

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN TAHANAN TERMAL PADA BANTALAN

Nasaruddin

Politeknik Negeri Kupang
Jl. Adi Sucipto Penfui Kupang - NTT. P.O.Box. 139
E-mail: nasarkupang@gmail.com

Abstrak : Perubahan temperatur terhadap laju perpindahan kalor dan tahanan termal pada cincin bagian dalam *deep groove ball bearing*, dapat terjadi jika bagian-bagian benda padat berlainan suhunya, dan juga dipengaruhi oleh gradient waktu. Oleh karena itu maka perpindahan panas yang terjadi yaitu secara konduksi. Tujuan penulisan ini yaitu untuk mengetahui berapa besar laju perpindahan kalor dan tahanan termal terhadap perubahan geometri inner ring pada bearing. Penelitian ini dilakukan pada laboratorium Perawatan dan Perbaikan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Kupang. Hasil analisa dan pembahasan dari *inner ring pada bearing* yang diuji menunjukkan bahwa terjadi peningkatan laju perpindahan kalor sebesar 5 W sampai dan 84 W, sementara tahanan termal terjadi penurunan sebesar 0,002 sampai dan 0,0678 sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh perubahan temperatur pada inner ring signifikan terhadap laju aliran kalor sangat dominan, sedangkan tahanan termal tidak signifikan

Kata kunci: Temperatur, kalor, tahanan termal, bantalan

PENDAHULUAN

Perpindahan panas yang terjadi pada bearing merupakan perpindahan panas gabungan konveksi dan konduksi, dimana perpindahan panas dari temperatur suhu panas ke suhu dingin dalam keadaan stedi melalui sistem yang sederhana dimana suhu dan aliran panas merupakan fungsi dari satu koordinat.

Dimana bearing merupakan salah satu elemen mesin yang banyak digunakan pada permesinan sehingga seringkali mengalami kesulitan untuk melakukan pemasangan dan pelepasan dari poros, tetapi dengan pemanasan secara induksi pada inner ring ingin diketahui laju aliran kalor dan tahanan termal dari *inner ring* sampai *other ring* terhadap peningkatan temperatur, perpindahan panas ini dikenal dengan perpindahan secara konduksi, hal tersebut dapat terjadi jika bagian-bagian yang bersinggungan terjadi gradien suhu. (Kreith, 2015) mengemukakan bahwa konduksi merupakan mekanisme dimana panas dapat mengalir jika bagian-bagian benda

padat tersebut berlainan suhunya. Berdasarkan hukum Fourier tentang laju perpindahan kalor secara konduksi dalam suatu bahan padat berbanding lurus dengan gradien temperatur, gradien waktu, dan luas panas dari suatu benda yang tegak lurus arah perpindahan kalor.

Sehingga yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu bagaimana tinjauan hukum Fourier terhadap laju perpindahan kalor dan tahanan termal terhadap perubahan suhu pada inner ring

Hukum Fourier dapat dihitung, berdasarkan persamaan :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dr} \quad (\text{Holman, 1995: 2}) \quad \text{dimana : } q_k = \text{laju}$$

perpindahan kalor (W), k = konduktivitas termal dari bahan 67 (W/m°C), A = luas panas (m²),

dan $\frac{dT}{dr}$ = gradien suhu kearah perpindahan kalor.

Untuk bentuk silinder maka aliran kalor berlangsung menurut arah radial karena pemanasan secara induksi dari diameter dalam, sehingga koordinat ruang untuk menentukan sistem tersebut dengan r. Hukum Fourier dengan menyisipkan rumus luas, maka luasan untuk silinder berlubang merupakan fungsi jari-jari : $A = 2\pi r L$ (Kreith, 1991: 28) dimana : A = luas panas (m^2), r = jari-jari, dan L = tebal silinder (m).

Sehingga Hukum Fourier menjadi :

$$qr = -kAr \frac{dT}{dr} \quad (\text{Holman, 1995: 29}) \quad \text{atau :}$$

$$qr = -2\pi rL \frac{dT}{dr} \quad (\text{Holman, 1995: 30})$$

Dengan kondisi batas : $T = T_i$ pada $r = r_i$ dan $T = T_o$ pada $r = r_o$ (Holman; 1995:30)

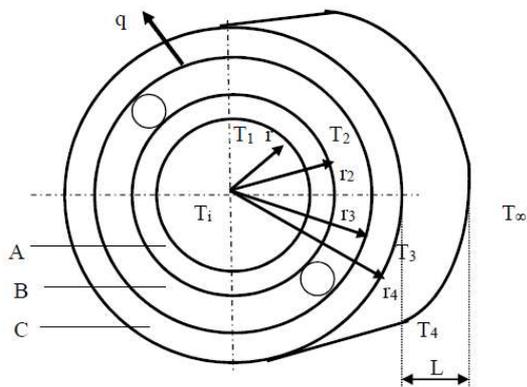
Sehingga persamaan menjadi :

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(r_o / r_i)} \quad (\text{Holman, 1995:30})$$

Dan tahanan termal silinder adalah :

$$R_{th} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi kL} \quad (\text{Holman, 1995:30}),$$

Untuk dinding rangkap seperti pada gambar 1, merupakan perpindahan kalor gabungan antara konveksi dan konduksi :



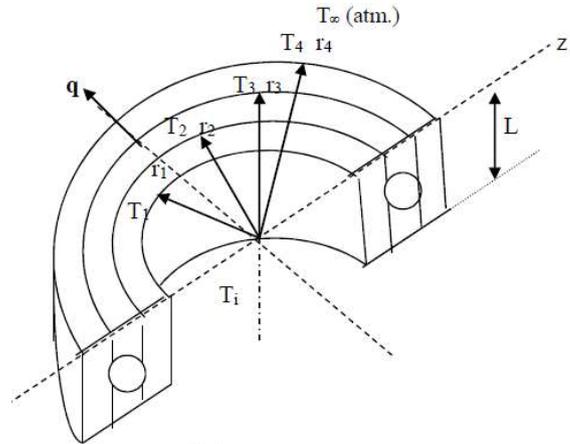
Gambar 1 : Aliran kalor melalui penampang silinder dan analogi listriknya

Sumber : Holman J.P, *Perpindahan kalor*, 1995:30

Prinsip perpindahan kalor gabungan

q konveksi = q konduksi = q konveksi = q konduksi = q konveksi

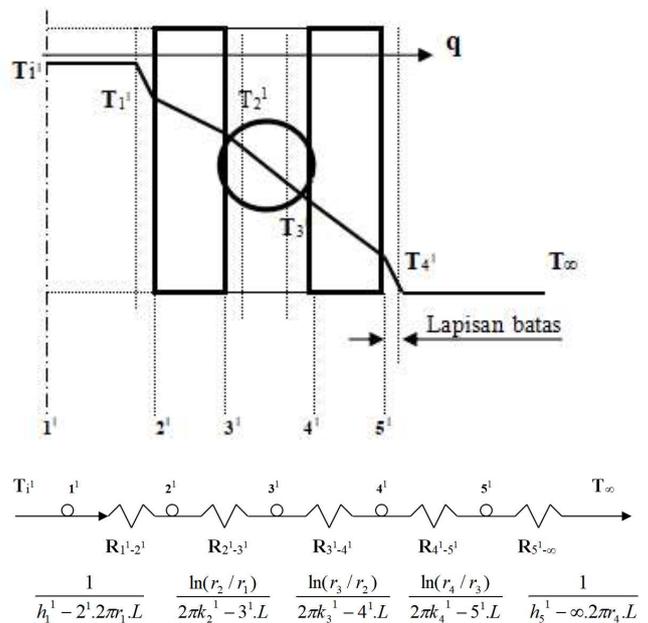
$$q_{i-1} = q_{1-2} = q_{2-3} = q_{3-4} = q_{4-\infty}$$



Gambar 2 : Pemotongan penampang silinder

Sehingga untuk menentukan gradien suhunya, sebagai berikut :

Sebagai dasar pendekatan untuk menentukan perpindahan kalor dan analogi listriknya, maka perlu dibuat gradien suhunya :



Gambar 3: Perpindahan kalor menyeluruh dan analogi listriknya

Sumber : Holman J.P, *Perpindahan kalor*, 1995:33

Maka laju perpindahan kalor keseluruhan :

$$q_{1-\infty} = \frac{(T_i^1 - T_\infty)}{\frac{1}{h_1^1 - 2^1 \cdot 2\pi r_1 \cdot L} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi \cdot k_2^1 - 3^1 \cdot L} + \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi \cdot k_3^1 - 4^1 \cdot L} + \frac{\ln(r_4 / r_3)}{2\pi \cdot k_4 - 5^1 \cdot L} + \frac{1}{h_5^1 - \infty \cdot 2\pi r_4 \cdot L}}$$

Dimana :

- T_i^1 = Temperatur pemanasan inner ring
- T_∞ = Temperatur atmosfer
- L = Tebal silinder
- $h_1^1 - 2^1$ = koefisien perpindahan kalor inner ring
- $h_5^1 - \infty$ = koefisien perpindahan kalor silinder other ring
- $k_2^1 - 3^1$ = konduktifitas termal bahan dari titik 1¹ ke 2¹
- $k_3^1 - 4^1$ = konduktifitas termal bahan dari titik 3¹ ke 4¹
- $k_4^1 - 5^1$ = konduktifitas termal bahan dari titik 4¹ ke 5¹
- $q_1^1 - 2^1$ = Laju aliran kalor pada permukaan titik 1¹-2¹ (konveksi)
- $q_2^1 - 3^1$ = Laju aliran kalor pada permukaan titik 2¹-3¹ (konduksi)
- $q_3^1 - 4^1$ = Laju aliran kalor pada permukaan titik 3¹-4¹ (konduksi)
- $q_4^1 - 5^1$ = Laju aliran kalor pada permukaan titik 4¹-5¹ (konduksi)
- $q_5^1 - \infty$ = Laju aliran kalor other ring (konveksi)

Maksud dari pengajuan dua macam gradien suhu diatas agar memudahkan didalam menentukan perbandingan rata-rata dari T_1 ke T_1^1 . Sehingga memudahkan untuk mendapatkan data-data yang lebih valid.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental, yaitu dengan cara melakukan pemanasan secara induksi pada *inner ring*, dan **tempat penelitian** ini dilaksanakan di Laboratorium Perawatan dan Perbaikan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang.

Yang menjadi variabel penelitian yaitu variabel bebas : temperatur dan waktu sedangkan variabel terikat mengenai perubahan dimensi *inner ring* dari *bearing*

Alat-alat yang digunakan, yaitu induction

heater TIH 030, yoke, termometer digital, meja eksperimen, dial indicator digital, sensor/pendeteksi.

Bearing yang diuji yaitu cylindrical Roller Bearing NU 210 EC, bearing yard unit 209-2F, deep groove ball bearing 1211 EK, dan spherical roller bearing 22212 CCK masing-masing 1 unit merk SKF.

Sebelum melakukan eksperimen maka langkah-langkah yang dilakukan, meliputi :

Studi literatur yaitu mengumpulkan dan mempelajari teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Observasi lapangan dilakukan untuk melakukan studi terhadap peralatan yang ada pada laboratorium Perawatan dan Perbaikan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Kupang.

Persiapan alat dan bahan dilakukan sebelum melakukan pelaksanaan eksperimen.

Melakukan pengujian terhadap spesimen secara bertahap dari ke empat jenis bering radial kemudian data-data tersebut dicatat.

Uji specimen

Langkah-langkah pengujian spesimen adalah, sebagai berikut :semua peralatan disiapkan diatas meja eksperimen , dimulai dengan memasukkan *yoke* ke inner ring kemudian dipasang di atas pemanas induction heater, melakukan pemasangan alat ukur termometer digital untuk mengetahui temperatur lingkungan dan kenaikan temperatur pemanasan, melakukan pengukuran diameter nominal pada bantalan dengan dial indicator digital, memasang alat sensor pada diameter dalam bantalan yang akan diuji, alat pemanas *induction heater* di ON kan untuk mengatur tingkat temperatur pemanasan secara bertahap pada alat kontrol, mengatur lama pemanasan (5, 10, 15) menit

pada alat kontrol secara bertahap setiap temperatur pemanasan, setelah alat tersebut di ON kan maka pada alat kontrol akan menunjukkan kenaikan temperatur pemanasan secara bertahap begitu pula dengan lama pemanasan sehingga pada tahap pertama perubahan *inner ring* dapat diketahui, tahapan temperatur pemanasan akan berhenti pada temperatur 120°C, setiap tahapan data-data perubahan inner ring dicatat, pengujian ini dilakukan masing-masing 3 (tiga) kali untuk setiap bearing.

Untuk memudahkan pengumpulan dan pengolahan data maka data-data sebelum dan sesudah pengujian spesimen, meliputi data : temperatur suhu kamar, temperatur pemanasan, lama pemanasan, inner ring dan other ring, tebal bearing (L), jari-jari inner ring dan other ring, dan konduktivitas termal bahan.

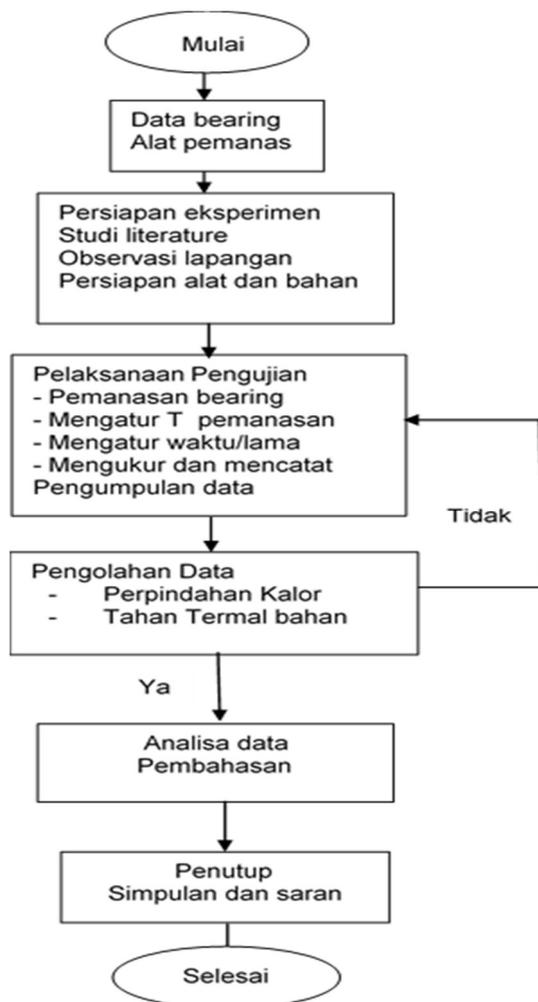


Diagram Alir

Gambar 4: Diagram alir penyelesaian masalah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan dan pengolahan data

- a. Laju perpindahan kalor pada (T_i) 50°C dengan diameter dalam (θd) 50,1867 mm

$$q_1 = \frac{2\pi kL(T_1 - T_0)}{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 67 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 0,0202 \cdot (50^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{0,045\text{m}}{0,02509\text{m}}\right)}$$

$$q_1 = 320,2338 \text{ W}$$

- Tahanan termal silinder

$$R_{k1} = \frac{\ln(r_0 / r_i)}{2\pi kL}$$

$$= \frac{\ln.(0,045\text{m} / 0,02509)}{2 \times 3,14 \times 67 \cdot \text{W} / \text{m}^\circ\text{C} \times 0,0202}$$

$$R_{k1} = 0,0687$$

- b. Laju perpindahan kalor pada (T_i) 96°C dengan diameter dalam (θd) 50,4489 mm

$$q_3 = \frac{2\pi kL(T_1 - T_0)}{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 67 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 0,02049 \cdot (96^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{0,045\text{m}}{0,025224\text{m}}\right)}$$

$$q_3 = 1013,2159 \text{ W}$$

- Tahanan termal silinder

$$R_{k3} = \frac{\ln(r_0 / r_i)}{2\pi kL}$$

$$= \frac{\ln.(0,045\text{m} / 0,025224)}{2 \times 3,14 \times 67 \cdot \text{W} / \text{m}^\circ\text{C} \times 0,02049\text{m}}$$

$$R_{k3} = 0,0671$$

c. Laju perpindahan kalor pada (T_i) 120°C dengan diameter dalam (θd) 50,5622 mm

$$q_4 = \frac{2\pi k L (T_1 - T_0)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 67 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 0,0258 \times (120^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{0,045\text{m}}{0,025281\text{m}}\right)}$$

q₄ = 1382,3347 W

• Tahanan termal silinder

$$R_{k4} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k L}$$

$$= \frac{\ln.(0,045\text{m} / 0,0252811)}{2 \times 3,14 \times 67 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 0,02058\text{m}}$$

R_{k4} = 0,0665

Tabel 1 : Data geometris inner ring setelah proses pemanasan

T _i (°C)	θ D (mm)	θ d (mm)	r _o (mm)	r _i (mm)	L (mm)
50	90	50,1867	45	25,0934	20,20
73	90	50,3300	45	25,1650	20,31
96	90	50,4489	45	25,2244	20,49
120	90	50,5622	45	25,2811	20,58

Tabel 2 : DATA LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN TAHANAN TERMAL SILINDER SEBELUM DILAKUKAN PEMANASAN PADA INNER RING

Bearing	θ D (m)	θd (m)	L (m)	r _i (m)	r _o (m)	T _i (°C)	T _o (°C)	q (W)	R _k
<i>Cylindrical roller bearing</i>	0,09	0,05	0,02	0,025	0,045	50	28	315,1213	0,07
						73		664,5663	
						96		974,0112	
						120		1317,78	
<i>Bearing yar unit</i>	0,085	0,045	0,0492	0,0225	0,0425	50	28	716,450	0,068
						73		1465,464	
						96		2214,480	
						120		2996,06	
<i>Deep groove ball bearing</i>	0,1	0,055	0,021	0,0275	0,05	50	28	325,234	0,068
						73		665,251	
						96		1005,268	
						120		1360,069	
<i>Spherical roller bearing</i>	0,11	0,06	0,028	0,03	0,055	50	28	427,920	0,05
						73		875,292	
						96		1322,662	
						120		1789,485	

Tabel 3 : DATA LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN TAHANAN TERMAL SILINDER SETELAH DILAKUKAN PEMANASAN *INNER RING*

Bearing	θD (m)	θd (m)	L (m)	r_i (m)	r_o (m)	T_i (°C)	T_o (°C)	q (W)	R_k
Cylindrical roller bearing	0,09	0,0501867	0,0202	0,0250934	0,045	50	28	315,1213	0,0687
	0,09	0,050330	0,02031	0,025165	0,045	73	28	664,5663	0,0680
	0,09	0,0504489	0,02049	0,0252244	0,045	96	28	974,0112	0,0671
	0,09	0,0505622	0,02058	0,0252811	0,045	120	28	1317,78	0,0665
Bearing yar unit	0,085	0,045231	0,0492	0,02262	0,0425	50	28	716,450	0,0304
	0,085	0,045352	0,04931	0,02268	0,0425	73	28	1465,464	0,03025
	0,085	0,045482	0,04945	0,02274	0,0425	96	28	2214,480	0,03004
	0,085	0,045599	0,04957	0,02279	0,0425	120	28	2996,06	0,02986
Deep groove ball bearing	0,1	0,055187	0,02119	0,027593	0,05	50	28	325,234	0,0666
	0,1	0,055274	0,02133	0,027637	0,05	73	28	665,251	0,0661
	0,1	0,055373	0,02147	0,027686	0,05	96	28	1005,268	0,0653
	0,1	0,055477	0,02151	0,027738	0,05	120	28	1360,069	0,0652
Spherical roller bearing	0,11	0,06015	0,02817	0,030075	0,055	50	28	427,920	0,05089
	0,11	0,06025	0,02826	0,030125	0,055	73	28	875,292	0,05070
	0,11	0,06037	0,02834	0,030185	0,055	96	28	1322,662	0,05029
	0,11	0,06048	0,02849	0,030240	0,055	120	28	1789,485	0,04987

Analisa laju perpindahan kalor dan tahanan termal

Dari hasil analisa perhitungan laju perpindahan kalor dan tahanan termal silinder bahwa proses pemanasan secara induksi dengan gradient suhu dan gradient waktu/lama pemanasan terhadap inner ring menunjukkan, bahwa :

Cylindrical roller bearing dengan diameter dalam nominal (θd) 0,05 m setelah melalui proses pemanasan dari temperatur (T_i) 28°C-120°C maka diameter dalamnya menjadi (θd) 0,0505622 m sehingga peningkatan (θd) 0,0005622 m atau 0,5622 mm. Sementara pada temperatur yang sama maka laju perpindahan kalor sebelum proses pemanasan diameter dalam bantalan (q) 315,1213 W sampai 1317,78 W meningkat menjadi (q)

320,2338 W sampai 1382,3347 W setelah proses pemanasan. Pada tahanan termal silinder (R_k) 0,07 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah proses pemanasan maka (R_k) terjadi penurunan yang kecil sebesar 0,0022.

Bearing yar unit dengan diameter dalam nominal (θd) 0,045 m setelah melalui proses pemanasan dari temperatur (T_i) 28°C-120°C maka diameter dalamnya meningkat sebesar (θd) 0,0005988 m atau 0,5988 mm. Sementara pada temperatur yang sama maka laju perpindahan kalor sebelum proses pemanasan diameter dalam bantalan (q) 716,450 W sampai 2996,06 W meningkat menjadi (q) 722,5842 W sampai 3080,6893 W setelah proses pemanasan. Dan (R_k) 0,031 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan tetapi setelah

dipanaskan maka R_k menurun dari 0,0304 menjadi 0,02986.

Deep groove ball bearing dengan diameter dalam nominal (θd) 0,055m setelah melalui proses pemanasan dari temperatur (T_i) 28°C-120°C maka diameternya meningkat menjadi (θd) 0,0004766 m atau 0,4766 mm. Sementara pada temperatur yang sama maka laju perpindahan kalor sebelum proses pemanasan diameter dalam bantalan (q) 325,234 W sampai 1360,069 W meningkat menjadi (q) 330,330 W sampai 11409,598 W setelah proses pemanasan. Dan (R_k) 0,068 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah proses pemanasan maka (R_k) 0,0666 turun menjadi 0,0652.

Spherical roller bearing dengan diameter dalam nominal (θd) 0,060 m setelah melalui proses pemanasan dari temperatur (T_i) 28°C - 120°C maka diameter dalamnya meningkat sebesar (θd) 0,00048 m atau 0,48 mm. Sementara pada temperatur yang sama maka laju perpindahan kalor sebelum proses pemanasan (q) 427,920 W sampai 1789,485 W, meningkat menjadi (q) 722,5842 W sampai 3080,6893 W setelah proses pemanasan. Dan (R_k) 0,051 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah dipanaskan maka (R_k) menurun dari 0,05089 menjadi 0,04987.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan dari hasil analisa data maka dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan laju perpindahan kalor dan penurunan tahanan termal terhadap perubahan suhu pada inner ring pada bearing, yaitu :

- a. Laju perpindahan kalor (q) meningkat setelah dilakukan proses pemanasan pada *inner ring: cylindrical roller bearing*, (q) meningkat 5 W sampai 65 W, *bearing yar unit*, (q) meningkat 6 W sampai 84 W, *deep groove ball bearing*, (q) meningkat 5 W sampai 49 W, dan *spherical roller bearing*, (q) meningkat 5 W sampai 55 W.
- b. Tahanan termal silinder menunjukkan bahwa :

cylindrical roller bearing dimana tahanan termal silinder (R_k) 0,07 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah proses pemanasan maka (R_k) terjadi

penurunan yang kecil sebesar 0,0022. *Bearing yar unit* dimana (R_k) 0,031 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan tetapi setelah dipanaskan maka R_k menurun dari 0,0304 menjadi 0,02986. *Deep groove ball bearing* dimana (R_k) 0,068 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah proses pemanasan maka (R_k) 0,0666 turun menjadi 0,0652. *Spherical roller bearing* dimana (R_k) 0,051 sebelum proses pemanasan dengan temperatur yang sama tidak terjadi perubahan, tetapi setelah dipanaskan maka (R_k) menurun dari 0,05089 menjadi 0,04987.

Saran

Agar berkesinambungan tentang tinjauan laju aliran kalor dan tahanan termal maka perlu dilakukan pengujian tentang aliran kalor mengenai dinding komposit yaitu dimana lapisan dalam langsung bersinggungan dengan gas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan kepada Kepala Laboratorium Perawatan dan Perbaikan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Kupang yang telah memberikan bantuan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P, 1995, Perpindahan kalor, Edisi ke enam, Jakarta., Erlangga
- Kreith, Frank, 2015, Prinsip-prinsip perpindahan panas, Jakarta, Erlangga
- Reynolds, William C ; Perkin, Hendry C, 1989, Termodinamika Teknik, Jakarta, Erlangga
- SKF Bearing maintenance Handbook, 1991, Sweden, Lerum
- SKF General Catalogue, 1989, W. germany by Carl Gerber GmbH
- Sudjana, 1980, Disain dan Analisis Eksperimen, Bandung, Tarsito
- Suga, K., 1987, Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta, PT.Pradnya Paramita