

Pengukuran Koefisien Gesekan Bola dalam Gliserin Menggunakan Metode Bola Jatuh dengan Analisis Video Berbantuan *Software Tracker*

Christian Try Syah Warman Waruwu¹, Ign Edi Santosa²

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma,
Paingan, Maguwohardjo, Sleman, Yogyakarta

Email : christianwaruwu13@gmail.com¹, edi@usd.ac.id²

Abstract: *Measurement the drag coefficient of a ball in a fluid has been carried out using the falling ball method with video analysis assisted by tracker software. The value of the drag coefficient is usually used as a constant. In contrast, in this study, the measurement of the drag coefficient and the measurement of fluid viscosity can be carried out through observing the dynamics of its motion. The motion of a free-falling ball is recorded using a camera which is then analyzed using tracker software to obtain the velocity and acceleration of the ball. The data is used to calculate the drag coefficient. The results show that the drag coefficient of a ball with a smooth surface moving in glycerine is around 0.5 which is in agreement with the accepted publication. Furthermore, using the same set of experiments, the viscosity of glycerine can also be measured.*

Keywords: *drag coefficient, viscosity, video analysis, tracker, glycerine*

Abstrak: Pengukuran koefisien gesekan bola di dalam fluida telah dilakukan menggunakan metode bola jatuh dengan analisis video berbantuan *software tracker*. Selama ini nilai koefisien gesek umumnya digunakan sebagai tetapan dalam pembelajaran tanpa pengukuran langsung. Berbeda dengan hal tersebut pada penelitian ini melalui satu rangkaian percobaan dapat dilakukan pengukuran koefisien gesek dan pengukuran viskositas fluida melalui pengamatan dinamika gerakannya. Gerak bola jatuh bebas direkam menggunakan kamera yang kemudian dianalisis menggunakan *software tracker* untuk memperoleh nilai kecepatan dan percepatan bola terhadap waktu. Data tersebut digunakan untuk menghitung gaya gesek dan menentukan nilai koefisien gesek. Nilai koefisien gesek didapatkan dengan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada bola saat bergerak melalui fluida berupa gliserin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien gesek dari bola dengan permukaan halus yang bergerak di dalam gliserin berada di sekitar 0,5 yang sesuai dengan tetapan koefisien gesek pada fluida secara umum. Selanjutnya menggunakan rangkaian percobaan yang sama nilai viskositas gliserin juga dapat diukur.

Kata kunci: koefisien gesek, viskositas, video analisis, *tracker*, gliserin

1. PENDAHULUAN

Topik penelitian tentang fluida banyak menyangkut viskositas. Hal ini terkait dengan metoda pengukuran, alat yang digunakan dan teori yang mendasari pengukuran. Ferriawan (2024) menggunakan metode bola jatuh untuk mengukur viskositas gliserin dengan bantuan *software Tracker*. Nilai viskositas gliserin ditentukan dari pengukuran nilai kecepatan terminal bola dengan mempertimbangkan pengaruh gaya massa virtual pada bola.

Bola yang bergerak turun di dalam fluida akan mencapai kecepatan terminal, karena adanya gaya gesek (Wadhwa, 2008). Dalam pembelajaran fisika, konsep gaya gesek dalam fluida biasanya disampaikan secara teoritis khususnya nilai koefisien gesekan benda (C_d) dianggap sebagai tetapan tanpa disertai dengan eksperimen pengukuran langsung. Akibatnya, siswa

cenderung melihat koefisien gesekan sebagai tetapan tanpa memahami konsep fisika dibaliknya. Konsep gaya merupakan materi pokok dalam mekanika yang menjadi landasan untuk memahami gerak benda (Tipler, 1991; Gregory, 2006). Kurangnya pengalaman pengamatan langsung membuat pemahaman siswa terkait interaksi antara benda dan fluida menjadi kurang mendalam.

Penelitian yang dilakukan oleh Cross (2016) menunjukkan bahwa metode bola jatuh merupakan pendekatan eksperimental yang efektif untuk mengkaji dinamika benda dalam fluida. Melalui pengamatan terhadap pergerakan bola golf dalam air, ditemukan bahwa nilai koefisien gesekan (C_d) mengalami perubahan signifikan saat bola memasuki air dengan kecepatan tinggi. Perubahan ini disebabkan oleh interaksi antara fluida dengan permukaan bola yang mengubah pola aliran disekitar bola. Selain itu ketika bola pertama kali masuk ke dalam fluida, bola seakan-akan mengalami peningkatan massa sejenak sebelum mencapai kecepatan terminal. Hal tersebut dikarenakan ketika sebuah benda dipercepat di dalam fluida, sebagian dari fluida yang mengelilinginya juga dipercepat (Merle dkk., 2011).

Penelitian ini dikembangkan untuk mengukur dua parameter sekaligus yaitu koefisien gesekan bola dan viskositas gliserin berkonsentrasi 70% dalam satu rangkaian bola jatuh. Data posisi terhadap waktu diperoleh dari analisis rekaman menggunakan *software tracker*. Dengan pendekatan ini, siswa dapat mengetahui pengaruh aliran fluida di sekitar bola pada gerak bola.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

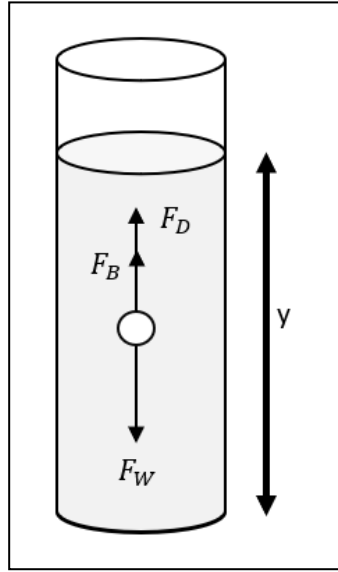
Pada penelitian ini, koefisien gesek yang diukur adalah koefisien gesek saat bola bergerak di dalam fluida. Ketika bola dijatuhkan secara vertikal ke dalam fluida, bola akan mengalami beberapa gaya yang mempengaruhi dinamika geraknya yaitu gaya berat F_W yang arahnya ke bawah, gaya apung F_B yang arahnya ke atas serta gaya gesek F_D yang berlawanan arah dengan arah gerak benda, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Untuk benda berbentuk bola dengan diameter D , massa m_b , dan massa jenis ρ_b gaya beratnya adalah

$$F_W = m_b g \quad (1)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi.

Bila fluida yang digunakan mempunyai massa jenis ρ_f maka gaya apung yang dialami benda adalah

$$F_B = \rho_f \left(\pi \frac{D^3}{6} \right) g \quad (2)$$



Gambar 1. Gaya yang dialami benda yang bergerak di dalam fluida

Dinamika gerak bola di dalam fluida mengikuti persamaan berikut:

$$m_b a = F_W - F_B - F_D \quad (3)$$

dengan a : percepatan

Dari persamaan (1), (2) dan (3) akan dapat diperoleh nilai gaya gesek F_D mengikuti

$$F_D = m_b g - \rho_f \left(\pi \frac{D^3}{6} \right) g - m_b a \quad (4)$$

Gaya gesek ini juga dapat dinyatakan dalam persamaan (Cross, 2016)

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_f A v^2 \quad (5)$$

dengan C_d adalah koefisien gesekan, A adalah luas permukaan bola, dan v adalah kecepatan bola.

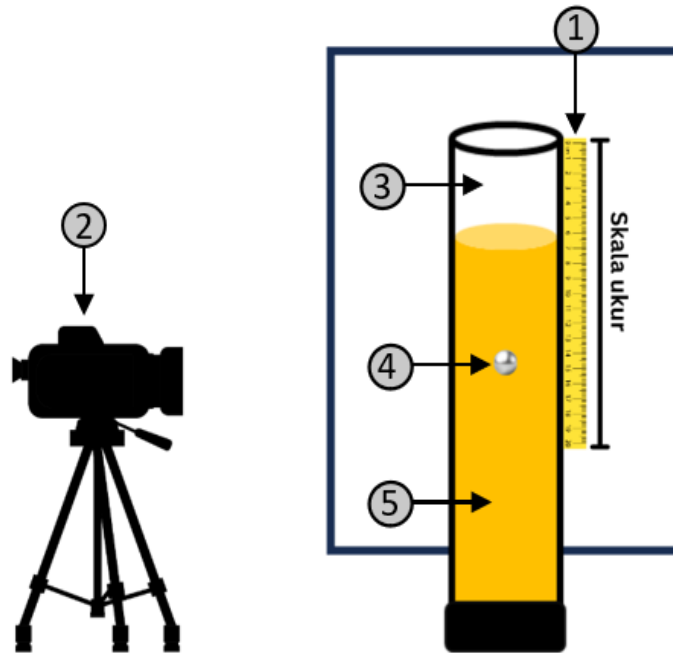
Gaya gesek akan meningkat sesuai kenaikan kecepatan bola di dalam fluida. Karena itu pada satu saat resultan gaya, atau ruas kanan pada persamaan (3) akan menjadi sama dengan nol. Pada kondisi ini gerak bola tanpa percepatan, sehingga kecepatan menjadi tetap disebut sebagai kecepatan terminal mengikuti persamaan (Soares, 2012)

$$v_t = \left(\frac{g(\rho_b - \rho_f)}{18\eta} \right) D^2 \quad (6)$$

dengan η adalah viskositas

Untuk mendapat data, gerakan bola di dalam fluida direkam menggunakan kamera video. Susunan alat untuk pengambilan rekaman video bola jatuh dapat dilihat pada gambar 2. Tabung

transparan (3) diletakkan pada tempat datar serta pada tabung dipasangkan skala ukur (1). Kamera (2) diposisikan tegak lurus dengan tabung dan ketinggiannya diatur pada tengah tabung, kamera merekam seluruh gerak bola (4). Tabung diisi dengan Gliserin (5) sebanyak 1,5 liter.



Gambar 2. Susunan Alat

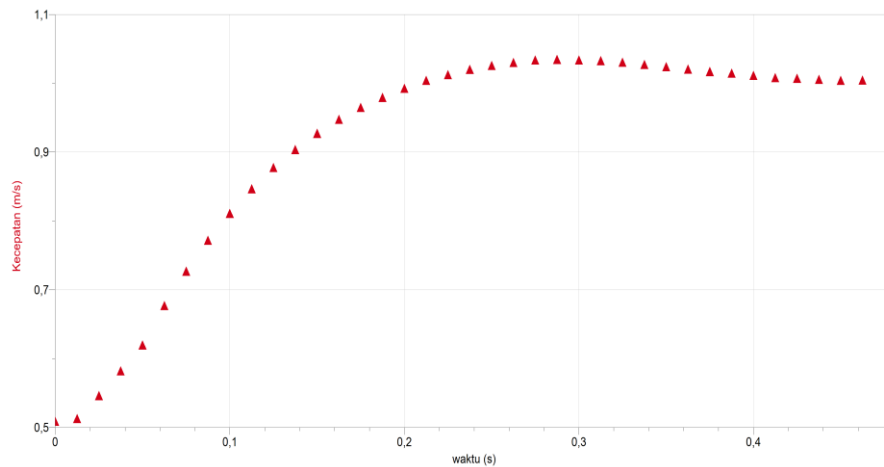
2.2. Analisa Data

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap dengan 2 Software, yaitu Software *Tracker* untuk menganalisis video rekaman gerak benda dan Software *Logger Pro* untuk mengolah data dari hasil analisis *Tracker*. Hasil Analisa video dengan *Tracker* memberikan nilai posisi, kecepatan, percepatan terhadap waktu. Selanjutnya nilai percepatan a digunakan untuk menentukan nilai gaya gesek F_d dari persamaan (4) dengan menggunakan parameter yang sesuai. Untuk mendapatkan nilai koefisien gaya gesek C_d , nilai gaya gesek F_d hasil perhitungan di depan, dimasukkan ke dalam persamaan (5).

Dari data kecepatan terhadap waktu dapat ditentukan nilai kecepatan terminalnya. Selanjutnya nilai ini digunakan untuk menentukan viskositas melalui persamaan (6).

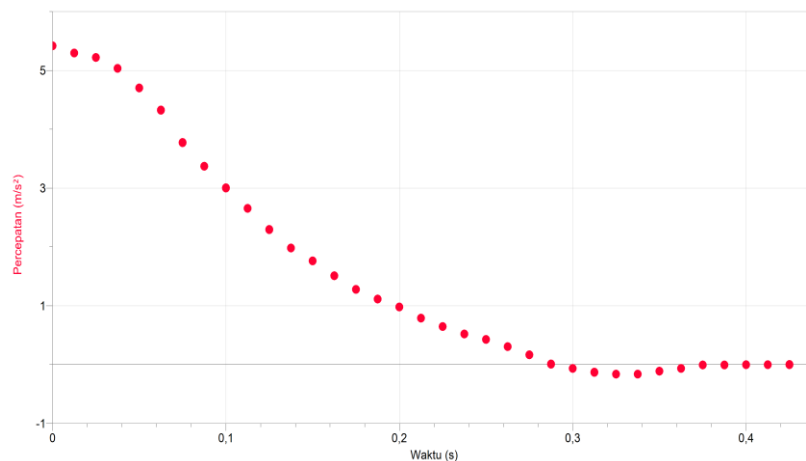
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen berupa video bola jatuh di dalam gliserin. Hasil analisa video dengan software *Tracker* berupa data kecepatan dan percepatan bola setiap saat, seperti yang disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan kecepatan (m/s) terhadap waktu (s) pada bola dengan diameter 0,0092 m bermassa 0,003 kg dan massa jenis fluida $(1166 \pm 8) \text{ kg/m}^3$

Gambar 3 menampilkan hubungan kecepatan terhadap waktu. Pada awalnya bola dijatuhkan ke dalam gliserin dan bergerak tanpa kecepatan awal karena dipengaruhi oleh gaya berat. Hal ini ditunjukkan pada bagian grafik yang naik tajam ke atas. Namun seiring peningkatan kecepatan bola maka gaya gesek bola juga ikut meningkat hingga besarnya sama dengan gaya berat. Pada kondisi ini bola tidak mengalami percepatan dan bergerak dengan kecepatan konstan yang ditunjukkan pada bagian grafik yang mendatar. Selain kecepatan juga dapat diperoleh nilai percepatan bola setiap saat yang disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan percepatan (m/s^2) terhadap waktu (s) pada bola dengan diameter 0,00922 m bermassa 0,003 kg dan massa jenis fluida $(1166 \pm 8) \text{ kg/m}^3$

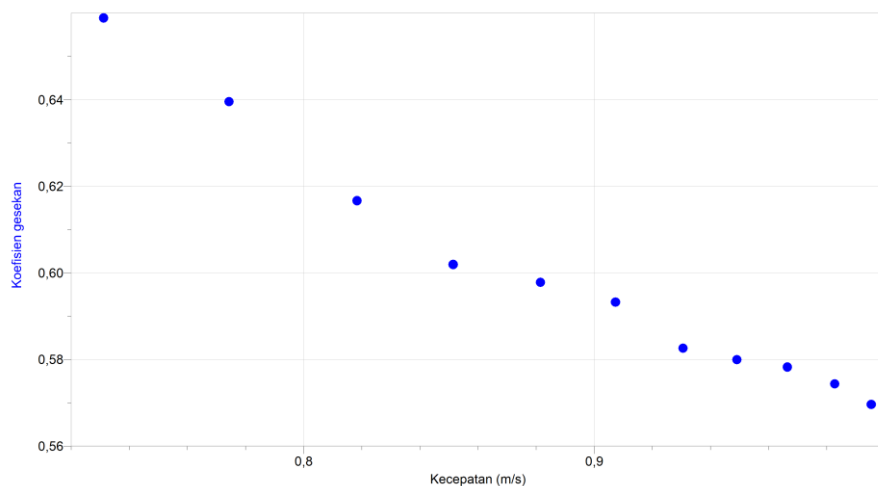
Dari gambar 3 dan 4, di daerah kecepatan terminal, pada satu saat diperoleh kecepatannya sebesar 0,995 m/s dan percepatan sebesar $0,8 \text{ m/s}^2$. Dengan menggunakan nilai D , m , dan ρ_f yang sudah diketahui, nilai gaya gasek saat itu yang dihitung dengan persamaan (4) adalah

$$F_D = m_b g - \rho_f \left(\pi \frac{D^3}{6} \right) g - m_b a = 2,23 \times 10^{-2} \text{ kg m/s}^2$$

Dengan nilai gaya gesek tersebut, selanjutnya nilai koefisien gesek (C_d) dapat ditentukan menggunakan persamaan (5)

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho_f \pi R^2 v^2} = 0,58$$

Penghitungan koefisien gesek bola setiap saat ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan koefisien gesekan terhadap kecepatan (m/s) pada bola berdiameter 0,00922 m di dalam gliserin berkonsentrasi 70%

Gambar 5 menunjukkan penurunan nilai koefisien gesekan bola seiring dengan perubahan kondisi fluida di sekitar bola selama proses jatuh. Ketika bola memasuki gliserin, fluida disekitar bola belum menyelimuti permukaan bola secara menyeluruh, dan terjadi turbulensi. Dalam kondisi ini gaya berat masih lebih dominan daripada gaya gesek sehingga bola mengalami percepatan ke bawah. Seiring dengan meningkatnya kecepatan, aliran fluida di sekitar bola menjadi lebih stabil dan gaya gesek juga meningkat. Ketika gaya gesek ditambah gaya apung sama besarnya dengan gaya berat maka bola tidak akan lagi dipercepat sehingga bola akan bergerak dengan kecepatan konstan yang biasa disebut dengan kecepatan terminal. Pada keadaan ini, nilai koefisien gesekan bola pada gambar 5 menjadi stabil di sekitar 0,57 menunjukkan bahwa aliran fluida di sekitar bola telah sepenuhnya stabil dan resultan gaya yang bekerja pada bola adalah konstan.

Selanjutnya dengan menggunakan metode yang sama didapatkan nilai kecepatan terminal untuk masing-masing diameter bola yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hubungan Kecepatan Terminal (m/s) terhadap Diameter Kuadrat (m^2)

massa jenis bola : $(7,7 \pm 0,6) 10^3 \text{ kg/m}^3$

massa jenis fluida : $(1166 \pm 8) \text{ kg/m}^3$

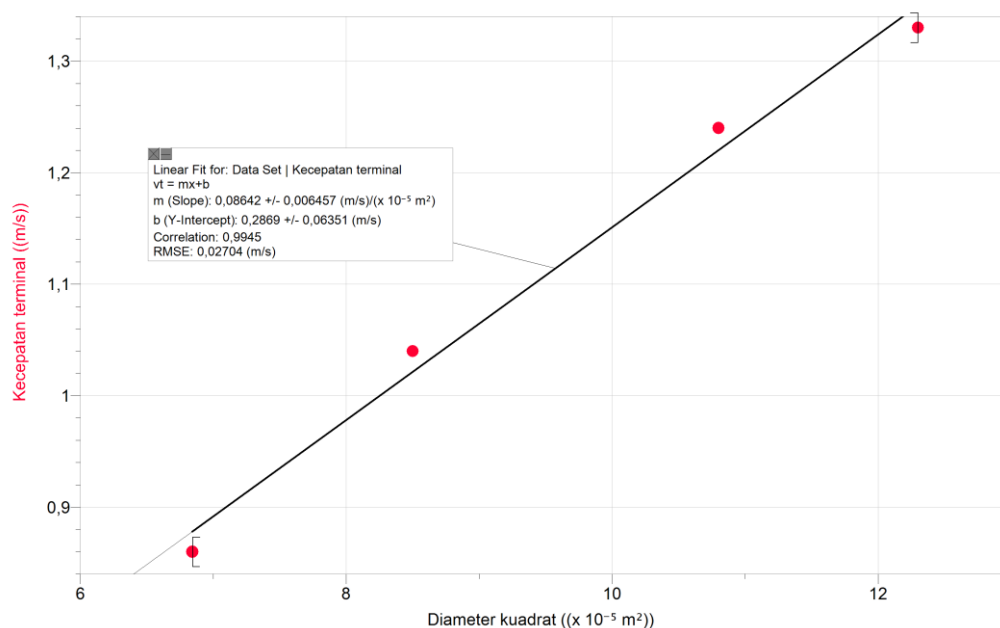
konsentrasi gliserin : 70%

percepatan gravitasi : $9,8 \text{ m/s}^2$

suhu ruangan : $25 \text{ }^\circ\text{C}$

No	$D^2 (x 10^{-5} m^2)$	v_T (m/s)
1	6,843	$0,89 \pm 0,03$
2	8,500	$1,00 \pm 0,05$
3	10,424	$1,25 \pm 0,02$
4	12,389	$1,33 \pm 0,02$

Dari tabel 1 dapat diperoleh grafik hubungan kecepatan terminal (m/s) terhadap diameter kuadrat (m^2) yang disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan terminal (m/s) terhadap waktu (s) pada bola dengan diameter 0,00992 m dan bermassa 0,003 kg pada gliserin dengan massa jenis fluida (1166 ± 8) kg/m^3

Berdasarkan hasil analisis grafik didapatkan nilai gradien beserta nilai ketidakpastiannya sebesar $(8,6 \pm 0,07) \times 10^3 (m/s)/(m^2)$. Mengacu pada persamaan 6, nilai gradien tersebut memberikan nilai viskositas gliserin 70% sebesar:

$$\eta = (0,41 \pm 0,05) Pa.s$$

4. KESIMPULAN

Koefisien gesekan pada bola yang bergerak melalui gliserin 70% dapat diukur dengan menganalisis grafik hubungan posisi (m) terhadap waktu (t). Grafik didapatkan melalui analisis rekaman video berbantuan *tracker*. Saat bola mencapai kecepatan terminal, nilai C_d sekitar 0,57.

DAFTAR PUSTAKA

- Cross, R. (2016). Effects of turbulence on the drag force on a golf ball. *European Journal of Physics*, Vol. 37, 1 - 9.
- Ferriawan, R. (2024). Pengukuran Viskositas Gliserin Menggunakan Metode Bola Jatuh Dengan Analisis Video Berbantuan *Software Tracker*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Gregory, R. D. (2006). *CLASSICAL MECHANICS*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Merle C. Potter, P., & David C. Wiggert, P. (2011). *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Soares, A. A., Caramelo, L., & Andrade, M. A. (2012). Study of the motion of a vertically. *European Journal of Physics*, Vol.33, 1053 - 1062.
- Tipler, P. A. (1991). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Wadhwa, A. (2008). An innovative method to study Stokes' law in the laboratory. *Physics Education*, Vol.43, 301 - 304.