

# EFEK PENAMBAHAN ZAT ADITIF PADA MINYAK PELUMAS MULTIGRADE TERHADAP KEKENTALAN DAN DISTRIBUSI TEKANAN BANTALAN LUNCUR

Tekad Sitepu, Himsar Ambarita, Tulus B. Sitorus, Danner Silaen  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU  
Jl. Almamater Kampus USU Medan

## Abstrak

Salah satu penggunaan minyak pelumas adalah pada bantalan. Bantalan yang paling umum digunakan adalah bantalan luncur (*journal bearing*) dan bantalan gelinding (*roller bearing*) karena memiliki harga yang relatif murah, konstruksi yang sederhana dan mudah dalam pelumasannya. Penambahan zat aditif pada suatu minyak pelumas merupakan hal yang umum dilakukan untuk meningkatkan kekentalan. Penelitian pada efek penambahan zat aditif sangat diperlukan, hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini. Akan dibahas analisis distribusi tekanan pada bantalan luncur menggunakan minyak pelumas multigrade dengan penambahan dan tanpa penambahan zat aditif. Penelitian dilakukan dalam beberapa putaran yaitu 1000 rpm, 1250 rpm, 1500rpm, 1750 rpm, dan 2000 rpm. Untuk menguji kekentalan minyak pelumas, pengujian dilakukan di Laboratorium Fisika Lanjutan Departemen Fisika FMIPA USU. Sementara untuk distribusi tekanan diteliti di Laboratorium Teknik Pelumasan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan aditif/*oil treatment* tipe *viscosity index improver* terhadap minyak pelumas multigrade dapat meningkatkan kekentalan (*viscosity*) minyak pelumas sebesar 14,14 %.

Kata kunci: minyak pelumas, zat aditif/*oil treatment*

## I. PENDAHULUAN

Teknik pelumasan adalah suatu cara untuk memperkecil gesekan dan keausan diantara permukaan-permukaan yang bergerak relatif satu sama lain. Teknik yang dilakukan adalah dengan menempatkan bahan pelumas diantara kedua permukaan yang bergerak tersebut. Bahan pelumas yang umum adalah berupa cairan (*liquids*) dan *semi-liquid*. Salah satu penggunaan minyak pelumas adalah pada bantalan. Bantalan yang paling umum digunakan adalah bantalan luncur (*journal bearing*) dan bantalan gelinding (*roller bearing*). Penelitian ini memfokuskan analisis pada bantalan luncur.

Penelitian teknik pelumasan pada bantalan luncur telah dilakukan beberapa peneliti, baik secara analitik dan experimental. Peneliti pertama yang tercatat dalam sejarah yang meneliti bantalan luncur adalah Beauchamp Tower, saat meneliti bantalan luncur roda kereta

api di laboratoriumnya pada awal tahun 1880-an. Kesimpulannya adalah bahwa minyak pelumas diantara poros (*journal*) dan bantalan berada di bawah tekanan, dan distribusi tekanan tersebut dapat mengangkat/mendukung poros pada bantalan. Tercatat Tower melaporkan hasil penelitiannya empat kali, namun yang paling terkenal adalah pada tahun 1883 dan 1885. Osborne Reynolds menjelaskan secara teoritis hasil eksperimen Beauchamp Tower, dan melaporkan tulisannya pada tahun 1886. Didalam laporan tersebut juga dijelaskan mengenai adanya distribusi tekanan pada lapisan pelumas yang memisahkan poros dan bantalan. Sommerfeld melakukan analisis distribusi tekanan, yang dikenal dengan persamaan Sommerfeld yang dapat menggambarkan distribusi tekanan pada suatu bantalan luncur.

Penelitian ini adalah membahas analisis distribusi tekanan pada minyak pelumas yang ditambahkan bahan aditif

pada sebuah bantalan luncur. Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengetahui perubahan kekentalan minyak pelumas terhadap penambahan aditif. (2) mengetahui karakteristik bantalan luncur, yaitu distribusi tekanan pada lapisan minyak pelumas bantalan luncur terhadap perubahan kecepatan poros atau *journal*, dan (3) memperoleh karakteristik distribusi tekanan bantalan luncur terhadap minyak pelumas multigrade dengan dan tanpa penambahan aditif (*oil additives / oil treatment*).

Cara yang dilakukan untuk mendapatkan tujuan tersebut adalah dengan melakukan pengujian kekentalan minyak pelumas di laboratorium Fisika Lanjutan Departemen Fisika FMIPA USU, dan juga melakukan pengujian distribusi tekanan bantalan luncur terhadap minyak pelumas di laboratorium Teknik pelumasan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU. Hasil-hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna pada teknik penambahan zat aditif pada sebuah pelumas.

**II. DASAR TEORI**

Persamaan distribusi tekanan pada fluida yang berada di antara bantalan dapat diturunkan dengan menganalisis satu element fluida yang berada di antara dua permukaan datar yang saling bergerak. Diagram komponen tekanan normal dan tekanan geser pada satu elemen fluida berukuran  $\delta x$  dan  $\delta y$  yang sejajar sumbu-x ditampilkan pada Gambar 1.

Besar tekanan gesek dirumuskan berdasarkan hukum Newton:

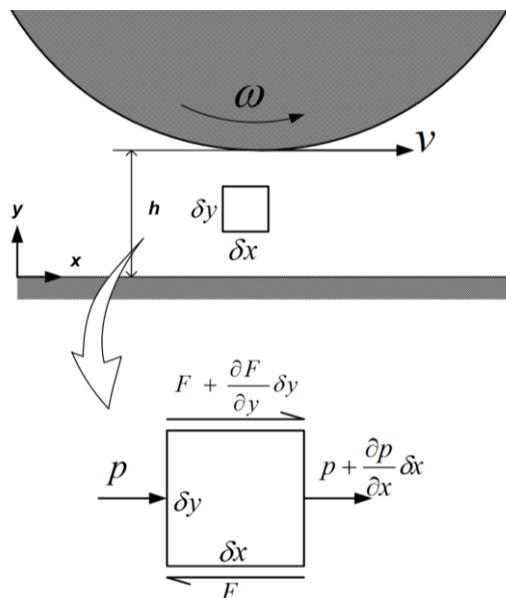
$$F = \mu \frac{\delta v}{\delta y} \tag{1}$$

Dimana  $\mu$  = koefisien kekentalan dan  $v$  = kecepatan pada arah  $x$ . Kesetimbangan gaya pada elemen tersebut akan memberikan persamaan:

$$\left[ F + \frac{\delta F}{\delta y} \delta y - F \right] \delta x + \left[ p - \left( p + \frac{\delta p}{\delta x} \delta x \right) \right] \delta y = 0$$

Atau:

$$\frac{\partial F}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial x} \tag{2}$$



Gambar 1 Komponen tekanan searah sumbu-x pada satu elemen fluida

Dengan mensubstitusi persamaan (1) ke persamaan (2) akan diperoleh:

$$\mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{\partial p}{\partial x} \tag{3}$$

Dengan menintegrasikan dan memasukkan kondisi batas,  $v=V$  ketika  $y=0$  dan  $v=0$  ketika  $y=h$ , akan didapat:

$$v = V \left( 1 - \frac{y}{h} \right) - \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \left( 1 - \frac{y}{h} \right) h y \tag{4}$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (4), Sommerfeld mengajukan persamaan distribusi tekanan pada suatu bantalan luncur. Persamaan ini disebut sebagai persamaan Sommerfeld, yaitu:

$$p - p_0 = \frac{\mu r^2 \omega}{\delta^2} \left[ \frac{6 \varepsilon \sin \theta (2 + \varepsilon \cos \theta)}{(2 + \varepsilon^2)(1 + \varepsilon \cos \theta)^2} \right] \tag{5}$$

Dimana:  $p_0$  = tekanan suplai (Pa),  $\omega$  = kecepatan putaran poros (rpm),  $R$  = radius bantalan (m),  $r$  = radius poros (m),  $\delta$  = kelonggaran radial ( $R-r$ ),  $e$  = eksentrisitas,  $\varepsilon$  = perbandingan eksentrisitas =  $\frac{e}{\delta}$ , dan  $\theta$  = posisi angular ( $^\circ$ ).

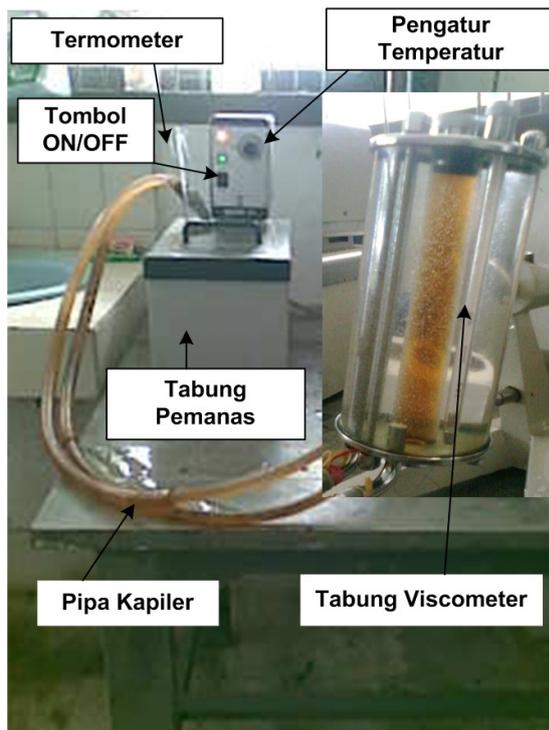
Sommerfeld juga memberikan solusi untuk beban total di sepanjang bantalan, yaitu sebagai berikut:

$$P = \frac{12\mu r^3 l \omega \pi \varepsilon}{\delta^2 (2 + \varepsilon^2) \sqrt{1 - \varepsilon^2}} \quad (6)$$

Persamaan-persamaan yang ditampilkan di atas adalah persamaan yang diturunkan secara analitis dan akan divalidasi dengan melakukan eksperimen. Eksperimen dan peralatan yang digunakan akan dijelaskan pada bagian berikut.

### III. PERALATAN PENGUJIAN

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian, yaitu pengujian kekentalan dan pengujian distribusi tekanan pada *journal bearing*. Pengujian kekentalan dilakukan dengan menggunakan Viskometer bola jatuh Hoepler.



Gambar 2 Viskometer Bola Jatuh yang digunakan

Foto viskometer yang digunakan dan beberapa komponen utamanya ditampilkan pada gambar 2. Pada gambar, untuk memperjelas bagian utama alat uji, yaitu tabung viskometer, dibuat lebih besar. Hubungan antara lamanya bola jatuh dan

kekentalan pelumas pada viskometer ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu = t(\rho_b - \rho_s).K \quad (7)$$

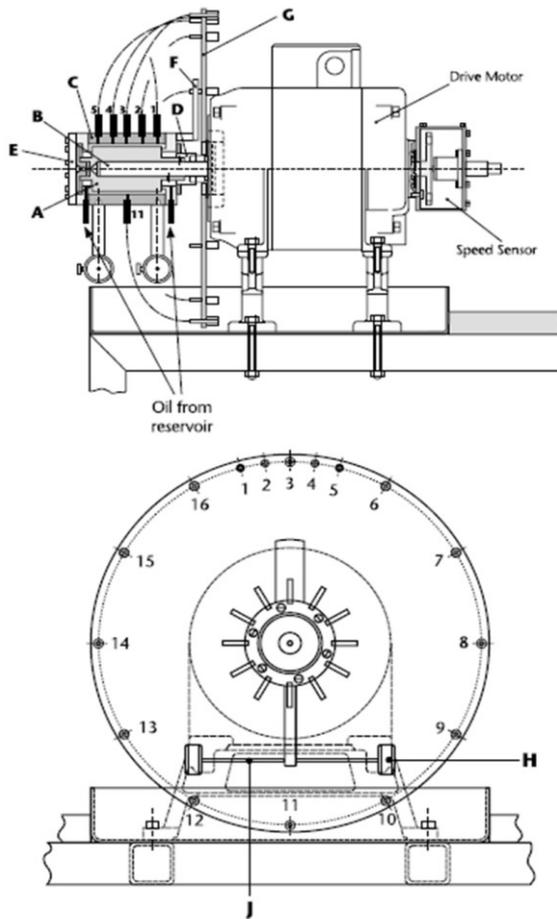
$\rho_b$  adalah massa jenis bola baja yang digunakan 8,1 gr/cm<sup>3</sup>.  $\rho_s$  adalah massa jenis fluida. Dan  $K$  adalah konstanta, yang nilainya 3,38 mPa.s.cm<sup>3</sup>/gr.s.

Sementara untuk melakukan pengujian distribusi tekanan, alat yang digunakan adalah Alat Uji Bantalan Luncur TM25 buatan TecEquipment Ltd, Inggris. Foto alat pengujian ini ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3 Alat Uji Bantalan Luncur TM25

Peralatan pengujian TM25 memiliki bantalan acrylic dan papan manometer yang besar, sehingga tekanan minyak pelumas pada bantalan dapat diobservasi dengan jelas. Poros motor penggerak dan *journal* memiliki putaran yang sama. Peralatan ini juga dilengkapi dengan variabel kecepatan putaran pada unit kontrol dan sensor kecepatan pada motor untuk melakukan percobaan pada kecepatan yang bervariasi. Komponen-komponen utama alat uji ini ditampilkan pada gambar 4.



- A : Poros/journal
- B : Poros motor penggerak
- C : Bantalan luncur
- D : Karet diafragma (*Flexible rubber diaphragm*)
- E : Piringan penutup bantalan
- F : Penunjuk keseimbangan bantalan
- G : Fixed frame
- H : Beban
- I : Batang Beban

Gambar 4 Komponen utama TM25

Observasi tekanan pada bantalan dilakukan pada arah radial dan aksial bantalan yaitu pada enam belas titik pengukuran. Pengukuran arah radial berjumlah dua belas titik pengukuran yang segaris dan sudut yang dibentuk masing-masing titik adalah 30°, dan pengukuran arah aksial (sepanjang lebar bantalan) berjumlah 4 titik pengukuran yang juga segaris. Titik pengukuran pada arah aksial terdapat pada bagian atas bantalan. Semua titik pengukuran dihubungkan dengan tabung plastik fleksibel ke panel manometer.

#### IV. METODOLOGI

Minyak pelumas yang digunakan dalam percobaan ini adalah minyak pelumas multigrade SAE 15W/50. Sedangkan zat aditif tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat aditif tipe *viscosity index improver*, yang dapat meningkatkan kekentalan dan lapisan tipis minyak pelumas pada bantalan (*increase oil film thickness*), selain itu zat aditif ini juga memiliki sifat *anti-wear*.

Metodologi pengujian kekentalan dengan viskometer adalah sebagai berikut. Timbang massa *beaker glass*. Masukkan sampel ke dalam *beaker glass* sebanyak 100 ml. Timbang massa sampel dalam *beaker glass*. Masukkan sampel ke dalam tabung viskositas sampai hampir penuh. Masukkan ruji ke dalam tabung viskositas tersebut kemudian ditutup dengan penutup tabung. Isi tangki pemanas dengan air sampai penuh. Hubungkan tabung viskositas ke tangki air dengan pipa kapiler sehingga air dalam tabung penuh. Hidupkan kontrol temperatur dan dilihat penunjukan skala termometer sebesar suhu kamar. Putar tabung viskositas dan dihitung waktu jatuh bola mulai dari garis pertama sampai garis ketiga kemudian dicatat hasilnya, dilakukan hal tersebut sebanyak lima kali.

Dan metodologi pengujian distribusi tekanan bantalan luncur adalah sebagai berikut. Lamanya waktu pengujian pada setiap variasi kecepatan putaran adalah sepuluh menit. Setelah itu dapat dilakukan pembacaan tekanan pada panel manometer. Putaran poros yang dipilih pada penelitian ini adalah putaran 1000 rpm, 1250 rpm, 1500 rpm, 1750 rpm dan 2000 rpm.

#### V. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengujian yang pertama adalah massa jenis minyak pelumas sebelum dan sesudah penambahan zat aditif. Hasil pengukuran ditampilkan pada tabel 1. Dari tabel terlihat bahwa penambahan zat aditif akan meningkatkan massa jenis minyak pelumas.

Tabel 1. Pengujian massa jenis

Pelumas	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Massa (gr)
Murni	100	86,66
Penambahan aditif	100	87,5

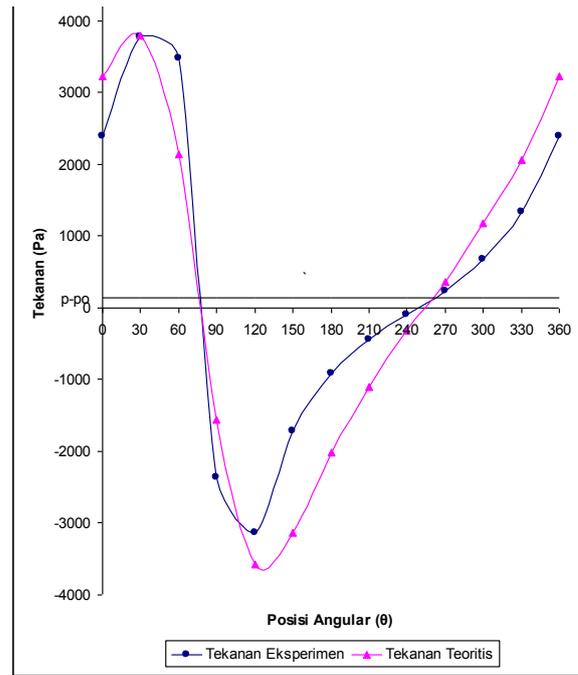
Analisis berikutnya adalah pengujian viskometer. Hasil pengujian untuk 5 kali percobaan pada temperatur 28<sup>o</sup>C dan 40<sup>o</sup>C untuk masing-masing pelumas ditampilkan pada tabel 2. Data pada tabel menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur, maka waktu jatuh bola akan makin kecil. Hal ini disebabkan viskositas yang berkurang. Akibat penambahan zat aditif, waktu jatuh bola akan semakin besar. Hal ini disebabkan kekentalan yang meningkat.

Tabel 2. Hasil pengujian viskometer

Lama bola jatuh	Murni		Penambahan Aditif	
	Temp. Pengujian		Temp. Pengujian	
	28 <sup>o</sup> C	40 <sup>o</sup> C	28 <sup>o</sup> C	40 <sup>o</sup> C
t <sub>1</sub>	6,4	3,5	6,7	3,8
t <sub>2</sub>	6,5	3,3	6,8	3,7
t <sub>3</sub>	6,3	3,5	6,7	3,8
t <sub>4</sub>	6,6	3,2	6,6	3,8
t <sub>5</sub>	6,5	3,4	6,8	3,6
Rata-rata	6,46	3,33	6,7	3,8

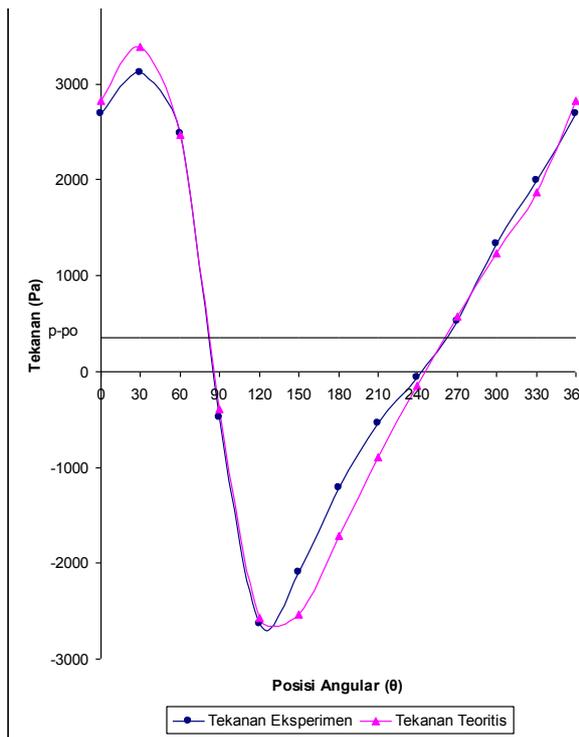
Untuk mengetahui seberapa besar nilai kenaikan viskositas akibat penambahan zat aditif ini, maka nilai rata-rata waktu jatuh bola dimasukkan ke persamaan (7). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut. Pada temperatur 28<sup>o</sup>C viskositas pelumas murni adalah 1492 cP dengan penambahan aditif menjadi 1545 cP (Bertambah 3,5%). Pada temperatur 40<sup>o</sup>C viskositas pelumas murni adalah 769 cP dan setelah ditambah aditif menjadi 877,68 cP (Bertambah 14,1%).

Sebelum efek dari penambahan zat aditif pada distribusi tekanan dianalisis, dilakukan validasi hasil pengujian dengan tekanan teoritis. Perbandingan hasil teoritis dan eksperimen pada putaran 1000 rpm dan 2000 rpm ditampilkan pada gambar 5 dan gambar 6.

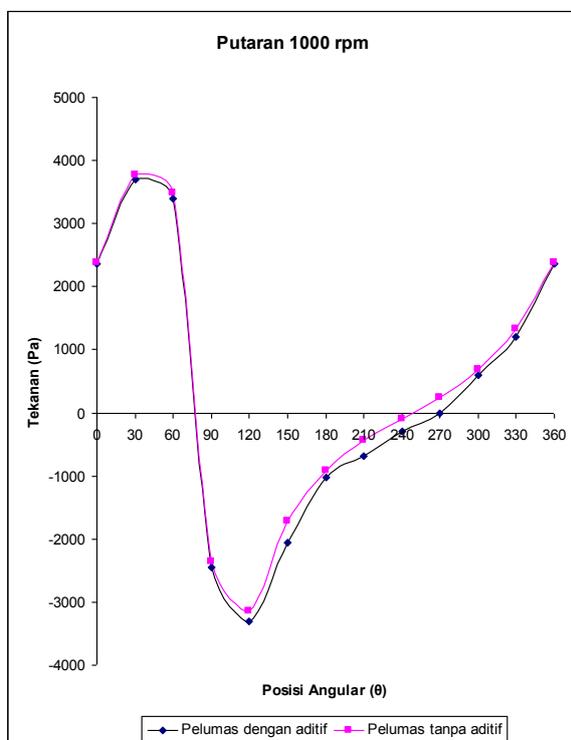


Gambar 5 Perbandingan distribusi tekanan teoritis dan eksperimen putaran 1000 rpm

Pada minyak pelumas yang masih murni atau tanpa aditif pada putaran 1000 rpm dan 2000 rpm perbandingan antara grafik tekanan eksperimen tidak jauh berbeda dengan tekanan teori sommerfeld, hal ini dapat dilihat grafik tekanan eksperimen hampir berimpit dengan grafik tekanan sommerfeld. Untuk putaran 1000 rpm grafik sommerfeld terjadi pergeseran sebesar 12 ° pada posisi angular. Sementara untuk putaran 2000 rpm pergeseran sebesar 10,5°. Grafik untuk putaran yang lain juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Perbandingan pada grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil eksperimen sesuai dengan hasil teoritis.



Gambar 6 Perbandingan distribusi tekanan teoritis dan eksperimen pada putaran 2000 rpm



Gambar 7 Perbandingan distribusi tekanan pada bantalan pada putaran 1000 rpm  
 Analisis berikutnya adalah efek penambahan zat aditif pada distribusi

tekanan. Perbandingan distribusi tekanan pada pelumas murni dan pada pelumas yang mengandung zat aditif pada putaran 1000 rpm ditunjukkan pada gambar 7. Gambar menunjukkan bahwa akibat penambahan zat aditif, tidak ada perbedaan yang signifikan pada pola distribusi tekanan. Perbedaan yang ada hanyalah besar tekanan yang terjadi. Dengan penambahan zat aditif tekanan pada bantalan sedikit berkurang. Perbandingan pada putaran 1250 rpm, 1500 rpm, 1750 rpm, dan 2000 rpm juga menunjukkan pola yang sama. Grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan zat aditif tidak mempengaruhi distribusi tekanan pada bantalan luncur. Perbedaan yang terjadi hanyalah penurunan besar tekanan maksimum.

**VI. KESIMPULAN**

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian pada minyak pelumas SAE15W/50 dengan dan tanpa penambahan zat aditif. Parameter-parameter yang diuji adalah kekentalan dan distribusi tekanan pada bantalan luncur. Hasil pengujian menunjukkan terjadi penambahan kekentalan akibat penambahan zat aditif. Penambahan zat aditif tidak mengubah pola distribusi tekanan pada bantalan luncur namun tekanan pada bantalan akan berkurang.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. "Penuntun Praktikum Fisika Dasar", Laboratorium Fisika Lanjutan Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara.
2. Nasution, A. Halim, "Pengaruh Temperatur Mesin Terhadap Kekentalan Minyak Pelumas", Fakultas Teknik USU.
3. "TM25 Journal Bearing Demonstration", Manual Book, TQ Education and Training Ltd., Nottingham, 2000.