas

serta koefisien tekanan viskositas yang dimiliki oleh *lubricant* akan semakin meningkat. Sedangkan apabila nilai temperatur semakin besar maka nilai dari viskositas kinematik, viskositas dinamik, densitas serta koefisien tekanan viskositas yang dimiliki oleh *lubricant* akan semakin menurun.



Gambar 7 Variasi temperatur pada lapisan film EHL

Pada hasil simulasi variasi temperatur pada ketebalan lapisan film EHL terlihat pada gambar 7 hasil dari ketebalan lapisan film beberapa temperatur yang berbeda. Terlihat bahwa lapisan film paling tipis terletak pada temperatur 100°C, hal ini disebabkan karena pada temperatur 100°C mengalami penurunan sifat dari *properties lubricant* terbesar jika dibandingkan dengan temperatur yang lain. Oleh karena itu tekanan yang terjadi akan sangat besar dan langsung berdampak pada ketebalan lapisan film.

Dari hal tersebut dapat dijelaskan bahwa temperatur kerja sangat mempengaruhi ketebalan lapisan film dan tekanan yang terjadi pada *roller bearing*, semakin besar temperatur kerja pada *bearing* maka tekanan yang terjadi akan semakin besar dan lapisan film yang terbentuk akan semakin kecil. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian yang matang untuk menentukan *lubricant* yang cocok untuk jenis *bearing* sesuai dengan parameter kerja dari *bearing* tersebut, sehingga tidak terjadi kesalahan dalam menentukan *lubricant* yang nantinya akan menjadi salah satu penyebab terjadinya kerusakan pada suatu *bearing*.

5. Simpulan

Temperatur kerja sangat mempengaruhi nilai dari ketebalan lapisan film yang terbentuk pada area kontak dan tekanan yang terjadi pada *roller bearing*, temperatur kerja yang tinggi akan menurunkan nilai *properties* dari *lubricant* yang membuat penurunan kinerja dari *lubricant* itu sendiri, dan mengakibatkan *lubricant* semakin melemah seiring dengan naiknya nilai temperatur, sehingga lapisan film yang terbentuk akan

semakin tipis dan tekanan yang terjadi pada *bearing* akan semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Irawan, A. P. (2009). Diktat Elemen Mesin. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- [2] Huang, P. (2013). *Numerical Calculation of Lubrication: Methods and Program*. China: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- [3] Falderman, A. (2016). CFD-based TEHL simulation of rolling contact. *Bearing world*, 1-3.
- [4] Venner, C. H. (1991). *Multilevel Solution of The EHL Line and Point Contact Problems*.
- [5] Grzegorz, Z. N. (2017). *Thermal properties of mixtures of mineral oil and natural ester in*. *E3S Web of Conferences* 19, 1-5.
- [6] SKF, G. (2018). *Rolling Bearings*. United States: 10000 EN.
- [7] Venner, C., & Lubrecht, A. (2000). *Multilevel Method In Lubrication*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.