

5. Viscositas

A. Tujuan

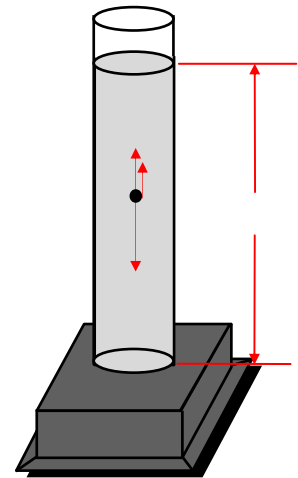
Menentukan koefisien kekentalan zat cair dengan menggunakan hukum Stokes.

B. Alat dan Bahan

- | | |
|---|---------|
| 1. Tabung stokes
[tinggi: 80 cm , Ø:10 cm, penyaring, 2 gelang pembatas] | 1 buah |
| 2. Mistar [100 cm] | 1 buah |
| 3. Mikrometer skrup [0 - 25 mm ; 0,01 mm] | 1 buah |
| 4. Neraca Ohaus [triple beam, 311 gram , 0,01 gram] | 1 buah |
| 5. Penjepit bola | 1 buah |
| 6. Bola pejal
[bahan yang sama dengan jari-jari berbeda-beda] | 10buah |
| 7. Stop Watch [interupsi type] | 1 buah. |
| 8. Airometer / Hidrometer [massa jenis < 1 gr.cm ⁻³] | 1 buah |
| 9. Termometer [-10 – 0 – 110]°C | 1 buah |

C. Dasar Teori

Sebuah benda bila digerakkan pada permukaan zat padat yang kasar maka benda tersebut akan mengalami gaya gesekan. Analog dengan hal itu, maka sebuah benda yang bergerak dalam zat cair yang kental akan mengalami gaya gesekan yang disebabkan oleh kekentalan zat cair tersebut. Dalam hal ini gaya gesekan pada benda yang bergerak dalam zat cair kental dapat kita ketahui melalui besar kecepatan benda. Menurut hukum Stokes, gaya gesekan yang dialami oleh sebuah bola pejal yang bergerak dalam zat cair yang kental adalah :



Gambar 5.1
Skema Alat

$$F_s = -6\pi\eta rV \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

dengan :

F_s : gaya gesekan zat cair (kg.m.s^{-2}),

η : koefisien kekentalan zat cair ($\text{N.m}^{-2}.\text{s}$)

r : jari-jari bola pejal (m)

V : kecepatan gerak benda dalam zat cair (ms^{-1})

Selain gaya gesekan zat cair, masih ada dua gaya yang bekerja pada benda yaitu gaya berat dan gaya ke atas, persamaan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut dapat dinyatakan dengan :

$$\Sigma F = W + F_A + F_S \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

Bila bola pejal telah mencapai kecepatan tetap, maka resultan ketiga gaya tersebut akan sama dengan nol, sehingga benda bergerak lurus beraturan. Besar kecepatannya pada keadaan itu dapat dinyatakan dengan

$$\dots\dots\dots (5.3)$$

dengan: g : percepatan gravitasi (ms^{-2}); gunakan $g = 9,87 \text{ ms}^{-2}$

ρ : massa jenis bola pejal (kg.m^{-3})

ρ_o : massa jenis zat cair (kg.m^{-3})

Bila selama bergerak lurus beraturan, bola memerlukan waktu selama t untuk bergerak sejauh y , maka persamaan (5.3) di atas dapat diubah menjadi ;

$$(5.4) \quad t = \frac{9\eta y}{2gr^2(\rho - \rho_0)} \dots\dots\dots$$

D. Prosedur Percobaan

Percobaan 1 : Menentukan harga viscositas berdasarkan grafik $t = f(y)$

- a. Ukur dan catat suhu zat cair dengan menggunakan termometer.
- b. Ukur dan catat massa jenis zat cair dengan menggunakan aerometer.
- c. Pilih salah satu bola pejal yang tersedia (pilih yang kecil), ukur dan catat diameter bola dengan menggunakan mikrometer sekrup. Lakukan pengukuran ulang sebanyak 10 kali dengan posisi yang berbeda-beda (bola diputar agar mendapatkan r yang mewakili).
- d. Timbang massa bola pejal yang akan digunakan (cukup satu kali pengukuran). Perhatikan posisi skala nol sebelum alat ukur dipergunakan.
- e. Masukkan bola kedalam tabung Stokes yang berisi oli, amati gerak bola hingga bola dianggap bergerak lurus beraturan.
- f. Berilah tanda batas dengan gelang pertama ketika bola dianggap telah mengalami gerak lurus beraturan ($\pm 5-7$ cm dari permukaan zat cair).
- g. Ukur jarak yang akan diamati (y) dengan memberikan tanda dengan gelang kedua.
- h. Ambil bola yang telah dimasukkan, tiriskan, lalu masukkan kembali ke dalam tabung Stokes, amati dan catat waktu yang ditempuh bola selama bergerak lurus beraturan sepanjang y .
- i. Berdasarkan data yang anda peroleh, tentukanlah harga massa jenis bola pejal dan rata-rata jari-jari bola pejal.
- j. Dengan informasi yang anda peroleh prediksikan besar kecepatan gerak benda dalam fluida, prediksi ini akan membantu anda untuk mendapatkan data yang berkualitas.

- k. Lakukan langkah g-h untuk 10 kali percobaan dengan jarak y yang berbeda-beda dengan cara mengubah kedudukan posisi gelang kedua. Jarak gelang pertama dan kedua minimal 20cm.

Percobaan 2 : menentukan harga viscositas zat cair berdasarkan grafik fungsi $t = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$

- a. Pilih 10 buah bola dengan massa jenis yang sama (terbuat dari bahan yang sama) dan jari-jari yang berbeda (ambil bola yang tidak terlalu besar).
- b. Ukur massa (1 kali pengukuran) dan jari-jari (5 kali pengukuran) masing-masing bola.
- c. Berdasarkan data perolehan percobaan 1, prediksikan jarak antar dua gelang pembatas pada tabung Stokes, gunakan jarak ini untuk eksperimen pada percobaan 2.
- d. Kemudian ukur waktu yang diperlukan masing-masing bola pejal untuk menempuh jarak antara kedua gelang pembatas yang sudah ditentukan itu (jarak tetap) untuk setiap bola yang dijatuhkan.

E. Tugas

5.1. Tugas Awal

1. Jelaskan perbedaan antara gaya gesek zat cair dengan gaya gesek benda padat.
2. Buktikan persamaan (5.3) dan persamaan (5.4) !
3. Dengan melihat literatur, tentukanlah harga viscositas olie pada temperatur kamar!
4. Jika variabel massa jenis olie ρ_0 dan masa jenis bola yang berjari-jari r , tentukanlah besar kecepatan gerak benda!
5. Perhatikan persamaan (5.4), variabel apakah yang harus dibuat konstan agar diperoleh data untuk membuat grafik $t = f(y)$, dan bagaimanakah cara anda menentukan koefisien kekentalan zat cair dari grafik tersebut pada pertanyaan di atas ?
6. Berdasarkan persamaan (5.4), bagaimanakah bentuk prediksi grafik $t = f(1/r^2)$, dan bagaimanakah anda menentukan harga koefisien kekentalan zat cair dari grafik ini ?

7. Dengan memperhatikan prosedur mengapa pengukuran dilakukan 5-7 cm di bawah permukaan zat cair?
8. Dengan memperhatikan prosedur, buatlah tabel data pengamatan dan tentukan teori kesalahan yang akan dipergunakan dalam pengolahan data!

5.2 Arahan Pembuatan Laporan

1. Dengan menggunakan data percobaan pertama buatlah grafik $t = f(y)$, kemudian tentukan koefisien kekentalan zat cair berdasarkan grafik tersebut!
2. Dengan menggunakan data percobaan kedua, buatlah grafik $t = f(1/r^2)$, kemudian tentukan koefisien kekentalan zat cair berdasarkan grafik tersebut !
3. Bandingkan hasil dari kedua percobaan tersebut, kemudian berikan penjelasan mengenai kedua hasil itu !
4. Cocokkan harga koefisien viscositas yang telah anda peroleh dengan harga pada literatur, berikan argumentasi anda tentang hal ini !

F. Daftar Pustaka

1. Halliday & Resnick, 1978, Fisika, Edisi ketiga, jilid 1(Terjemahan Pantur Silaban Ph.D), hal 46, Erlangga, Jakarta.
2. M. Nelkon & P. Parker, 1975, *Advanced Level Physics* , pp 174 - 176, Thrid Edition, Heinemann Educational Books, London.

G. Jawaban Tugas Awal

1. Jelaskan Perbedaan antara gaya gesekan zat cair dengan gaya gesekan antara zat padat?

Jawab:

Perbedaan antara gaya gesekan zat cair dengan gaya gesekan antara zat padat adalah

- Sedikit berbeda dengan tekanan pada zat padat, tekanan yang dihasilkan oleh fluida menyebar ke segala arah. Sementara pada zat padat, tekanan yang dihasilkan hanya ke arah bawah (jika pada zat padat tidak diberikan gaya luar

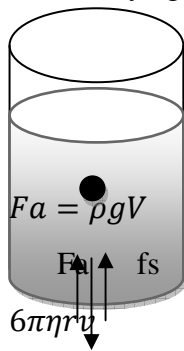
lain, pada zat padat hanya bekerja gaya gravitasi). Tekanan di dalam fluida tak bergerak yang diakibatkan oleh gaya gravitasi disebut tekanan hidrostatika.

- Pada zat padat gaya gesekan bergantung pada luas permukaan yang saling bersentuhan dimana pada saat itu ada gaya Normal.
- Sedangkan pada zat cair gaya gesek bergantung pada kecepatan relatif benda dan berbanding terbalik dengan luas fluida yang bersentuhan, viskositas itu sering terjadi karena gaya kohesi antar molekul.

2. Buktikan persamaan (5.3) dan persamaan (5.4)!

Jawab :

Ketika benda bergerak pada zat cair, maka pada saat itu akan terjadi beberapa gaya diantaranya gaya berat(W), gaya ke atas(F_a), dan gaya gesek.



$$\sum F = 0$$

dimana: $W = mg$

$$-W + F_a + f_s = 0$$

$$f_s = W - F_a$$

$$f_s =$$

W

$$6\pi\eta r v = \rho g V - \rho_0 g V$$

$$6\pi\eta r v = g V (\rho - \rho_0)$$

$$6\pi\eta r v = g \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) (\rho - \rho_0)$$

$$v = \frac{g \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) (\rho - \rho_0)}{6\pi\eta r} = \frac{2r^2 g (\rho - \rho_0)}{9\eta} \quad (\text{terbukti})$$

Jika benda bergerak lurus beraturan maka:

$v = \frac{y}{t}$ dan waktu yang diperlukan untuk bergerak sejauh y adalah $t = \frac{y}{v}$,

$$\text{Maka } t = \frac{y}{\frac{2r^2 g (\rho - \rho_0)}{9\eta}} = \frac{9\eta y}{2r^2 g (\rho - \rho_0)} \quad (\text{terbukti})$$

3. Dengan melihat literatur, tentukanlah harga viskositas oli pada temperatur kamar!

Jawab :

Harga viskositas oli pada suhu kamar adalah sekitar $200 \times 10^{-3} \text{Pa.s}$.

4. Jika variabel massa jenis oli ρ dan massa jenis bola yang berjari-jari r , tentukanlah besar kecepatan benda!

Jawab :

$v = \frac{g(\frac{4}{3}\pi r^3)(\rho - \rho_0)}{6\pi\eta r} = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_0)}{9\eta}$ jika terdapat nilai r dan ρ nya maka kita akan mendapatkan nilai konkrit nya.

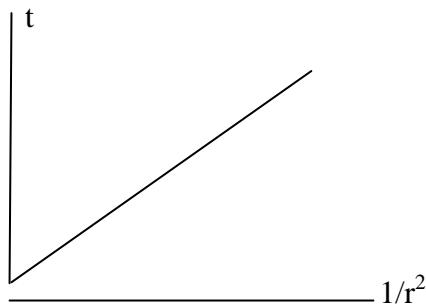
5. Perhatikan persamaan(5.3)variabel apa yang harus dipertahankan untuk memperoleh data untuk membuat grafik $t=f(y)$ dan bagaimanakah cara anda untuk menentukan koefisien kekentalan zat cair dari grafik tersebut pada pertanyaan di atas?

Jawab:

Variabel yang dibuat tetap adalah massa jenis (bahannya tetap), massa benda, massa jenis dari fluida nya itu sendiri, kekentalan zat cair dan percepatan gravitasi. Untuk menentukan koefisien kekentalan zat cair kita bisa mencari gradien dari kurva yang akan kita prediksi, karena $(2r^2 t g(\rho - \rho_0))/9y = \eta$ maka
 $\eta = 2r^2 \tan\theta g(\rho - \rho_0)/9$ atau sama dengan $\tan\theta$ atau gradien garisnya

6. Berdasarkan persamaan (5.4) bagaimanakah bentuk prediksi grafik $t = f(1/r^2)$, dan bagaimanakah anda menentukan harga koefisien viskositas dari grafik ini?

Jawab:



Dengan membuat gradien pada grafik yang telah kita buat

$t = \frac{9\eta y}{2r^2 g(\rho - \rho_0)}$ maka $\eta = \frac{2tr^2 g(\rho - \rho_0)}{9y}$ dapat diperkirakan bahwa

$$\eta \sim tr^2 \sim \frac{t}{\frac{1}{r^2}} \sim (\text{gradien}), \text{ jadi } \eta = \frac{2 \tan \theta g(\rho - \rho_0)}{9y}$$

7. Dengan memperhatikan prosedur mengapa pengukuran dilakukan 5-7 cm di bawah permukaan zat cair?

Jawab :

Karena pada saat diperkirakan 5-7cm benda mencapai kecepatan terminalnya dan benda bergerak dengan kecepatan konstan(gerak lurus beraturan) dan itu yang akan diamati pada percobaan viskositas.

8. Dengan memperhatikan prosedur, buatlah tabel data pengamatan dan tentukan teori kesalahan yang akan dipergunakan dalam pengolahan data?

Jawab :

Massa bola =

Suhu ruangan =

Tekanan diruangan =

Percobaan 1

Menentukan nilai viskositas dengan menggunakan grafik $t=f(y)$

No	$d \pm \Delta d$ (jari-jari)	$y \pm 0,05$ cm	$t \pm \Delta t$

Percobaan 1

Menentukan nilai viskositas dengan menggunakan grafik $t=f(\frac{1}{r^2})$

No	$d \pm 0,05$ cm					$y \pm 0,05$ cm	$t \pm 0,05$ s	$m \pm 0,005$ g
	1	2	3	4	5			

Teori kesalahan yang digunakan adalah teori kesalahan berulang,,

Yaitu

Percobaan 1 kita menggunakan teori kesalahan grafik sebagai berikut :

$$\Delta \eta = \frac{2r^2 \Delta \tan \theta g(\rho - \rho_0)}{9}$$

Percobaan 2 kita menggunakan teori kesalahan grafik sebagai berikut :

$$\Delta\eta = \frac{2\Delta\tan\theta g(\rho - \rho_0)}{9y}$$

H. Tabel Data

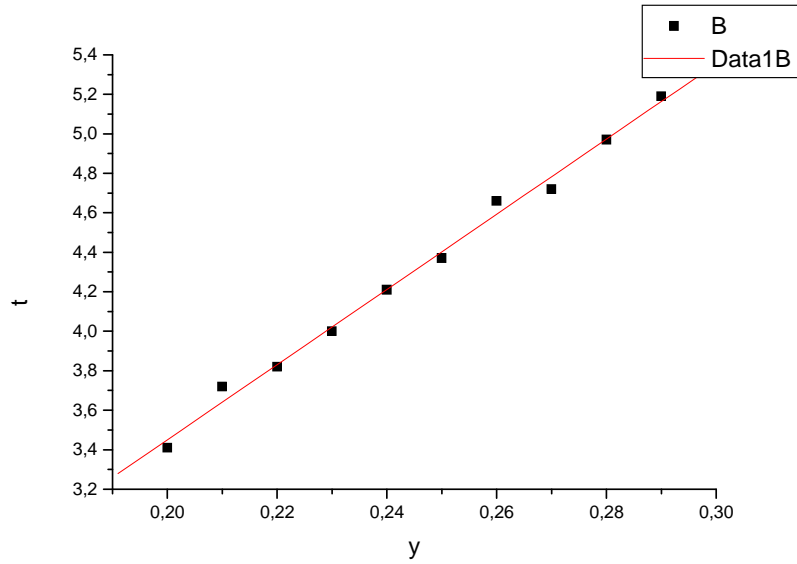
Percobaan 1

Dengan menggunakan bola pejal yang sama (dengan penghitungan diameternya sebanyak 10 kali) dengan jarak yang diubah-ubah.

Maka data yang diperoleh adalah :

no	d±	R±0,005	R ²	y±0,05	t±0,005
1	12,35	0,0062	0,000038	0,20	3,410
2	12,41	0,0062	0,000039	0,21	3,720
3	12,34	0,0062	0,000038	0,22	3,820
4	12,27	0,0061	0,000038	0,23	4,000
5	12,17	0,0061	0,000037	0,24	4,210
6	12,2	0,0061	0,000037	0,25	4,370
7	12,19	0,0061	0,000037	0,26	4,660
8	12,49	0,0062	0,000039	0,27	4,720
9	12,13	0,0061	0,000037	0,28	4,970
10	12,12	0,0061	0,000037	0,29	5,190

R² rata-rata = 0,000038



08/02/2010 11:05

Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error		
A	-0,35691	0,13148		
B	19,03636	0,53299		
R	SD	N	P	
0,99688	0,04841	10	<0.0001	

Untuk mencari koefisien kekentalan zat cair menggunakan rumus,

$$\eta = \frac{2r^2 \tan\theta g(\rho - \rho_0)}{9}$$

dalam percobaan ini digunakan jenis zat cair yaitu oli, maka dapat dihitung koefisien kekentalan oli melalui data hasil percobaan dan grafik.

$$\eta = \frac{2r^2 \tan\theta g(\rho - \rho_0)}{9}$$

$$\eta = \frac{2(0,000038)(19)(9,8)(1286,3 - 880)}{9}$$

$$\eta = 0,633 \text{ Pa.s}$$

$$\begin{aligned} \Delta\eta &= \frac{2r^2 \Delta \tan\theta g(\rho - \rho_0)}{9} \\ &= \frac{2(0,000038)(0,533)(9,8)(1286,3 - 880)}{9} \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0,017$$

$$\text{jadi } \eta = 0,633 \pm 0,017 \text{ Pa.s}$$

Adapun presisi kesalahannya adalah $\frac{\Delta\eta}{\eta} \times 100\% = \frac{0,017}{0,633} \times 100\% = 2,7\%$

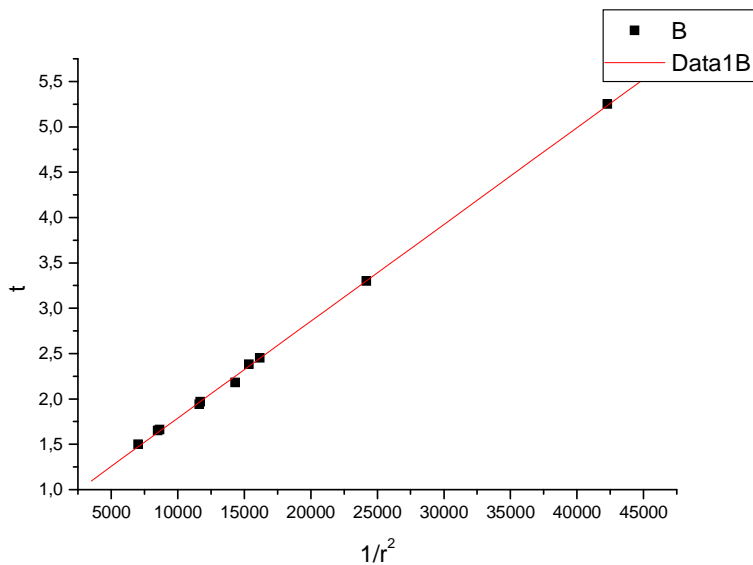
Percobaan 2

Percobaan dengan menggunakan 10 bola pejal dengan jari-jari dan massa yang berbeda dengan jarak yang sama.

Maka data yang diperoleh adalah :

No	m	D					\bar{D}	\bar{R}	1/R ²	t
		1	2	3	4	5				
1	0,6	9,78	9,73	9,71	9,7	9,7	9,724	4,862	42302,8952	5,25
2	1,24	12,85	12,86	12,87	12,85	12,86	12,858	6,429	24194,3048	3,3
3	2,34	15,98	15,54	15,62	15,84	15,63	15,722	7,861	16182,4550	2,45
4	2,77	16,8	16,5	16,81	16,5	16,96	16,714	8,072	15347,5018	2,38
5	2,75	16,02	16	16,39	16,2	16,11	16,144	8,357	14318,5551	2,18
6	4,21	18,65	18,46	18,47	18,37	18,46	18,482	9,241	11710,1393	1,97
7	4,1	18,44	18,63	18,62	18,43	18,64	18,552	9,276	11621,9371	1,94
8	6,54	21,42	21,57	21,41	21,53	21,69	21,524	10,762	8634,0394	1,66
9	6,56	21,71	21,81	21,66	21,67	21,64	21,698	10,849	8496,1189	1,65
10	8,03	23,8	23,92	23,91	23,69	23,96	23,856	11,928	7028,5338	1,5

Dengan y tetap yaitu 20 cm.



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	0,72226	0,01834

B	1,06718E-4	9,73962E-7	

R	SD	N	P

0,99967	0,03066	10	<0.0001

$$\eta = \frac{2 \tan \theta g (\rho - \rho_0)}{9y}$$

$$\eta = \frac{2(0,0001) (9,8)(1286,3 - 880)}{9(20)}$$

$$\eta = 0,473$$

$$\Delta \eta = \frac{2 \Delta \tan \theta g (\rho - \rho_0)}{9y}$$

$$\Delta \eta = 0,0046$$

$$\text{jadi } \eta = 0,473 \pm 0,0046 \text{ Pa. s}$$

Adapun presisi kesalahannya adalah $\frac{\Delta\eta}{\eta} \times 100\% = \frac{0,0046}{0,473} \times 100\% = 9,7\%$

I. Analisis Data

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat kita analisis bahwa menggunakan 2 metode grafik dengan menggunakan grafik $t = f(y)$ dan dengan grafik $t = f(1/r^2)$, ternyata hasilnya berbeda dengan literatur yang ada. Yaitu dari percobaan yang pertama didapatkan koefisien oli adalah

$$\eta = 0,633 \pm 0,017 \text{ Pa. s}$$

Dengan presisi sebesar 2,7%

Dan dari percobaan yang kedua didapatkan koefisien oli adalah

$$\eta = 0,473 \pm 0,0046 \text{ Pa. s}$$

Dengan presisi sebesar 9,7%

Dengan koefisien oli dalam literatur adalah 0,2 Pa

Perbedaan tersebut disebabkan karena beberapa hal sebagai berikut :

1. Suhu fluida berpengaruh terhadap nilai kekentalan dari fluida itu sendiri, ketika suhu rendah, kekentalan fluida akan semakin besar, dan ketika suhu tinggi kekentalan semakin berkurang.
2. Keadaan fluida berpengaruh terhadap nilai kekentalan. Fluida yang kami gunakan dalam hal ini sudah tidak homogen lagi sehingga koefisien fluida tidak sama dengan literatur.
3. Benda(bola pejal) tidak bulat sempurna sehingga luar permukaan yang bergesekan dengan fluida berbeda-beda.
4. Kesalahan paralaks dalam menghitung diameter bola pejal/ mengukur diameter benda melalui mikrometerskrup.
5. Gerakan GLB pada bola pejal sulit teramati karena warna oli yang gelap.
6. Pada jarak antara karet relatif besar maka GLB sulit tercapai karena GLB itu perpotongan dari GLBB.

Saran

1. Kalibrasikan terlebih dahulu alat ukur.
2. Sebaiknya mengganti oli yang murni atau baik.

3. Bola yang digunakan harus homogen dan bulat sempurna.
4. Posisi bola ketika dijatuhkan harus tetap.
5. Tentukan terlebih dahulu kecepatan terminal yang dicapai oleh benda secara teoritis.
6. Jika oli tidak diganti atau oli gelap disarankan menggunakan lampu untuk menerangi oli yang gelap.
7. Jarak antar gelang jangan terlalu jauh agar mendapatkan gerakan yang mendekati GLB.
8. Amati terlebih dahulu pencapaian GLB untuk menentukan posisi gelang pertama.

J. Kesimpulan

Dari data hasil percobaan didapatkan koefisien kekentalan zat cair yaitu :

1. Percobaan pertama didapatkan $\eta = 0,633 \pm 0,017 \text{ Pa. s}$ dengan presisi kesalahan sebesar 2,7%.
2. Percobaan kedua didapatkan $\eta = 0,473 \pm 0,0046 \text{ Pa. s}$ dengan presisi kesalahan sebesar 9,7%

Hal itu berbeda dengan literatur yang ada yaitu 0,2 Pa.