

PERANCANGAN DAN PENERAPAN SENSOR KUMPARAN UNTUK PERCOBAAN VISKOSITAS DENGAN METODE BOLA JATUH

David Ardiansyah

Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
dapit0602@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menggunakan metode bola jatuh untuk menentukan viskositas. Metode bola jatuh yang digunakan adalah sensor kumparan yang bekerja berbasis prinsip induksi magnetik. Perubahan fluks saat bola melewati kumparan menyebabkan perubahan tegangan. Perubahan tegangan dalam bentuk sinyal digital digunakan untuk mengaktifkan timer sehingga dapat diperoleh waktu tempuh bola jatuh. Hasil pengukuran waktu tempuh digunakan untuk menentukan viskositas. Data yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai referensi dan diperoleh nilai perbedaan yang cukup besar karena beberapa hal, yaitu; (1) perbedaan keadaan saat pengukuran dengan referensi (Segur and Oberstar,1951; PERTAMINA), (2) kesulitan dalam teknik pengukuran yang memiliki beberapa kelemahan diantaranya pada saat menghitung waktu dan menentukan posisi saat benda berada pada kecepatan terminal.

Kata Kunci: viskositas, sensor kumparan, induksi magnetik

Abstract

This research based on falling ball method for measuring viscosity. Falling ball method has been applied to a prototype in laboratory scale. It used a pair of inductive coil sensor. Falling ball through coil will cause flux change and as a result the voltage of secondary coil will change. Voltage change in digital will be used for determining viscosity. Measurement result shows a significant difference compared to reference, because ; (1) there are difference of measurement condition and reference data such as temperature of measurement (Segur and Oberstar,1951; PERTAMINA), (2) there are difficulties in measuring travel time and determining position where the falling ball has terminal viscosity.

Keywords: viscosity, coil sensor, magnetic induction.

PENDAHULUAN

Viskositas merupakan gaya gesekan antara molekul-molekul yang menyusun suatu fluida. Di antara salah satu sifat zat cair adalah kental (*viscous*) di mana zat cair memiliki koefisien kekentalan yang berbeda-beda, misalnya kekentalan gliserin berbeda dengan kekentalan oli. Penelitian tentang pengukuran sifat fisik cairan telah banyak dilakukan. Sebelumnya untuk pengukuran viskositas, telah dilakukan dengan menggunakan metode gelombang ultrasonik (Ariyanti : 2010).

Sebagai contoh lain, pada Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya terdapat alat ukur viskositas zat cair metode bola jatuh (Buku Panduan Praktikum Fisika Dasar 1: 2010). Namun masih terdapat kelemahan dalam alat itu. Perhitungan waktu saat bola mulai jatuh sampai batas akhir jarak yang ditentukan masih menggunakan perhitungan waktu secara manual yaitu dengan menggunakan *stopwatch* yang di ukur oleh praktikan. Dari hal tersebut akan mempengaruhi hasil dari perhitungan karena ketidaktepatan praktikan dalam menggunakan *stopwatch*. Dari penelitian sebelumnya telah dilakukan pengukuran viskositas metode bola jatuh dengan memanfaatkan sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) sebagai otomatisasi pengukuran

timer, namun alat tersebut mempunyai kelemahan yaitu sulit untuk mengukur viskositas cairan yang berwarna gelap atau pekat.

Dari beberapa pengukuran viskositas zat cair yang telah ada sebelumnya, maka peneliti melakukan penelitian dengan mengambil topik pengukuran viskositas zat cair dengan judul: "Perancangan dan Penerapan Sensor Kumparan Untuk Percobaan Viskositas dengan Metode Bola Jatuh". Dalam penelitian ini, peneliti bermaksud melakukan pembuatan *prototype* alat ukur viskositas zat cair metode bola jatuh dengan menggunakan sensor kumparan. Sensor kumparan memanfaatkan prinsip kerja induksi magnetik seperti pada transformator. Perubahan tegangan yang dihasilkan kumparan di gunakan untuk membantu otomatisasi perhitungan waktu tempuh bola jatuh. Metode pengukuran tersebut diharapkan dapat membantu mengukur nilai viskositas zat cair dengan ketepatan ukur yang lebih baik.

Jika sebuah benda berbentuk bola dijatuhkan ke dalam fluida, 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)

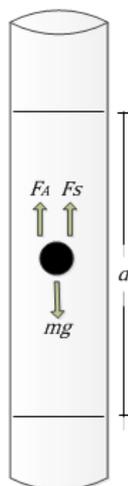
$$F_s = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

Dimana η adalah koefisien viskositas, r adalah jari-jari bola kelereng, dan v adalah 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.

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

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



Gambar 1. Gaya yang bekerja pada saat bola dengan kecepatan tetap

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

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

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

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

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

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

Dimana m_{gu} adalah massa gelas ukur, m_f adalah massa fluida, V_f adalah volume fluida. Dengan mensubstitusikan persamaan (3) dan (4) ke dalam persamaan (2) maka diperoleh persamaan (7).

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

Substitusikan persamaan (1) ke dalam persamaan (7) sehingga diperoleh persamaan (8),

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

Jarak d adalah jarak yang ditempuh bola seperti yang terlihat pada gambar (1). Setelah bergerak dengan kecepatan terminal dalam waktu tempuhnya t maka persamaan (8) menjadi persamaan (9)

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

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

Dengan demikian waktu tempuhnya adalah

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

Dengan mengukur kecepatan akhir bola, dimana jarak dan rapat massa telah diketahui, maka viskositas fluida dapat ditentukan. Untuk memperoleh nilai viskositas fluida, persamaan (9) diubah dalam bentuk

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

Dengan

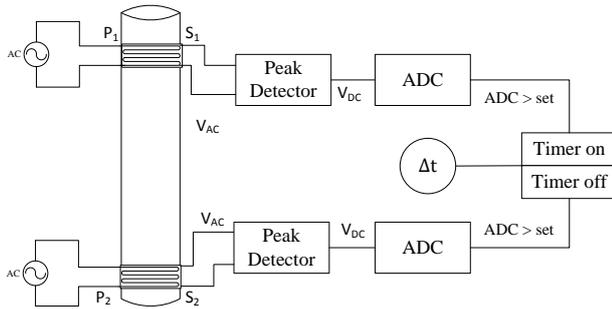
$$k = \frac{2r^2 g}{9d} \quad (11)$$

Ada dua macam jenis viskositas, diantaranya viskositas dinamis dan viskositas kinematis. Viskositas kinematis merupakan perbandingan viskositas dinamis terhadap massa jenis fluida. Viskositas dinamis seringkali disebut viskositas yang merupakan kecenderungan melawan aliran. Satuan untuk viskositas dinamis adalah Pa.s atau Ns/m² atau kg/m.s. Sedangkan satuan untuk viskositas kinematis adalah m²/s atau Stoke.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis laboratorium tentang perancangan sensor kumparan dan mikrokontroler atmega16 sebagai alat ukur viskositas zat

cair. Variabel operasional penelitian yang digunakan meliputi : Variabel kontrol (tabung viskositas, bola besi, jarak tempuh bola besi); variabel manipulasi (jenis fluida: gliserin, oli mesran SAE40, oli rored EPA SAE90); serta variabel respon (hasil pengukuran waktu).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sensor Kumparan pertama, kumparan primer P_1 diberi masukan tegangan AC dan kumparan sekunder S_1 berfungsi sebagai *output* yang dihubungkan ke rangkaian *peak detector*. Begitupun juga pada sensor kumparan kedua, kumparan primer P_2 diberi masukan sumber tegangan AC dan kumparan sekunder S_2 berfungsi sebagai *output* yang dihubungkan ke rangkaian *peak detector*. Rangkaian *peak detector* berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC.

Dengan memanfaatkan prinsip kerja induksi magnetik dan transformator. Sensor kumparan berfungsi untuk memulai dan mengakhiri perhitungan waktu, ketika bola besi melewati sensor kumparan pertama maka akan terdeteksi perubahan nilai ADC jika dibandingkan ketika kumparan tidak dilewati bola besi. Jika perubahan nilai ADC lebih dari *set* (aturan) pada sensor pertama *timer* akan mulai menghitung sebaliknya pada sensor kedua jika ADC lebih dari *set* (aturan) *timer* akan berhenti dan diperoleh nilai perhitungan waktunya yang digunakan untuk memperoleh nilai perhitungan viskositas.

Untuk pengukuran viskositas metode bola jatuh Dengan mengukur kecepatan akhir bola, dimana jarak dan rapat massa telah diketahui, maka viskositas fluida dapat ditentukan, berdasarkan persamaan (10) yaitu :

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

Dimana η adalah koefisien viskositas, r adalah jari-jari bola, ρ_b adalah massa jenis bola, ρ_f adalah massa jenis fluida, t adalah waktu tempuh bola, d adalah jarak yang ditempuh bola.

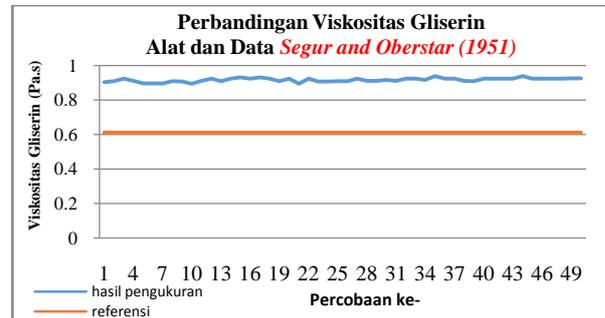
Berdasarkan referensi, pengukuran viskositas oli menggunakan viskositas kinematis yaitu perbandingan viskositas dinamis terhadap massa jenis fluida. Secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Viskositas Kinematis } (v) = \frac{\eta}{\rho_f} \quad (12)$$

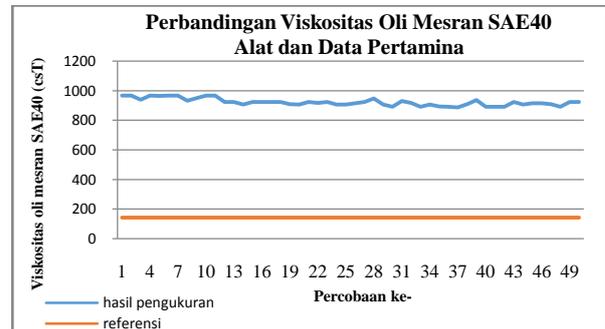
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu mengetahui massa jenis dari fluida (gliserin, oli mesran SAE40, oli rored EPA SAE90) yaitu dengan membandingkan massa dan volume fluida (gliserin, oli mesran SAE40, dan oli rored EPA SAE90) dan massa jenis bola besi. Pada penelitian ini massa jenis gliserin adalah 1215 kg/m^3 , massa jenis oli mesran SAE40 adalah 865 kg/m^3 , massa jenis oli rored EPA SAE90 adalah 880 kg/m^3 , massa jenis bola besi adalah 7566 kg/m^3 . Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah membandingkan data hasil pengukuran nilai koefisien viskositas antara pengukuran dari alat sensor kumparan untuk percobaan viskositas dengan metode bola jatuh dengan data hasil yang sudah ada (Segur and Oberstar, 1951; PERTAMINA).

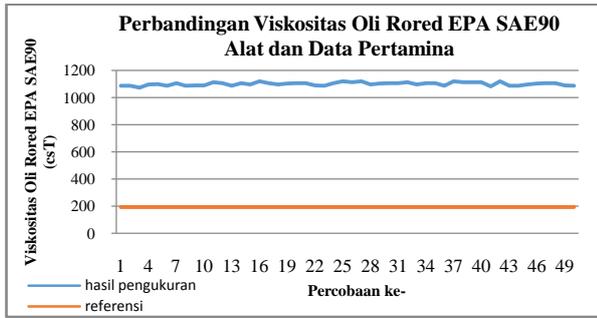
Dari 50 kali pengambilan data berulang diperoleh hasil perhitungan nilai viskositas gliserin dengan rata-rata $0,917 \text{ Pa.s}$; oli mesran SAE40 $922,15 \text{ cSt}$; serta oli rored EPA SAE90 $1102,12 \text{ cSt}$.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai viskositas gliserin hasil pengukuran dengan referensi pada suhu 30°C



Gambar 3. Grafik Perbandingan nilai viskositas oli mesran SAE40 dari alat pada suhu 30°C dengan data referensi pada suhu 40°C



Gambar 4. Grafik Perbandingan nilai viskositas oli rored EPA SAE90 dari alat pada suhu 30°C dengan data referensi pada suhu 40°C

Dari grafik terlihat perbedaan nilai viskositas hasil pengukuran dan referensi. Perbedaan nilai ini di akibatkan karena:

- Koefisien viskositas gliserin pada beberapa referensi menunjukkan nilai yang berbeda tergantung pada suhu saat pengukuran dan komposisi penyusun gliserin mungkin berbeda-beda.
- Perbedaan suhu cairan oli mesran SAE40 dan oli rored EPA SAE90 saat pengukuran. Pada pengukuran alat suhu cairan oli mesran SAE40 dan oli rored EPA SAE90 yang terukur sebesar 30°C sedangkan pada data Pertamina nilai viskositas yang terukur pada suhu 40°C.
- Tabung akrilik transparan memiliki ukuran yang tidak terlampaui luas dibanding dengan ukuran bola besi yang mengakibatkan terjadinya aliran turbulen terutama pada permukaan saat bola besi pertama kali dijatuhkan meskipun tidak terlalu besar.
- Sensor kumparan yang digunakan memiliki kelemahan, ada kemungkinan kumparan mengalami perubahan induksi yang disebabkan oleh bola tidak tepat di posisi kumparan sedangkan jarak yang digunakan dibuat tepat pada kumparan. Artinya timer bisa saja mulai menghitung sebelum bola berada tepat pada kumparan. Tinggi sensor kumparan yang dibuat seharusnya memiliki ukuran yang tidak terlampaui besar dengan bola besi yang digunakan karena perubahan nilai bit terbesar ketika bola besi tepat di tengah-tengah kumparan.
- Timer yang digunakan menggunakan fasilitas timer dari arduino sehingga berdasarkan hasil kalibrasi timer masih ada sedikit selisih waktu antara timer arduino dan stopwatch. Untuk penelitian lain yang menggunakan timer disarankan menggunakan timer berbasis *Real Time Clock (RTC)*.

PENUTUP

Simpulan

- Pada penelitian ini, alat hasil rancangan dan sensor kumparan telah digunakan untuk melakukan percobaan untuk mencari nilai viskositas gliserin, oli mesran SAE40, dan oli rored EPA SAE90.

- Data yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai referensi dan diperoleh nilai perbedaan yang cukup besar karena perbedaan keadaan saat pengukuran dengan referensi (Segur and Oberstar, 1951; PERTAMINA).
- Dari 50 kali pengambilan data berulang, diperoleh :
 1. Hasil perhitungan nilai koefisien viskositas gliserin yang besarnya dalam rentang (0,894-0,939) Pa.s, dengan nilai rata-rata 0,917 Pa.s
 2. Hasil perhitungan nilai viskositas oli mesran SAE40 yang besarnya dalam rentang (886,76-966,66) cSt, dengan nilai rata-rata 920,70 cSt.
 3. Hasil perhitungan nilai viskositas oli rored EPA SAE90 yang besarnya dalam rentang (1089,51-1141,46) cSt, dengan nilai rata-rata 1120,85 cSt.

Saran

Ruang tempat fluida sebaiknya dibuat lebih besar untuk menghindari aliran turbulen pada fluida. Selain itu, dimensi tinggi kumparan dibuat lebih kecil untuk memperoleh perubahan nilai ADC terbaik dan ukuran bola besi yang dipakai mempunyai ukuran yang tidak terlampaui jauh dengan tinggi kumparan. Oleh karena itu diperlukan penelitian-penelitian lain yang dapat dikembangkan terkait dengan perancangan alat ukur waktu dengan menggunakan sensor kumparan sebagai media pembelajaran untuk materi viskositas metode bola jatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- A. W. Sears and M. W. Zemansky. 1991. University Physics (Terjemahan Soerdajana dan Amir Achmad. Bina Cipta: Jakarta.
- Ariyanti, Eka. 2010. Otomatisasi pengukuran koefisien viskositas zat cair menggunakan gelombang ultrasonik. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas sains dan teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang. Jawa Timur.
- Budianto, Anwar. 2008. Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair Dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes. Seminar Nasional IV Teknologi Nuklir Yogyakarta. ISSN 1978-0176.
- Didik Aryanto, Ernawati Septaningrum, dan Wijayanto. 2008. Rancang Bangun Viskosimeter Fluida Metode Bola Jatuh Bebas Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16. Jurnal Fisika dan Aplikasinya. Vol 8 No.2, Juni 2012.
- Mujiman. 2008. Simulasi Pengukuran Nilai Viskositas Oli Mesran SAE 10-40 dengan Penampil LCD. Telkonnika. Vol. 6 No.1. 49-56.
- Pertamina. Pertamina Lubricants Guide: Passenger Car Motor Oils.
- Pertamina. Pertamina Lubricants Guide: Automatic Transmission Oils & Manual Transmission Oils.

- Segur, J. B. and Oberstar, H. E. 1951. Viscosity of glycerol and its aqueous solutions. *Indust. & Eng. Chem.* 43(9):2117.
- Suciati, Wahyu S dan Surtono, Arif. 2009. Pemanfaatan sensor koil sebagai detektor pencatat waktu pada viscometer metode bola jatuh berbasis komputer. Seminar hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. 143-149. Lampung, Universitas Negeri Lampung.