

Perancangan Alat Uji Viskositas Sistem Bola Jatuh untuk Mendukung Pelaksanaan Praktikum Fenomena Dasar Mesin

JORFRI B SINAGA, M. DYAN SUSILA, JOEL ARITONANG, NURIL FATAH

ABSTRACT

In this paper, the design and development of a falling ball system viscometer testing equipment is presented. The design used the principles of Newton's 1st law and Stokes' law. From the results of design, the falling ball system viscometer used the ball with diameter of 0.016 m and density of 950 kg/m^3 , and the acrylic tube with diameter of 0.056 m and length of 0.6 m. The test results of this viscometer using Mesran Super SAE 20W-50 oil and Shell Helix SAE oil at temperature of 40 were obtained the viscosity value of 0.122 kg/m.s and 0.10 kg/m.s respectively. These test results are close to the actual viscosity values given by the manufacturer. From the test results obtained, this testing equipment of falling ball system viscometer can be used to support the laboratory work at the Mechanical Engineering Department, University of Lampung. In this paper, the design and development of a falling ball system viscometer testing equipment is presented. The design used the principles of Newton's 1st law and Stokes' law. From the results of design, the falling ball system viscometer used the ball with diameter of 0.016 m and density of 950 kg/m^3 , and the acrylic tube with diameter of 0.056 m and length of 0.6 m. The test results of this viscometer using Mesran Super SAE 20W-50 oil and Shell Helix SAE oil at temperature of 40 were obtained the viscosity value of 0.122 kg/m.s and 0.10 kg/m.s respectively. These test results are close to the actual viscosity values given by the manufacturer. From the test results obtained, this testing equipment of falling ball system viscometer can be used to support the laboratory work at the Mechanical Engineering Department, University of Lampung.

Keywords: Falling Ball Viscometer, Laboratory Work, Viscosity

PENDAHULUAN

Engineer merupakan profesi yang menerapkan ilmu atau teknologi dengan menggunakan ilmu pengetahuan alam, matematika, dan pengalaman praktis untuk menyelesaikan permasalahan manusia. Sehingga untuk menghasilkan *engineer* yang memiliki kompetensi dalam teknik, teoritis, dan praktis, maka dalam proses pembelajaran di bidang teknik harus didukung dengan adanya proses praktikum yang bertujuan agar mahasiswa dapat meningkatkan pemahaman dengan menerapkan secara aktual konsep-konsep dasar dan hubungan secara teori yang didapat pada perkuliahan secara eksperimen. Pelaksanaan praktikum juga akan memberikan: kemampuan untuk merancang dan melakukan eksperimen, serta menganalisis dan menafsirkan data, kemampuan untuk berkomunikasi secara

efektif, kemampuan untuk menggunakan teknik, keterampilan, dan alat teknik modern yang diperlukan untuk praktek rekayasa (Treuren, 2007). Agar proses praktikum dapat dilakukan maka setiap jurusan Fakultas Teknik menyediakan laboratorium dan juga alat-alat pengujian yang digunakan untuk menunjang praktikum.

Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung saat ini memiliki sepuluh laboratorium yang mendukung untuk proses perkuliahan maupun penelitian, dimana salah satunya adalah Laboratorium Mekanika Fluida. Pada Laboratorium Mekanika Fluida terdapat mesin-mesin fluida seperti turbin air (Sinaga et al., 2017), kompresor, pompa hydram (Sinaga, 2009), dan pompa sentrifugal yang digunakan untuk praktikum Prestasi mesin untuk mahasiswa S1 dan Mesin-mesin Fluida untuk mahasiswa D3 Teknik Mesin Universitas Lampung dan juga alat uji gesekan aliran dalam

pipa (Sinaga, 2011) untuk Praktikum Fenomena Dasar Mesin untuk mahasiswa S1 dan Praktikum Fisika Terapan untuk mahasiswa D3 Teknik Mesin Universitas Lampung).

Namun pada bidang mekanika fluida alat yang digunakan untuk menunjang proses praktikum Fenomena Dasar Mesin jumlahnya masih kurang memadai. Maka dengan itu perlunya untuk dilakukan perancangan alat pengujian viskometer sistem bola jatuh, agar dapat digunakan untuk menunjang proses pembelajaran atau praktikum Fenomena Dasar Mesin.

Viskometer sistem bola jatuh merupakan alat uji viskositas fluida, dimana nilai viskositasnya didasarkan oleh waktu kecepatan bola jatuh ke permukaan tabung yang diisi oleh fluida uji. Keunggulan viskometer bola jatuh mudah untuk dirancang dan juga biaya pembuatannya dan perawatan alat uji sangat murah. Metode untuk merancang viskometer sistem bola jatuh adalah dengan menggunakan prinsip hukum Stokes dan hukum I Newton, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Sigma F = 0 \quad (1)$$

$$F_A + F_S = mg$$



Gambar 1. Gaya-gaya pada bola di dalam fluida (Anwar, 2008)

Dengan memasukkan rumusan gaya apung (F_A) rumusan gaya gesekan (F_S) menggunakan hukum Stokes dan juga memasukkan nilai berat (W) bola maka akan didapat formula viskositas fluida sebagai berikut ini:

$$\rho_f Vg + 6 \pi \mu r v = mg$$

$$\rho_f \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g + 6 \pi \mu r v = mg$$

$$6 \mu v = 4/3 r^2 g (\rho_b - \rho_f) \quad (2)$$

Sehingga didapat formula untuk menghitung nilai viskositas fluida adalah:

$$\mu = \frac{2}{9} \frac{g r^2 (\rho_b - \rho_f)}{v} \quad (3)$$

Dimana r adalah jari-jari bola, g adalah percepatan gravitasi, v adalah kecepatan terminal, ρ_b adalah massa jenis bola, dan ρ_f adalah massa jenis fluida.

Pada Persamaan 3 menunjukkan adanya hubungan antara viskositas fluida yang diuji dengan kecepatan terminal bola jatuh. Pada saat bola melintasi fluida secara vertikal terjadi koreksi antara bola dengan fluida yang diuji. Sehingga mempengaruhi kecepatan bola jatuh dikarenakan adanya interaksi antara dinding tabung yang digunakan dengan bola (W) dan sampai titik akhir jatuh (E), maka persamaan untuk menghitung besaran nilai viskositas menggunakan rumus sebagai berikut (Leblanc et al., 1999):

$$\mu = \frac{2}{9} \frac{g r^2 W (\rho_b - \rho_f)}{v E} \quad (4)$$

Dimana untuk menentukan nilai koreksi dinding (W) dan nilai *ends* (E) menggunakan rumus sebagai berikut ini :

$$W = 1 - 14 (r/r_s) + 2.09 (r/r_s)^3 - 0.95 (r/r_s)^5 \quad (5)$$

$$E = 1 + 3.3 (r_s/H) \quad (6)$$

Dimana r adalah jari-jari bola, r_s adalah jari-jari tabung dan H adalah jarak tempuh bola

Koreksi dinding secara empiris berlaku untuk nilai $0.16 \leq r/r_s \leq 0.32$. Di luar dari nilai ini, maka akan mengganggu kecepatan bola jatuh karena adanya efek dari koreksi dinding tabung akrilik terhadap kecepatan bola jatuh, sehingga akibatnya nilai viskositas yang akan dicari tidak valid. Dimana metode ini hanya dapat digunakan untuk mengukur viskositas fluida pada kisaran 10^{-3} Pa.s sampai 10^5 Pa.s.

METODE PENELITIAN

Dalam perancangan dan pembuatan alat uji ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap perancangan, tahap pembuatan, dan pengujian. Metode perancangan alat viskometer sistem bola jatuh

menggunakan prinsip hukum 1 Newton dan hukum Stokes.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan viskometer sistem bola jatuh ini adalah heater, *termocouple*, tabung akrilik, besi, bola dan oli. Dan alat yang digunakan saat pengujian adalah termometer, dan kamera

Adapun perancangan alat uji viskometer sistem bola jatuh adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan dimensi bola

Massa jenis bola dan diameter bola yang digunakan dapat ditentukan dengan nilai viskositas oli mesran super SAE 20W-50 pada suhu 40 °C sebesar 0.136 kg/m.s dengan massa jenis fluida sebesar 860 kg/m³. Dimana terlebih dahulu dilakukan mencari dan mencoba-coba nilai diameter yang memenuhi syarat r_s/s yang telah ditentukan. Kemudian dengan menggunakan persamaan bilangan Reynold maka nilai kecepatan bola dapat dihitung dimana nilai bilangan Reynold yang digunakan sebesar 8 agar sesuai dengan persamaan hukum Stokes (Fox et al., 2011). Selanjutnya nilai massa jenis bola dapat dihitung.

2. Penentuan dimensi tabung

Tabung digunakan sebagai tempat fluida untuk dilakukan pengujian viskositas sistem bola jatuh. Hal yang diperhatikan dalam penggunaan tabung adalah diameter tabung. Dimana koreksi dinding yang digunakan yaitu $0,16 \leq \frac{r}{r_s} \leq 0,32$.

Setelah dilakukan perancangan dan pembuatan alat uji viskositas ini, kemudian dilakukan pengujian. Prosedur pengujian yang dilakukan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut ini : pertama-tama menyiapkan fluida yang akan diuji dan juga menyiapkan bola yang akan digunakan. Kemudian dilakukan pemanasan fluida dengan menggunakan heater untuk menaikkan temperatur fluida sesuai dengan temperatur yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan perekaman waktu bola jatuh dan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan kamera digital. Kemudian dari hasil rekaman tersebut dicatat waktu bola jatuh dan melakukan analisis hubungan waktu jatuh bola terhadap kecepatan jatuh bola, untuk mendapatkan nilai kecepatan terminal. Kemudian dilakukan perhitungan nilai viskositas, nilai bilangan Reynold untuk mengetahui apakah alat yang dirancang ini sesuai dengan kondisi hukum Stokes sebelum digunakan untuk praktikum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan alat uji viskometer sistem bola jatuh adalah sebagai berikut ini

1. Dimensi bola

Massa jenis bola dan diameter bola yang digunakan dapat ditentukan dengan nilai viskositas oli mesran super SAE 20W-50 pada suhu 40 °C sebesar 0.136 kg/m.s dengan massa jenis fluida sebesar 860 kg/m³.

Setelah dilakukan perhitungan dengan mencoba-coba diameter yang memenuhi syarat r_s/s yang telah ditentukan, maka didapat nilai diameter bola sebesar 16 cm. Dengan menggunakan persamaan bilangan Reynold maka nilai kecepatan terminal bola dapat dihitung, dimana nilai bilangan Reynold yang digunakan sebesar 8 ($Re < 10$) agar sesuai dengan persamaan Hukum Stokes (Fox et al., 2011). Maka diperoleh kecepatan terminal v yaitu 0.08 m/s.

Dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3 dengan menggunakan nilai viskositas oli mesran super SAE 20W-50 pada suhu 40 °C, maka diperoleh massa jenis bola yang digunakan sebesar 940 kg/m³ dengan diameter bola sebesar 1,6 cm. Bola dibuat dari bahan resin dan katalis, dengan melapisi bola dengan massa bola sebesar 2 gram.

2. Dimensi tabung

Bahan tabung yang digunakan sebagai tempat fluida untuk dilakukan pengujian viskositas sistem bola jatuh adalah tabung akrilik. Faktor koreksi dinding yang digunakan yaitu $0,16 \leq \frac{r}{r_s} \leq 0,32$, dimana diambil nilai 0,28.

Sehingga dengan menggunakan diameter bola yang digunakan sebesar 1,6 cm, maka diameter tabung yang digunakan sebesar 5.6 cm. Dan tinggi tabung yang digunakan sebesar 60 cm.



Gambar 2. Hasil rancangan alat uji viskometer sistem bola jatuh

Keterangan gambar :

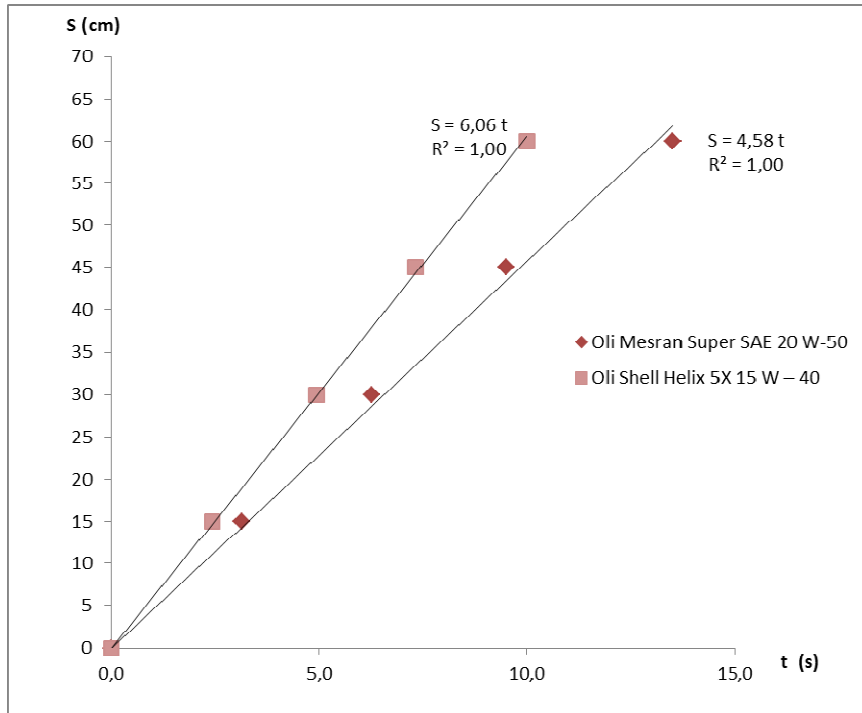
1. Heater
2. Tabung akrilik
3. Dudukan tabung dan heater
4. *Termocouple*
5. Pipa saluran keluar
6. Penampung

Pengujian viskometer sistem bola jatuh dilakukan di laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Fak. Teknik, Universitas Lampung. Pada pengujian ini menggunakan dua macam fluida yaitu oli pertamina oli Mesran Super SAE 20W-50 dan Shell Helix 15W-40, pada suhu 40°C. Setelah dilakukan pengujian viskometer sistem bola jatuh maka data yang diperoleh pada saat pengujian adalah waktu bola jatuh pada jarak 0.15 m, 0.30 m, 0.45m dan 0.60 m dan suhu fluida. Selanjutnya melakukan perhitungan kecepatan bola jatuh, sehingga akan di dapat kecepatan terminal bola yang akan digunakan untuk menghitung besaran viskositas fluida, dan kemudian dihitung bilangan Reynold untuk mengetahui apakah pengujian ini sesuai dengan syarat hukum Stokes.

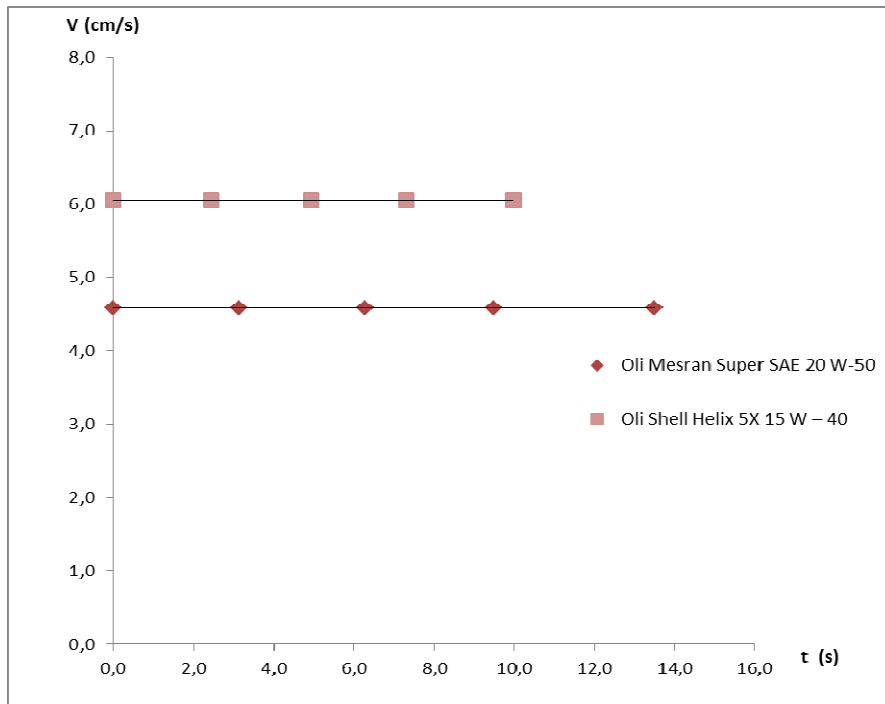
Hasil pengujian hubungan waktu bola jatuh terhadap jarak, dan waktu bola jatuh terhadap kecepatan pada suhu 40°C dapat dilihat pada

Gambar 3 dan Gambar 4. Pada Gambar 3, dapat dilihat grafik hubungan antara waktu jatuh bola terhadap jarak memiliki hubungan yang linier, dimana gerakan bola jatuh di dalam fluida oli bergerak dengan kecepatan konstan, dimana hubungan jarak terhadap waktu adalah $S = 4,58t$ cm untuk Oli Mesran Super SAE 20 W-50, dan $S = 6,06t$ cm untuk Oli Shell Helix 5X 15 W – 40. Dan pada Gambar 4, dapat dilihat grafik hubungan antara waktu jatuh bola terhadap kecepatan memiliki hubungan yang konstan, dimana hubungan ini diperoleh dengan menurunkan persamaan jarak terhadap waktu, sehingga diperoleh hubungan kecepatan terhadap waktu adalah $v = 4,58$ cm/s untuk Oli Mesran Super SAE 20 W-50, dan $v = 6,06$ cm/s untuk Oli Shell Helix 5X 15 W – 40. Nilai Bilangan Reynold untuk pengujian ini adalah $Re = 4,69$ untuk Oli Mesran Super SAE 20 W-50 dan $Re = 0,92$ untuk Oli Shell Helix 5X 15 W – 40 dan nilai masih sesuai dengan persyaratan hukum Stokes dimana $Re < 10$.

Menggunakan data hasil pengujian rancangan viskometer bola jatuh ini, dan dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 diperoleh nilai viskositas fluida oli Mesran Super SAE 20W-50 sebesar 0,12 kg/m.s pada suhu 40 °C dan nilai viskositas fluida Shell Helix SAE 15W-40 sebesar 0.99 kg/m.s pada suhu 40 °C . Nilai viskositas aktual fluida oli Mesran Super SAE 20W-50 sebesar 0,136 kg/m.s dan nilai viskositas fluida Shell Helix SAE 15W-40 sebesar 0.9 kg/m.s pada suhu 40 °C. Maka diperoleh error pengujian viskometer sistem bola jatuh 10 % untuk pengujian viskositas oli Mesran Super SAE 20W-50 pada suhu 40 °C dan sebesar 11 % untuk pengujian oli Shell Helix SAE 15W-40 pada suhu 40 °C. Melihat penyimpangan nilai alat uji viskometer sistem bola jatuh yang cukup kecil, maka alat uji ini sudah dapat digunakan untuk mendukung proses pelaksanaan praktikum Fenomena Dasar Mesin untuk mahasiswa S1 dan praktikum Fisika Terapan untuk mahasiswa diploma D3 Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.



GAMBAR 3. Grafik hubungan antara waktu terhadap jarak bola jatuh pada pengujian oli pada suhu 40 °C.



GAMBAR 4. Grafik hubungan antara waktu terhadap kecepatan bola jatuh pada pengujian oli pada suhu 40 °C.

KESIMPULAN

Setiap makalah diakhiri dengan kesimpulan, yang merangkum hasil dari makalah yang ditulis.

Pada makalah ini telah diberikan perancangan dan pembuatan viskometer sistem bola jatuh dengan menggunakan metode prinsip hukum 1 Newton dan hukum Stokes. Hasil perancangan yang telah dilakukan maka digunakan diameter bola sebesar 0.016 m dengan massa jenis bola sebesar 950 kg/m³,

dan dimensi tabung akrilik yang digunakan yaitu diameter tabung sebesar 0.056 m dengan nilai koreksi dinding sebesar 0.28 dan panjang tabung akrilik yang digunakan sebesar 0.6 m. Pengujian alat uji viskometer sistem bola jatuh, dengan menguji viskositas oli Mesran Super SAE 20 W- 50 pada suhu 40 °C didapat nilai kecepatan terminal sebesar 0.0458 m/s dan nilai viskositas sebesar 0.122 kg/m.s dengan error pengujian sebesar 10,2 % dan juga menguji oli Shell Helix 5X SAE 15 W- 40 pada suhu 40 °C didapat nilai kecepatan terminal sebesar 0.0606 m/s dan nilai viskositas sebesar 0.10 kg/m.s dengan error pengujian sebesar 11 %. Berdasarkan hasil pengujian yang telah didapat maka dengan demikian alat uji viskometer sistem bola jatuh dapat digunakan untuk mendukung proses praktikum Fenomena Dasar Mesin bagi mahasiswa S1 dan praktikum Fisika Terapan bagi mahasiswa diploma D3 Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, B. (2008). Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair Dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes. *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.
- Fox, R. W., Mc Donald, A. T., Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.
- Leblanc, G.E., Secco, RA., Kostic, M. (1999). *Viscosity Measurement*. CRC Press.
- Sinaga, J. B. (2009) Perancangan Alat Pengujian Pompa Tanpa Motor (*Hydrum Pump*) untuk Mendukung Pelaksanaan Praktikum Prestasi Mesin di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, *Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Unila*, B. Lampung.
- Sinaga, J. B. (2011) Perancangan Alat Uji Gesekan Aliran Di Dalam Pipa Untuk Mendukung Pelaksanaan Praktikum Fenomena Dasar Mesin Di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi – IV*, B. Lampung.
- Sinaga, J. B., A. Suudi, M. A. Khonaifi, M. Rahman, Sugiman,(2017) Perancangan Alat Pengujian Model Turbin Air *Ultra Low Head* untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), *Prosiding Seminar Nasional Energi dan Industri Manufaktur SIGER 2017*, B. Lampung.
- Treuren K. V., (2007) Using a Mechanical Engineering Laboratory Course for Assessment. *American Society for Engineering Education*.