



Analysis of Oil Viscosity Through Experimental Testing with a Stokes' Law-Based Prototype

Atikah Ayu Janitra^{1*}, Trio Setiyawan¹

¹Program Studi Diploma 3 Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang, Indonesia

*email: atikahayujanitra@polines.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.52434/jpif.v5i1.42568>

Accepted: May 27, 2025 Approved: May 30, 2025 Published: June 10, 2025

ABSTRACT

This study aims to analyze research data in the form of dynamic-kinematic viscosity values of two types of oil, namely SAE 30 and SAE 50, using the falling ball method based on Stokes' Law through an experimental prototype. Data were collected by measuring the falling time of a sphere through a fluid column and subsequently analyzed statistically. The measurement results showed that SAE 50 consistently resulted higher viscosity values (ranging from 288 to 365 kg/m·s) compared to SAE 30 (ranging from 174 to 252 kg/m·s), aligning with their respective viscosity characteristics. The Anderson-Darling normality test yielded AD values of 0.266 for SAE 30 and 0.319 for SAE 50, with p-values above 0.05, indicating that the data follow a normal distribution. These findings support the effectiveness of the falling ball method as a simple, economical, and accurate approach for characterizing fluid viscosity, both in experimental applications and educational settings in fluid mechanics.

Keywords : Probability-test, SAE, Stokes Law, viscosity

Analisis Viskositas Oli Melalui Pengujian Eksperimental dengan Prototipe Berbasis Stokes' Law

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data hasil penelitian berupa nilai viskositas dinamik dan kinematik dua jenis oli, yaitu SAE 30 dan SAE 50, menggunakan metode bola jatuh yang berbasis pada Hukum Stokes melalui prototipe eksperimental. Data diperoleh melalui pengukuran waktu jatuh bola dalam kolom fluida dan kemudian dianalisis secara statistik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa viskositas oli SAE 50 secara konsisten lebih tinggi (kisaran 288–365 kg/m·s) dibandingkan SAE 30 (kisaran 174–252 kg/m·s), sesuai dengan karakteristik kekentalan masing-masing. Uji normalitas menggunakan *Anderson-Darling* menghasilkan nilai AD sebesar 0,266 untuk SAE 30 dan 0,319 untuk SAE 50, dengan p-value masing-masing di atas 0,05, menandakan bahwa data terdistribusi normal. Temuan ini memperkuat efektivitas metode bola jatuh sebagai pendekatan yang sederhana, ekonomis, dan akurat untuk karakterisasi viskositas fluida, baik dalam konteks eksperimental maupun pendidikan teknik fluida.

Kata kunci: Hukum Stokes, SAE, uji normalitas, viskositas

PENDAHULUAN

Viskositas merupakan parameter penting dalam karakteristik aliran fluida, yang berperan signifikan dalam sektor pelumasan, industri otomotif, serta proses manufaktur. Viskositas menunjukkan hambatan internal fluida terhadap aliran atau deformasi, yang berdampak langsung pada fungsi sistem mekanik di mana fluida berperan sebagai pelumas atau pendingin (Rovai & Tomanik, 2025). Pengukuran viskositas oli secara tepat sangat penting untuk memastikan efektivitas operasional, meminimalkan keausan, dan memperpanjang umur komponen mekanis.

Salah satu metode yang diakui secara luas dan telah lama digunakan untuk mengukur viskositas dinamis adalah viskometer bola jatuh, yang didasarkan pada Hukum Stokes. Hukum Stokes menghubungkan gaya hambat viskos yang dialami oleh benda bulat yang bergerak dalam fluida dengan kecepatan terminalnya, sehingga memungkinkan perhitungan viskositas fluida secara langsung selama aliran berada dalam kondisi laminar (Cartwright, 2020). Karena keandalannya dan kesederhanaannya, metode ini dapat digunakan baik dalam penelitian eksperimental maupun dalam demonstrasi pembelajaran.

Dalam penelitian ini, sebuah prototipe eksperimental dirancang untuk menerapkan metode bola jatuh dalam mengukur viskositas berbagai sampel oli. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran bola, perbedaan densitas antara fluida dan bola, serta waktu jatuh, prototipe ini mempermudah pengukuran yang terkendali. Hal ini memungkinkan perhitungan viskositas dinamis menggunakan Hukum Stokes dengan tingkat ketelitian yang memadai (Wang et al., 2022).

Berdasarkan beberapa metode yang digunakan untuk pengukuran viskositas fluida, metode pengukuran dengan metode bola jatuh sesuai dengan prinsip Hukum Stokes dipilih. Penggunaan hukum stokes sejalan dengan metode pembelajaran dan berkaitan dengan pengembangan ilmu fisika. Metode bola jatuh berdasarkan Hukum Stokes digunakan untuk mengukur viskositas fluida, terutama karena kesederhanaan dan efektivitasnya dalam kondisi aliran laminar. Dalam metode ini, bola dijatuhkan dalam tabung berisi fluida, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan terminal digunakan untuk menghitung viskositas. Namun, metoda penjatuhan bola kedalam fluida yang dilakukan secara manual sering kali menghasilkan kesalahan signifikan akibat keterbatasan ketelitian manusia.

Untuk meningkatkan akurasi, beberapa penelitian telah mengembangkan sistem pengukuran otomatis. Budiyono et al. (2022) merancang alat pengukur kecepatan bola jatuh menggunakan sensor inframerah dan fotodiode yang terintegrasi dengan Arduino, memungkinkan pencatatan waktu secara digital dan mengurangi kesalahan manusiawi (Budiyono et al., 2022). Selain itu, Warsito et al. (2013) mengembangkan viskometer berbasis sensor optokopler dengan sistem akuisisi data terkomputerisasi. Berhasil mengukur viskositas gliserin dengan akurasi tinggi, menunjukkan bahwa penggunaan sensor optik dan sistem akuisisi data dapat meningkatkan ketelitian pengukuran viskositas (Warsito Warsito & Sri Wahyu Suciati, 2012). Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya fokus pada penggunaan sensor optik, yang dapat terpengaruh oleh kondisi pencahayaan dan transparansi fluida. Penggunaan *magnetic holding* sebagai alternatif belum banyak diteliti / belum banyak dikaji, padahal sensor ini memiliki potensi untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi pengukuran, terutama pada fluida yang tidak transparan.

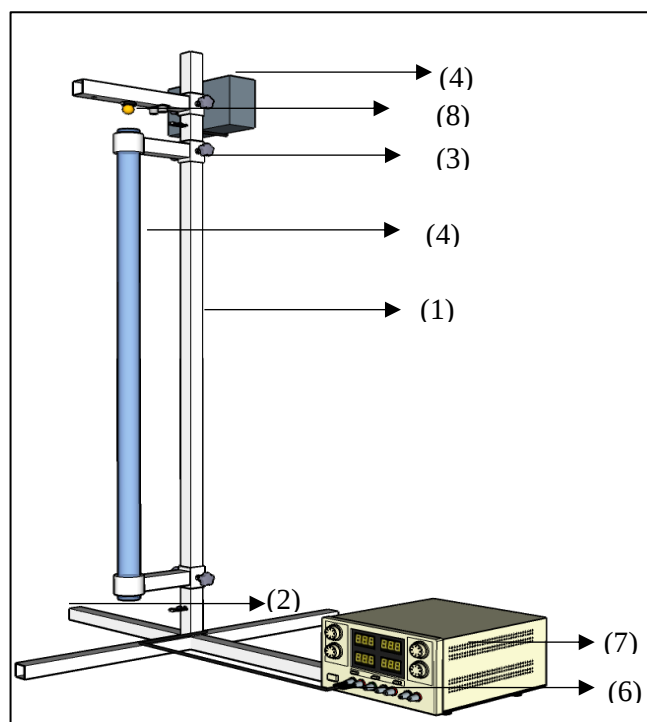
Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan sensor optik, penelitian ini mengintegrasikan *magnetic holding* dalam prototipe viskometer berbasis metode bola jatuh. Penggunaan *magnetic holding* memungkinkan deteksi yang lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh transparansi fluida, sehingga meningkatkan keandalan pengukuran viskositas pada berbagai jenis oli. Penelitian ini tidak hanya mengukur viskositas berbagai jenis oli menggunakan prototipe yang dikembangkan, tetapi juga mengevaluasi sejauh mana hasil praktis tersebut sesuai dengan perhitungan teoritis berdasarkan Hukum Stokes. Hal ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang penerapan Hukum Stokes dalam sistem fluida nyata dan menyoroti pentingnya dalam mekanika fluida modern dan instrumentasi. Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan alat ukur viskositas yang lebih akurat dan praktis, tetapi juga memperluas pemahaman teoritis tentang dinamika fluida, khususnya dalam konteks penerapan Hukum Stokes pada fluida nyata.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode eksperimen yang bertujuan untuk mendapatkan data berupa kecepatan terminal bola dan koefisien viskositas fluida menggunakan viskometer bola jatuh. Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan viskometer bola jatuh tersaji pada rancangan alat percobaan yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Alat dan Bahan

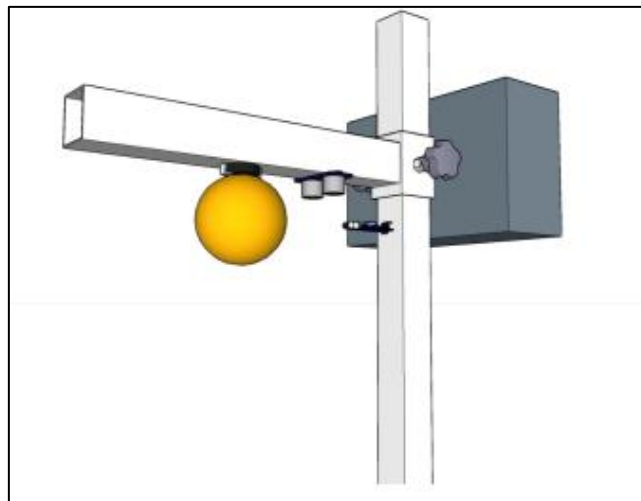
1. *Stop Clock*
2. Jangka Sorong
3. Gelas Ukur 10 ml
4. Beaker Glass 100 ml
5. Timbangan analitis digital
6. Batang magnet dengan tali
7. Oli SAE 30 dan 50



Gambar 1. Rangkaian Alat

Keterangan :

- 1) *Stand Base*
- 2) *Stand Rod*
- 3) *Multi Clamp*
- 4) *Magnet Holding*
- 5) *Universal Clamp Presicion glass tube ($D = 16\text{ mm}$)*
- 6) *Switch (morse key)*
- 7) *Low Tension Transformer (DC Power Supply)*
- 8) Bola pejal

**Gambar 2.** Bola Uji pada *Holding Magnet*

Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian langkah dan pengulangan. Langkah pertama siapkan peralatan dan Oli SAE 30 dan SAE 50. Rangkai peralatan seperti pada Gambar 1. Rangkaian Alat. Isikan Oli ke *Presicion glass tube* menggunakan alat bantu corong kaca, pastikan bagian bawah corong menempel di bagian dalam *glass tube*, agar tidak banyak gelembung yang terbentuk. Pasang bola uji yang sudah menempel di holding magnet seperti pada Gambar 2, pastikan bola uji tegak lurus terhadap *glass tube*, agar saat rangkaian magnet diputus, bola uji akan terjatuh ke dalam *glass tube* yang sudah terisi dengan oli. Tekan *switch (morse key)* untuk memutuskan rangkaian magnet dan diwaktu yang sama nyalakan timer, untuk mencatat waktu yang diperlukan bola uji sampai menyentuh dasar *glass tube*.

Setelah langkah pengambilan data dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dan pengolahan data. Data yang didapatkan dari penelitian ini yaitu massa bola besi, diameter bola besi, massa jenis fluida dan waktu tempuh bola besi. Massa jenis fluida berupa oli dapat dihitung

menggunakan gelas ukur dimana massa oli dan gelas ukur dikurangi dengan massa gelas ukur dibagi dengan volume oli. Secara matematis tahapan perhitungan dirumuskan sebagai berikut.

Hukum stokes memerlukan data berupa pejal yang dijatuhkan ke dalam fluida dan densitas dari tiap jenis fluida yang digunakan (Putri et al., 2024). Rumusan densitas bola dan oli ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{massa}}{\text{Volume}} \dots\dots\dots (1)$$

Berikut rumusan yang digunakan untuk menghitung nilai viskositas dinamik fluida :

$$\eta = \frac{2r^2g(\rho_{\text{bola uji}} - \rho_{\text{oli}})}{9v} \dots\dots\dots (2)$$

η = Viskositas dinamik (kg.m/s)

r = Jari-jari benda (m)

g = Gaya gravitasi bumi (m/s²)

ρ bola uji = Massa jenis benda bola uji (kg/m³)

ρ oli = Massa jenis oli (kg/m³)

v = Kecepatan benda (m/s)

Berikut rumusan yang digunakan untuk menghitung nilai viskositas kinematik fluida :

$$V = \frac{\eta}{\rho_{\text{bola uji}}} \dots\dots\dots (3)$$

V = Viskositas kinematik tiap jenis oli (m²/s)

η = Viskositas dinamik (kg.m/s)

ρ bola uji = Massa jenis benda bola uji (kg/m³)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis terhadap alat ukur viskositas zat cair dengan metode bola jatuh perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem, kelemahan, dan kekurangan alat. Selain itu, pengujian ini dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan alat (Meijer et al., 2023). Setelah diperoleh data berupa waktu yang dibutuhkan oleh bola jatuh pada glass tube yang telah diisi dengan variasi jenis oli yakni SAE (*Society of Automotive Engineers*) 30 dan 50. Kemudian data tersebut digunakan untuk menghitung kecepatan terminal bola dan viskositas fluida (Ashley et al., 2024).

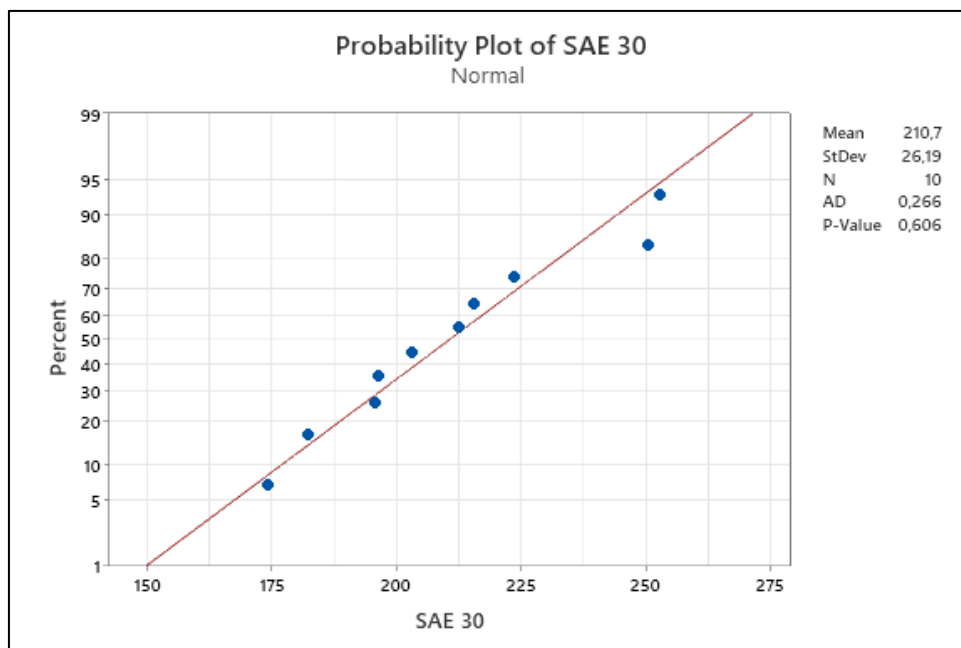
a. Pengujian Sampel Oli SAE 30

Pengujian nilai viskositas dari sampel oli SAE 30 dilakukan pada suhu normal oli, yaitu sekitar 28 °C. Pencatatan waktu dan nilai viskositas *sample* oli SAE 30 hasil uji coba menggunakan rangkaian alat metode bola jatuh dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian SAE 30 Menggunakan *Prototype* Hukum Stokes

No	Waktu (s)	Viskositas Dinamik (kg m/s)	Viskositas Kinematik (m ² /s)
1	438	252,8	0,032
2	435	250,5	0,0319
3	363	196,5	0,025
4	334	182,22	0,023
5	362	203,008	0,0258
6	351	195,75	0,0249
7	408	223,59	0,028
8	396	215,67	0,027
9	400	174,256	0,02251
10	399	212,411	0,02744

Data yang diperoleh terdiri dari sepuluh kali pengukuran waktu yang dibutuhkan bola untuk jatuh melalui fluida serta nilai viskositas dinamik yang dihitung berdasarkan waktu tersebut (Kulkarni et al., 2021). Hasilnya menunjukkan bahwa waktu yang dicatat berkisar antara 334 hingga 438 detik, sedangkan viskositas dinamik yang dihitung berada dalam rentang 174,256 hingga 252,8 kg/m·s. Secara umum, terlihat pola bahwa semakin lama waktu jatuh bola, semakin tinggi nilai viskositas yang dihitung. Hal ini sejalan dengan prinsip Hukum Stokes, di mana fluida yang lebih kental memberikan hambatan lebih besar terhadap bola, sehingga memperlambat pergerakannya (Budyono et al., 2022). Fluktuasi pada nilai viskositas kemungkinan disebabkan oleh berbagai faktor eksperimen, seperti perbedaan suhu fluida, adanya gelembung udara, ketidaksimetrian saat pelepasan bola, atau gesekan dengan dinding tabung (Latuheru, 2022). Data juga menunjukkan bahwa sebagian besar hasil pengukuran berkonsentrasi di sekitar nilai viskositas 200–220 kg/m·s, yang menunjukkan konsistensi relatif dalam proses pengujian. Meski demikian, terdapat beberapa nilai ekstrem, seperti 252,8 kg/m·s pada waktu jatuh 438 detik, yang dapat dianggap sebagai outlier dan perlu dianalisis lebih lanjut. Analisis lebih lanjut dilakukan menggunakan analisa statistic berupa uji normalitas yang ada pada Gambar 3. Diketahui nilai P-Value sebesar 0,606 ($>0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa data viskositas dinamik dan kinematik berdistribusi secara normal atau asumsi uji normalitas data sudah terpenuhi (Špet'uch et al., 2015).



Gambar 3. Grafik Probabilitas Nilai Viskositas SAE 30

b. Pengujian Sampel Oli SAE 50

Pengujian nilai viskositas dari *sample* oli SAE 50 dilakukan pada suhu normal oli yakni pada kisaran suhu 28 °C. Sedangkan pencatatan waktu dan nilai viskositas *sample* oli SAE 50 hasil uji coba menggunakan rangkaian alat metode bola jatuh dapat dilihat dalam Tabel 2.

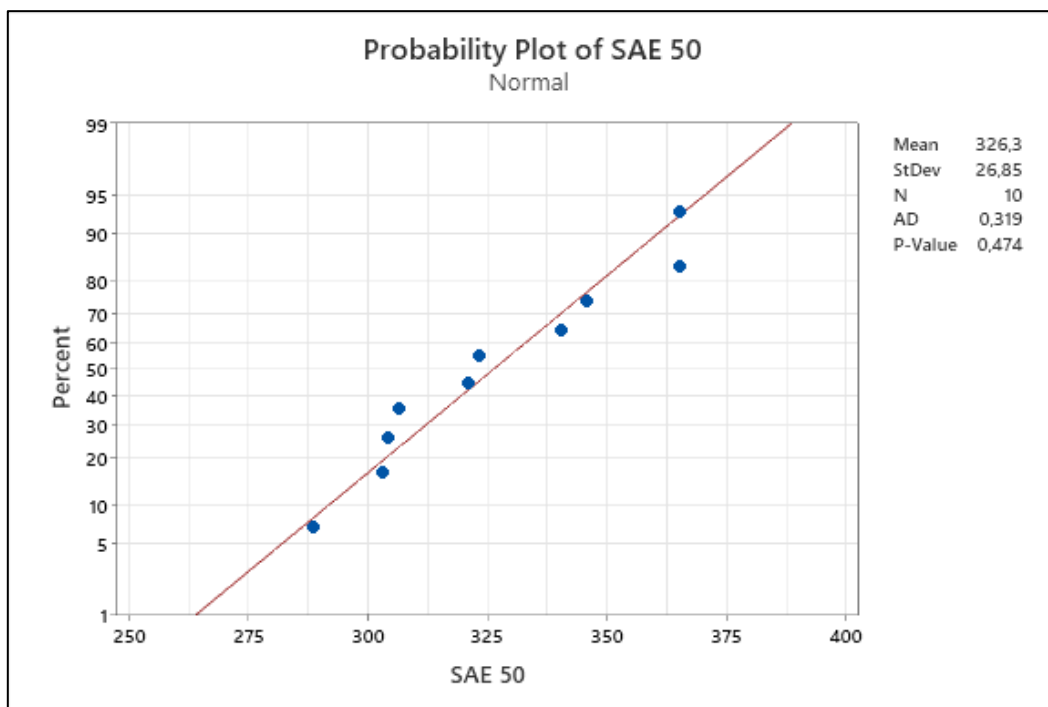
Tabel 2. Hasil Pengujian SAE 30 Menggunakan *Prototype* Hukum Stokes

No	Waktu (s)	Viskositas Dinamik (kg m/s)	Viskositas Kinematik (m ² /s)
1	621	365,1	0,046
2	618	365,1	0,046
3	510	288,35	0,036
4	545	306,37	0,039
5	553	303,2	0,0385
6	581	321,042	0,0408
7	630	345,83	0,044
8	620	340,46	0,043
9	579	304,191	0,0392
10	605	323,229	0,04175

Dari hasil pengujian sebanyak sepuluh kali pengukuran, diperoleh data waktu jatuh bola yang berkisar antara 510 hingga 630 detik, dan nilai viskositas dinamik yang bervariasi dari 288,35 hingga 365,1 kg/m·s. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa oli SAE 50 memiliki viskositas dinamik yang tinggi, yang sesuai dengan karakteristiknya sebagai oli dengan kekentalan tinggi. Secara umum, terdapat korelasi positif antara waktu jatuh bola dan viskositas yang dihitung. Artinya,

semakin lama waktu yang dibutuhkan bola untuk jatuh, semakin besar nilai viskositas yang dihasilkan. Ini selaras dengan konsep bahwa fluida yang lebih kental akan memberikan gaya hambat lebih besar terhadap bola, sehingga memperlambat kecepatannya (Azizah Lubis, 2018).

Salah satu hasil tertinggi tercatat pada pengukuran ke-1 dan ke-2, masing-masing sebesar 365,1 kg/m·s dengan waktu jatuh lebih dari 620 detik, menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut fluida memberikan resistansi paling besar terhadap gerak bola. Sebaliknya, nilai terendah sebesar 288,35 kg/m·s diperoleh pada waktu jatuh 510 detik, yang menunjukkan fluida relatif kurang resisten dalam eksperimen tersebut. Variasi nilai ini dapat terjadi karena faktor eksperimen seperti fluktuasi suhu, perbedaan kecil dalam diameter bola, atau perubahan kondisi permukaan fluida (Li et al., 2021). Analisa data lanjutan dilakukan dan didapatkan hasil pada Gambar 4. Diketahui nilai P-Value sebesar 0,474 ($>0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa data viskositas dinamik dan kinematic berdistribusi secara normal atau asumsi uji normalitas data sudah terpenuhi (Špet'uch et al., 2015)



Gambar 4. Grafik Probabilitas Nilai Viskositas SAE 50

Grafik Probability Plot dari pengukuran viskositas dinamik oli SAE 30 dan SAE 50 menunjukkan bahwa data dari kedua jenis oli berdistribusi normal, yang ditunjukkan oleh nilai P-Value masing-masing sebesar 0,606 (SAE 30) dan 0,474 (SAE 50). Nilai ini jauh di atas ambang batas signifikansi statistik 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data tidak menyimpang dari distribusi normal (Montgomery, 2020). Nilai rata-rata viskositas untuk SAE 30 adalah 210,7 kg/m·s, sedangkan untuk SAE 50 adalah 326,3 kg/m·s, yang menunjukkan perbedaan kekentalan sesuai dengan spesifikasi kedua oli tersebut. Nilai standar deviasi keduanya berkisar 26, yang menandakan tingkat penyebaran data yang masih dalam batas yang wajar. Data ini diperoleh melalui eksperimen menggunakan metode bola jatuh yang didasarkan pada Hukum Stokes, yaitu

perhitungan viskositas fluida berdasarkan kecepatan terminal bola yang jatuh dalam fluida. Hukum ini menyatakan bahwa gaya hambat (*drag*) sebanding dengan viskositas fluida, jari-jari bola, dan kecepatan geraknya dalam kondisi aliran laminar (Fox et al., 2021). Secara statistik, uji normalitas dengan Anderson-Darling Test memberikan hasil $AD = 0,266$ untuk SAE 30 dan $AD = 0,319$ untuk SAE 50, yang mendukung asumsi normalitas dan validitas data eksperimen (Zar, 2019).

Secara umum, terdapat korelasi positif antara waktu jatuh bola dan nilai viskositas dinamik yang diperoleh. Semakin lama waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai sensor bawah, maka semakin tinggi nilai viskositasnya. Hal ini sesuai dengan prinsip Hukum Stokes, di mana kecepatan terminal bola berbanding terbalik dengan viskositas fluida. Fluida yang lebih kental memberikan resistansi lebih besar terhadap gerakan bola, sehingga memperlambat lajunya (Meijer et al., 2023). Fluktuasi pada hasil pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor eksperimental, diantaranya yakni Perbedaan suhu fluida, yang secara signifikan memengaruhi viskositas oli. Seperti ditunjukkan oleh Ashley (2024), viskositas oli menurun drastis dengan peningkatan suhu karena berkurangnya kohesi antar molekul. Adanya gelembung udara atau ketidaksimetrian pelepasan bola, yang dapat mengubah lintasan bola dan menyebabkan deviasi pada waktu jatuh. Gesekan dengan dinding tabung, terutama jika bola tidak jatuh tepat di tengah sumbu tabung, menyebabkan perlambatan tambahan (Ashley et al., 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berupa eksperimen pengambilan data viskositas fluida berupa Oli jenis SAE 30 dan SAE 50, menggunakan prototype sesuai hukum stokes yakni metode bola jatuh, diperoleh data yang kemudian dianalisa secara statistik. Jika dibandingkan dengan hasil oli SAE 30 (yang sebelumnya berada di kisaran $174\text{--}252\text{ kg/m}\cdot\text{s}$), hasil oli SAE 50 ini secara konsisten lebih tinggi, menunjukkan bahwa prototype berhasil membedakan tingkat kekentalan antara dua jenis oli tersebut. Hal ini memperkuat validitas metode bola jatuh dalam mengkarakterisasi viskositas dinamik berbagai jenis fluida. Metode pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini terbukti efektif, dengan validitas data yang didukung oleh uji Anderson-Darling, di mana nilai AD masing-masing sebesar $0,266$ (SAE 30) dan $0,319$ (SAE 50) masih dalam rentang penerimaan untuk asumsi normalitas. Dengan demikian, metode bola jatuh berbasis Hukum Stokes merupakan pendekatan sederhana namun akurat dalam mengukur viskositas fluida dalam konteks eksperimental maupun edukatif.

REFERENSI

- Ashley, A. W., Mookherjee, M., Xu, M., Yu, T., Manthilake, G., & Wang, Y. (2024). Viscosity Measurements at High Pressures: A Critical Appraisal of Corrections to Stokes' Law. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129(5). <https://doi.org/10.1029/2023JB028489>
- Azizah Lubis, N., & Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan, P. (2018). *PENGARUH KEKENTALAN CAIRAN TERHADAP WAKTU JATUH BENDA*

MENGGUNAKAN FALLING BALL METHOD THE INFLUENCE OF LIQUID VISCOSITY ON FALLING TIME BY FALLING BALL METHOD. 2(2), 26–32.

- Budiyono, B., Sutrisno, E., & Wibowo, T. U. (2022). Design of a Falling Ball Speed Measuring Instrument in Viscosity Experiment Using Arduino UNO ATmega. *BERKALA SAINSTEK*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.19184/bst.v10i1.27315>
- Cartwright, J. H. E. (2020). Stokes' law, viscometry, and the Stokes falling sphere clock: Stokes falling sphere clock. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2179). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0214>
- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2021). *Introduction to fluid mechanics (9th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Kulkarni, V., Lolla, V. Y., Tamvada, S. R., Shirdade, N., & Anand, S. (2021). *Coalescence and spreading of drops on liquid pools*. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.10.089>
- Latuheru, R. D. (2022). Analysis of Lubricant Oil Characteristics Using the Ball Falling Relative Motion Method on Temperature Variations. *Engineering and Technology Journal*, 07(10). <https://doi.org/10.47191/etj/v7i10.01>
- Li, W., Iwama, T., Yu, H., Ueda, S., Saito, N., & Inoue, R. (2021). Apparent Viscosity Measurement of Solid-liquid Coexisting Fluid by Falling Ball Method for Evaluation Iron Particle Sedimentation Velocity in Slag. *ISIJ International*, 61(12), 2915–2922. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-250>
- Meijer, J. G., Li, Y., Diddens, C., & Lohse, D. (2023). *On the rising and sinking motion of bouncing oil drops in strongly stratified liquids*. <https://doi.org/10.1017/jfm.2023.415>
- Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments (10th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Putri, M. K., Asshaumi, R. U., Rahmadani, N. F., Kurnia, S. I., Mayasari, S., Martatino, R., Prastowo, H. B., & Dewi, N. M. (2024). *ANALISIS NILAI KECEPATAN TERHADAP VISKOSITAS PADA FLUIDA* (Vol. 8, Issue 1).
- Rovai, F. F., & Tomanik, E. (2025). Lubricant Viscosity Impact in Fuel Economy: Experimental Uncertainties Compensation. *Lubricants*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/lubricants13020049>
- Špet'uch, V., Petrík, J., Grambálová, E., Medved', D., & Palfy, P. (2015). The capability of the viscosity measurement process. *Acta Metallurgica Slovaca*, 21(1), 53–60. <https://doi.org/10.12776/ams.v21i1.471>
- Wang, R., Zhang, Q., Xu, S., Cui, L., & Jiang, H. (2022). Theoretical Correction of Viscosity Coefficient Measurement by Falling Ball Method. In *International Transactions on Electrical Energy Systems* (Vol. 2022). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2022/3897120>

- Warsito Warsito, & Sri Wahyu Suciati. (2012). Desain dan Analisis Pengukuran Viskositas dengan Metode Bola Jatuh Berbasis Sensor Optocoupler dan Sistem Akuisisinya pada Komputer. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(1), 230–245.
- Zar, J. H. (2019). *Biostatistical analysis (5th ed.)*. Pearson Education.