

METODE PENENTUAN KOEFISIEN KEKENTALAN ZAT CAIR DENGAN MENGGUNAKAN REGRESI LINEAR HUKUM STOKES

ANWAR BUDIANTO

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715
Email: taufad@yahoo.com.

Abstrak

METODE PENENTUAN KOEFISIEN KEKENTALAN ZAT CAIR DENGAN MENGGUNAKAN REGRESI LINEAR HUKUM STOKES. Telah dilakukan uji yang bertujuan untuk mengetahui nilai viskositas air, minyak goreng, olie serta untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap nilai viskositas masing-masing. Metode yang digunakan adalah metode bola jatuh. Penelitian dilakukan ketika bola telah bergerak dengan kecepatan konstan (GLB), maka berlaku $W = F_S + F_A$, dengan W =gaya berat bola, F_S = gaya stokes, F_A = gaya archimedes. Penelitian dimulai dengan menjatuhkan bola ke dalam fluida, dilanjutkan mencatat waktu tempuh bola (t) oleh variasi jarak (d) dari 50 cm sampai 150 cm. Nilai viskositas diperoleh dengan

persamaan : $\eta = \frac{A \phi^2 g (\rho_h - \rho_f)}{18}$ dengan A diperoleh dari analisis regresi linier. Dari hasil analisis data

diperoleh viskositas air, minyak goreng dan olie pada suhu 27°C berturut-turut yaitu $(0,259 \pm 0,01)$ poise, $(2,296 \pm 0,024)$ poise, dan $(8,519 \pm 0,151)$ poise. Pada suhu 90°C nilai viskositas air, minyak goreng dan olie masing-masing adalah $(0,234 \pm 0,013)$ poise, $(1,353 \pm 0,048)$ poise dan $(1,492 \pm 0,043)$ poise. Dengan demikian jika suhu cairan dinaikkan, maka nilai viskositas akan berkurang.

Kata kunci: Koefisien kekentalan zat cair, Hukum Stokes

Abstract

DETERMINATION METHOD OF LIQUID VISCOSITY USING STOKES LAW LINEAR REGRESSION . It has been observed to determine the viscosity values of water, frying oil, lubrication oil and to know the temperature influence of respective viscosity values. The method utilised the fallen ball, assuming that if the ball falls with constant velocity, thus the ball weight $W = F_S + F_A$ which F_S is equals to stokes force and F_A archimedes force by falling the ball, then measuring fallen time t and displacement variation d from 50 cm to

150 cm, we can determine viscosity constant η by equation: $\eta = \frac{A \phi^2 g (\rho_h - \rho_f)}{18}$ and the A values is

achieved using linear regression. The experimental results give the viscosity values at 27°C of water, frying oil, and lubrication oil, respectively are $(0,259 \pm 0,01)$ poise, $(2,296 \pm 0,024)$ poise, and $(8,519 \pm 0,151)$ poise. While those at 90°C, the results give values of water frying oils and lubrication oil are $(0,234 \pm 0,013)$ poise, $(1,353 \pm 0,048)$ poise and $(1,492 \pm 0,043)$ poise. Thus, if the temperature is increased, then the viscosity values decrease

Keywords: Liquid viscosity, Stokes Law

PENDAHULUAN

Di antara salah satu sifat zat cair adalah kental (*viscous*) di mana zat cair memiliki koefisien kekentalan yang berbeda-beda, misalnya kekentalan minyak goreng berbeda dengan kekentalan olie. Dengan sifat ini zat cair banyak digunakan dalam dunia otomotif yaitu sebagai pelumas mesin. Telah diketahui bahwa pelumas yang dibutuhkan tiap-tiap tipe mesin membutuhkan kekentalan yang berbeda-beda. Sehingga sebelum menggunakan pelumas merek tertentu harus diperhatikan terlebih dahulu koefisien kekentalan pelumas sesuai atau tidak dengan tipe mesin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa koefisien kekentalan suatu fluida yang diukur dengan menggunakan regresi linear hukum Stokes. Sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai bahan perbandingan untuk menentukan koefisien kekentalan zat cair yang dibutuhkan oleh tiap-tiap tipe mesin. Fluida yang digunakan adalah air, minyak goreng dan olie, masing-masing pada suhu yang berbeda 27°C dan 90°C . Nilai viskositas masing-masing akan berkurang jika suhu cairan dinaikkan.

LANDASAN TEORI

Hukum Stokes

Viskositas (kekentalan) berasal dari perkataan *Viscous* (Soedjo, 1986). Suatu bahan apabila dipanaskan sebelum menjadi cair terlebih dulu menjadi *viscous* yaitu menjadi lunak dan dapat mengalir pelan-pelan. Viskositas dapat dianggap sebagai gerakan di bagian dalam (*internal*) suatu fluida (Sears & Zemansky, 1982).

Jika sebuah benda berbentuk bola dijatuhkan ke dalam fluida kental, misalnya kelereng dijatuhkan ke dalam kolam renang yang airnya cukup dalam, nampak mula-mula kelereng bergerak dipercepat. Tetapi beberapa saat setelah menempuh jarak cukup jauh, nampak kelereng bergerak dengan kecepatan konstan (bergerak lurus beraturan). Ini berarti bahwa di samping gaya berat dan gaya apung zat cair masih ada gaya lain yang bekerja pada kelereng tersebut. Gaya ketiga ini adalah gaya gesekan yang disebabkan oleh kekentalan fluida.

Khusus untuk benda berbentuk bola, gaya gesekan fluida secara empiris dirumuskan sebagai Persamaan (1) (Sears, 1984).

$$F_s = 6\pi\eta rv \quad (1)$$

dengan η menyatakan koefisien kekentalan, r adalah jari-jari bola kelereng, dan v kecepatan relatif bola terhadap fluida. Persamaan (1) pertama kali dijabarkan oleh Sir George Stokes tahun 1845, sehingga disebut *Hukum Stokes*.

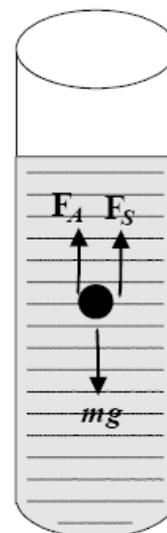
Dalam pemakaian eksperimen harus diperhitungkan beberapa syarat antara lain :

Ruang tempat fluida jauh lebih luas dibanding ukuran bola.

Tidak terjadi aliran turbulen dalam fluida.

Kecepatan v tidak terlalu besar sehingga aliran fluida masih bersifat laminar.

Sebuah bola padat memiliki rapat massa ρ_b dan berjari-jari r dijatuhkan tanpa kecepatan awal ke dalam fluida kental memiliki rapat massa ρ_f , di mana $\rho_b > \rho_f$. Telah diketahui bahwa bola mula-mula mendapat percepatan gravitasi, namun beberapa saat setelah bergerak cukup jauh bola akan bergerak dengan kecepatan konstan. Kecepatan yang tetap ini disebut kecepatan akhir v_T atau kecepatan terminal yaitu pada saat gaya berat bola sama dengan gaya apung ditambah gaya gesekan fluida. Gambar 1 menunjukkan sistem gaya yang bekerja pada bola kelereng yakni $F_A =$ gaya Archimedes, $F_s =$ gaya Stokes, dan $W = mg =$ gaya berat kelereng.



Gambar 1. Gaya yang Bekerja Pada Saat Bola Dengan Kecepatan Tetap.

Jika saat kecepatan terminal telah tercapai, pada Gambar 1 berlaku prinsip Newton tentang GLB (gerak lurus beraturan), yaitu Persamaan (2).

$$F_A + F_S = W \quad (2)$$

Jika ρ_b menyatakan rapat massa bola, ρ_f menyatakan rapat massa fluida, dan V_b menyatakan volume bola, serta g gravitasi bumi, maka berlaku Persamaan (3) dan (4).

$$W = \rho_b \cdot V_b \cdot g \quad (3)$$

$$F_A = \rho_f \cdot V_b \cdot g \quad (4)$$

Rapat massa bola ρ_b dan rapat massa fluida ρ_f dapat diukur dengan menggunakan Persamaan (5) dan (6).

$$\rho_b = \frac{\text{massa bola}}{\text{volume bola}} \quad (5)$$

$$\rho_f = \frac{(m_{gu} + m_f) - m_{gu}}{V_f} \quad (6)$$

dengan m_{gu} menyatakan massa gelas ukur, m_f massa fluida, V_f volume fluida.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (3) dan (4) ke dalam Persamaan (2) maka diperoleh Persamaan (7).

$$F_S = V_b g (\rho_b - \rho_f) \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (1) ke dalam Persamaan (7) diperoleh Persamaan (8).

$$v_T = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9\eta} \quad (8)$$

Jarak d yang ditempuh bola setelah bergerak dengan kecepatan terminal dalam waktu tempuhnya t maka Persamaan (8) menjadi Persamaan (9).

$$\frac{d}{t} = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9\eta}$$

$$\frac{1}{t} = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9d\eta}$$

$$t = \frac{9d\eta}{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}$$

$$\text{Atau } t = k d \quad (9)$$

$$\text{Dengan nilai } k = \frac{9\eta}{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)} \quad (10)$$

atau dalam grafik hubungan ($d-t$), nilai k merupakan kemiringan grafik (*slope*).

Dengan mengukur kecepatan akhir bola yang radius dan rapat massa telah diketahui, maka viskositas fluida dapat ditentukan. Untuk memperoleh nilai viskositas fluida, Persamaan (10) diubah dalam bentuk Persamaan (11).

$$\eta = \frac{k 2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9} \quad (11)$$

Satuan viskositas fluida dalam sistem cgs adalah *dynes det cm⁻²*, yang biasa disebut dengan istilah **poise** di mana 1 poise sama dengan 1 *dynes det cm⁻²*. Viskositas dipengaruhi oleh perubahan suhu. Apabila suhu naik maka viskositas menjadi turun atau sebaliknya.

Beberapa nilai viskositas bahan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Viskositas Zat Cair

Bahan	Suhu t (°C)	Viskositas η (poise)
Air	20	1,005 x10 ⁻²
(Sears & Zemansky, 1982)	80	0,357 x10 ⁻²
Minyak Jarak	20	9,86
(Sears & Zemansky, 1982)	80	0,30
Oli Mesin (SAE 10) (Tipler, 1998)	30	2

Regresi Linier

Untuk menyatakan hubungan fungsional antara dua variabel yakni variabel terikat dan variabel bebas, dapat dinyatakan dengan persamaan matematik yang disebut persamaan regresi. Untuk keadaan khusus di mana grafik regresi berbentuk garis lurus (linier) maka persamaan regresinya secara umum diberikan oleh Persamaan (12).

$$Y_i = AX_i + B \quad (12)$$

Salah satu cara untuk menentukan grafik regresi linier adalah dengan “asas kuadrat terkecil.” Asas ini menghendaki supaya garis-garis tersebut ditarik sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat-kuadrat penyimpangannya adalah sekecil mungkin (Djonoputro, 1980).

Koefisien-koefisien A dan B dapat ditentukan dengan Persamaan (13) dan (14).

$$A = \frac{N(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad (13)$$

$$S_r^2 = \frac{1}{N-2} \left[(\sum Y_i^2) - \frac{(\sum X_i^2)(\sum Y_i)^2 - 2(\sum X_i)(\sum X_i Y_i)\sum Y_i + N(\sum X_i Y_i)^2}{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \right] \quad (15)$$

Untuk mengetahui ralat baku koefisien A pada Persamaan (12) dapat ditentukan S_A dengan Persamaan (16).

$$S_A = S_y \sqrt{\frac{N}{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}} \quad (16)$$

Berdasarkan Persamaan (9), (10) dan (12) diperoleh suatu kesetaraan:

$$Y = t$$

$$Ax = kd$$

$$B = 0$$

dengan $A = \frac{9\eta}{2r^2g(\rho_b - \rho_f)}$; dan $x = d$ (17)

Berdasarkan Persamaan (17) diperoleh:

$$\eta = \frac{A 2r^2g(\rho_b - \rho_f)}{9}$$

Jika diameter bola ϕ adalah 2 kali jari-jari r, dengan $r = \frac{\phi}{2}$, maka

$$\eta = \frac{A\phi^2g(\rho_b - \rho_f)}{18} \quad (18)$$

$$B = \frac{N(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad (14)$$

dengan N menyatakan banyaknya pengukuran, X_i adalah pengukuran X urutan ke $i = 1, 2, 3, \dots$, dan Y_i adalah pengukuran Y urutan ke $i = 1, 2, 3, \dots$

Ralat yang muncul dalam estimasi grafik regresi disebut ralat baku estimasi S_y (*standard error of estimate*) yang nilainya dapat ditentukan dengan Persamaan (15).

Ralat perambatan koefisien visositas ($\Delta\eta$) ditentukan dengan Persamaan (19) (Djonoputro, 1980).

$$\Delta\eta = \left| \frac{\partial\eta}{\partial A} dA \right| \quad (19)$$

Dengan $\frac{\partial\eta}{\partial A} = \frac{\phi^2g(\rho_b - \rho_f)}{18}$ dengan $\partial A = S_A$, maka ralat perambatan koefisien kekentalan

$$\Delta\eta = \frac{\phi^2g(\rho_b - \rho_f)}{18} \times S_A \quad (20)$$

CARA PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan penelitian ini diberikan pada Tabel 2.

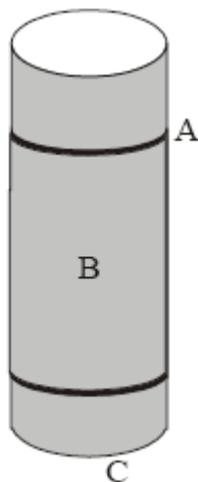
Tabel 2. Bahan dan Alat yang Digunakan.

Alat	Bahan
Tabung gelas dengan dua gelang karet dengan tinggi 175 cm dan diameter 10 cm	Air
Stop Watch	Minyak Goreng cap Barko
Bola kelereng, Termometer, Jangka sorong, Mistar, Timbangan emas, Gelas ukur	Olie Mesran Super (SAE 20-50)

Jalannya Penelitian

Data diperoleh dengan melakukan kegiatan praktikum dengan langkah kerja sebagai berikut:

1. Mengukur suhu fluida dengan termometer.
2. Menghitung rapat massa bola kelereng dan rapat massa fluida dengan Persamaan (5) dan (6).
3. Menyiapkan tabung gelas yang berisi fluida seperti pada Gambar 2 dengan menempatkan dua gelang karet yang satu ± 20 cm di bawah permukaan fluida dan yang lain ada di dasar tabung dapat digeser-geser.



Gambar 2. Susunan Alat Eksperimen Secara Skematis

Keterangan

- A : Gelang karet
B : Fluida kental
C : Tabung kaca

4. Mengukur jarak antara dua gelang sebagai jarak d_1 .
5. Menjatuhkan kelereng ke dalam fluida dengan tanpa kecepatan awal.
6. Menghitung waktu yang diperlukan kelereng untuk menempuh jarak antara kedua gelang (d_1) dengan menggunakan stop watch.
7. Mengubah jarak antara dua gelang dengan menggeser gelang yang ada pada bagian bawah, sehingga jarak antara kedua gelang menjadi d_2 .
8. Mengulangi percobaan pada langkah ke-5.

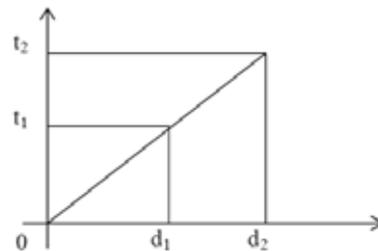
9. Mengulangi percobaan pada langkah ke-6.

10. Mencatat data yang diperoleh dan memasukkan ke dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Antara D Dengan T

No	d (cm)	t (s)
1	d_1	t_1
2	d_2	t_2
3	d_3	t_3
dst	dst	dst

11. Membuat grafik d-t dari tabel kerja pada langkah ke-10 hingga diperoleh bentuk grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan t Dengan d

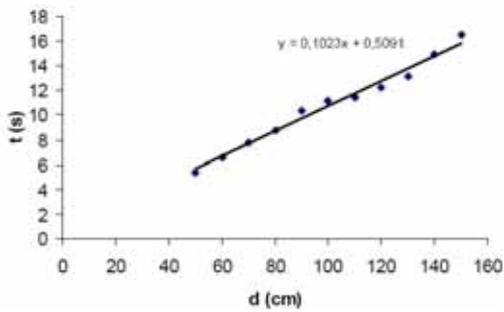
Setelah data terkumpul nilai viskositas (η) diperoleh secara tidak langsung yaitu dengan menggunakan analisis grafik regresi linier $Y = AX + B$ dengan metoda asas kuadrat terkecil dilanjutkan perhitungan matematik menggunakan Persamaan (18), sedangkan ralat perhitungan menggunakan Persamaan (20).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dengan melakukan kegiatan sesuai dengan langkah kerja pada jalannya penelitian, maka hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

Viskositas Air

Secara grafik hasil eksperimen untuk bahan air pada suhu 27°C dan 90°C dapat ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



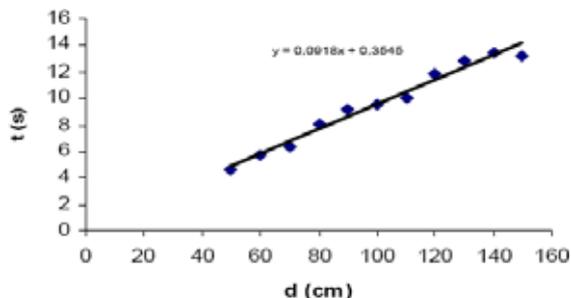
Gambar 4. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Penelitian Air Pada Suhu 27°C.

Dari Gambar 4, diperoleh nilai $A = 0,102$; dan $S_A = 0,004$ maka diperoleh nilai viskositas air pada suhu 27° C adalah $(0,259 \pm 0,01)$ poise.

Dari Gambar 5, diperoleh nilai $A = 0,092$; dan $S_A = 0,005$ sehingga diperoleh nilai viskositas air pada suhu 90° C adalah $(0,234 \pm 0,013)$ poise.

Gambar 4 dan 5 menunjukkan grafik kecepatan jatuhnya kelereng dalam air. Oleh karena kecepatan merupakan kemiringan grafik (d-t) tampak bahwa kecepatan untuk data 2 lebih besar dibanding dengan data 1. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4 yang lebih curam dibanding Gambar 5.

Berdasar Lampiran 1 dan Persamaan (6) kecepatan jatuhnya kelereng berbanding terbalik dengan nilai viskositas maka untuk data 1 viskositasnya lebih besar dibandingkan dengan data 2. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan suhu mempunyai pengaruh terhadap nilai viskositas air. Tampak pada kedua gambar di atas makin tinggi suhu diikuti oleh makin curamnya grafik, itu berarti makin tinggi suhu akan diikuti oleh makin rendahnya viskositas air.



Gambar 5. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Penelitian Air Pada Suhu 90°C

Apabila dibandingkan dengan nilai viskositas air yang tercantum dalam Tabel 1 hasil penelitian untuk data 1 dan data 2 masih

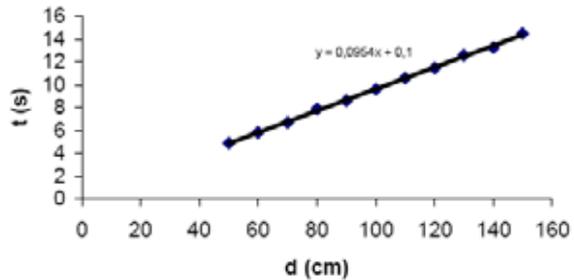
relatif jauh, ini juga tampak pada nilai ketidakpastian yang besar.

Viskositas Minyak

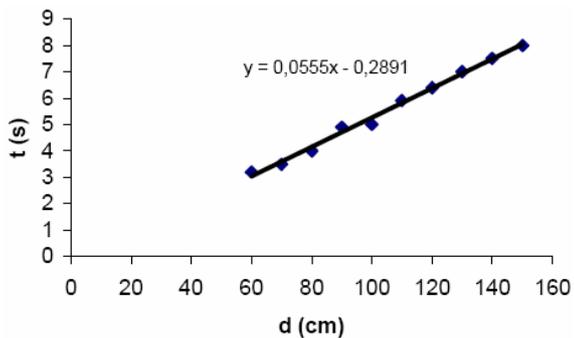
Berdasarkan Lampiran 1, hasil eksperimen dengan bahan penelitian minyak goreng dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

Dari hasil eksperimen Gambar 6, diperoleh nilai $A = 0,095$; dan $S_A = 0,001$ maka diperoleh nilai viskositas minyak goreng pada suhu 27° C adalah $(2,296 \pm 0,024)$ poise.

Dari hasil eksperimen Gambar 7, diperoleh nilai $A = 0,056$; dan $S_A = 0,002$ maka diperoleh nilai viskositas minyak goreng pada suhu 90° C adalah $(1,353 \pm 0,048)$ poise. Tampak pada Gambar 6 dan 7 dapat dibandingkan bahwa Gambar 7 lebih curam dari Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Minyak Goreng Pada Suhu 27°C

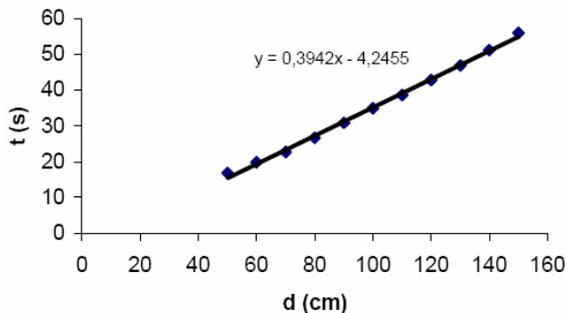


Gambar 7. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Penelitian Minyak Goreng Pada Suhu 90°C

Ini memberikan informasi bahwa nilai viskositas untuk data 1 lebih besar dibanding dengan data 2, dan ini juga dapat dilihat pada perhitungan matematik di atas. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan yang sama bahwa suhu berpengaruh terhadap kekentalan minyak goreng yaitu makin tinggi suhu akan makin rendah viskositas atau sebaliknya.

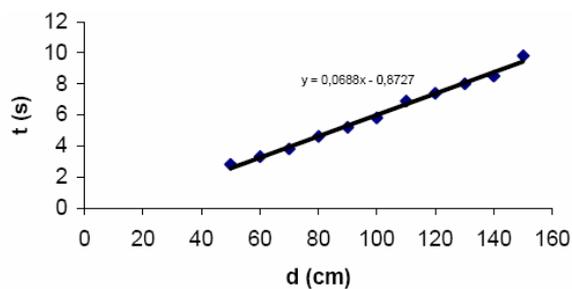
Viskositas Olie

Berdasarkan Lampiran 1, hasil eksperimen dengan bahan penelitian olie dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Penelitian Olie Pada Suhu 27°C

Dari hasil eksperimen Gambar 8, diperoleh nilai $A = 0,394$; dan $S_A = 0,007$ maka diperoleh nilai viskositas olie pada suhu 27°C adalah $(8,519 \pm 0,151)$ poise.



Gambar 9. Hasil Eksperimen Untuk Bahan Penelitian Olie Pada Suhu 90°C

Dari hasil eksperimen Gambar 9, diperoleh nilai $A = 0,069$; dan $S_A = 0,002$ maka diperoleh nilai viskositas olie pada suhu 90°C adalah $(1,492 \pm 0,043)$ poise.

Seperti halnya air dan minyak goreng olie juga dipengaruhi oleh suhu, yang mana dapat dilihat pada Gambar 9 yang lebih curam dibanding Gambar 8. Tampak bahwa makin tinggi suhu diikuti makin curamnya grafik ini memberikan informasi suhu semakin tinggi diikuti makin rendahnya viskositas olie atau sebaliknya.

Apabila dibandingkan dengan nilai viskositas yang tercantum dalam Tabel 1. Berdasarkan Lampiran 1, hasil data 1 mendekati tetapi untuk data 2 peneliti tidak bisa membandingkan dengan hasil penelitian orang lain karena terbatasnya literatur yang digunakan.

Dalam hubungannya dengan dunia otomotif, olie yang baik adalah olie yang viskositasnya relatif tetap terhadap pengaruh perubahan suhu. Oleh karena makin lama mesin dipakai diikuti pula makin panas suhu mesin sehingga olie dengan derajat lebih encer sering digunakan untuk melumasi mesin olie pada musim dingin dibanding pada musim panas.

Meskipun secara umum hasil penelitian adalah relatif jauh dengan yang dilakukan oleh orang lain, hal ini kesalahan yang mungkin timbul adalah tidak tepatnya menghidupkan dan mematikan stop watch saat kelereng mulai masuk gelang 1 dan lulus gelang 2, dimungkinkan juga terjadi kesalahan dalam pengukuran massa jenis masing-masing bahan maupun dalam pengukuran diameter kelereng yang digunakan. Namun metode ini sudah memberikan gambaran aplikasi teori Fisika Dasar dalam praktek laboratorium.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Viskositas masing-masing bahan.

Bahan	Suhu (t) °C	Viskositas (η) poise	Ketidakpastian
Air	27°C	$(0,3 \pm 0,01)$	3,86%
	90°C	$(0,2 \pm 0,01)$	5,55%
Minyak Goreng	27°C	$(2,3 \pm 0,02)$	1,05%
	90°C	$(1,4 \pm 0,05)$	3,55%
Olie	27°C	$(8,5 \pm 0,2)$	1,77%
	90°C	$(1,5 \pm 0,04)$	2,88%

2. Viskositas air, minyak goreng dan olie dipengaruhi oleh perubahan suhu. Apabila suhu semakin rendah maka viskositas semakin tinggi. Dan apabila suhu semakin tinggi maka viskositas semakin rendah.

Pengamatan untuk menentukan waktu tempuh kelereng diperlukan alat khusus yang mampu menentukan waktu secara tepat. Dalam hal ini bisa dilakukan dengan memasang sensor waktu pada kedua gelang dan menghubungkan dengan jam digital sehingga waktu yang diperoleh akan lebih tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Agus Arianto, mahasiswa Universitas Muhammadiyah Purworejo yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. DJONOPUTRO, D., 1980, *Teori Ketidakpastian*. Penerbit ITB, Bandung.
2. HALLIDAY-RESNICK, 1985, *Fisika*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
3. SEARS, F. W., 1984, *Mekanika Panas dan Bunyi*. Penerbit Bina Cipta, Jakarta.
4. SEARS & ZEMANSKY, 1982, *Fisika Universitas*, Penerbit Bina Cipta, Bandung.
5. SOEDOJO, P., 1986, *Asas-asas Ilmu Fisika*, Penerbit Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
6. TIPLER, 1998, *Fisika Untuk Sains dan Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN

Air

Data 1. Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 27°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d(cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	5.4	6.6	7.8	8.8	10.3	11.1	11.4	12.2	13.1	14.9	16.5
V(cm/s)	9,3	9,1	9,0	9,1	8,7	9,0	9,6	9,8	9,9	9,4	9,1

Data 2. Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 90°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d(cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	4.6	5.8	6.4	8.1	9.2	9.5	10	11.9	12.8	13.4	13.2
V(cm/s)	10,9	10,3	10,9	9,9	9,8	10,5	11	10,1	10,2	10,4	11,4

Minyak Goreng

Data 1 Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 27°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d(cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	4.9	5.8	6.7	7.9	8.6	9.6	10.6	11.5	12.6	13.3	14.5
V(cm/s)	10,2	10,3	10,4	10,1	10,5	10,4	10,4	10,4	10,3	10,5	10,3

Data 2 Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 90°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d(cm)	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	3.2	3.5	4	4.9	5	5.9	6.4	7	7.5	8
V(cm/s)	18,7	20	20	18,4	20	18,6	18,8	18,6	18,7	18,8

Olie

Data 1 Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 27°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d(cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	16.8	19.8	22.7	26.6	30.8	34.9	38.6	42.8	46.8	51.2	55.9
V(cm/s)	2,9	3,0	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7

Data 2 Hubungan Antara D Dengan T Pada Suhu 90°C

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d(cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
t(s)	2.8	3.3	3.8	4.6	5.2	5.8	6.9	7.4	8	8.5	9.8
V(cm/s)	17,9	18,2	18,4	17,4	17,3	17,2	15,9	16,2	16,3	16,5	15,3

LAMPIRAN 2 RAPAT MASSA

Rapat Massa Kelereng

1. Massa kelereng ($1,9 \pm 0,5$)gr

Data Pengukuran Diameter Kelereng

No	Diameter (cm)	$ d - \bar{d} $	Volume (cm ³)	$ v - \bar{v} $
1	1,53	0	1,87	0
2	1,52	0,01	1,84	0,03
3	1,52	0,01	1,84	0,03
4	1,54	0,01	1,91	0,04
5	1,53	0	1,87	0
Σ	7,64	0,03	9,33	0,1

$$\text{Volume} : \frac{1}{6} \pi (d)^3$$

Diameter rata-rata (\bar{d}):

$$\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n} = \frac{7,64}{5}$$

Ralat (Δd):

$$\Delta d = \frac{\sum |d - \bar{d}|}{n}$$

$$= \frac{0,03}{5} = 1,53 \text{ cm}$$

Volume rata-rata (\bar{V}):

$$\bar{V} = \frac{\sum V}{n} = \frac{9,33}{5} = 1,87 \text{ cm}^3$$

Ralat (ΔV):

$$\Delta d = \frac{\sum |v - \bar{v}|}{n}$$

$$= 0,1$$

$$= 0,02$$

2. Diameter kelereng ($1,53 \pm 0,01$) cm
3. Volume kelereng ($1,87 \pm 0,5$) cm³
4. Massa jenis kelereng (ρ_b):

$$\rho_b = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{1,9 \text{ gr}}{1,87 \text{ cm}^3} = 1,02 \text{ gr/cm}^3$$

Rapat Massa Bahan

1. Rapat Massa Air

Pada suhu 0°C dan 1 atm : 1 gr/cm³. (Halliday Resnick, 1985: 555)

2. Rapat Massa Minyak Goreng

- a. Massa gelas ukur (m_{gu}) = (126,75 ± 0,5) gr.
- b. Massa gelas ukur + massa minyak ($m_{gu} + m_f$) = (136,7 ± 0,5) gr.
- c. Volume minyak (V_f) = (12 ± 0,5) × 10⁻³ liter.

1 Liter = 1 × 10⁻³ m³ maka $V_f = (12 \pm 0,5) \text{ cm}^3$.

$$\text{Massa jenis minyak } (\rho_m) = \frac{(M_{gu} + M_f) - M_{gu}}{V_f}$$

$$= \frac{(136,7 + 126,75) \text{ gr}}{12 \text{ cm}^3} = 0,83 \text{ gr/cm}^3$$

3. Rapat Massa Olie

- a. $M_{gu} = (126,75 \pm 0,5) \text{ gr}$.
- b. $M_{gu} + M = (136,15 \pm 0,5) \text{ gr}$.
- c. Volume olie (V_f) = (11 ± 0,5) cm³.

$$\text{Massa Jenis Olie } (\rho_o) = \frac{(M_{gu} + M_f) - M_{gu}}{V_f}$$

$$= \frac{(136,7 + 126,75) \text{ gr}}{11 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,85 \text{ gr/cm}^3$$