

# Design of a Falling Ball Speed Measuring Instrument in Viscosity Experiment Using Arduino UNO ATmega

(Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan Bola Jatuh pada Praktikum Viskositas dengan Menggunakan Arduino UNO ATmega)

**Budiyono<sup>\*</sup>, Edy Sutrisno, Taufik Usman Wibowo**

*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember  
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121*

## ABSTRACT

Viscosity experiments in universities generally use falling ball method with manual observations. Measuring travel time of iron ball from one point to another manually using a stopwatch can cause a large error. This problem can be solved by designing a digital falling ball viscometer using infrared and photodiode configured with Arduino. Infrared and photodiode pairs are placed in the top and bottom glass tubes to detect the movement of iron ball so that it produces a change in voltage. This voltage change is used to mark start and stop times in time measurement. The time measurement obtained is then used to calculate speed of the ball through the formula for distance between sensors divided by time. Data obtained is then entered into viscosity formula of falling ball method to obtain viscosity value of fluid (oil). The digital falling ball viscometer is accurate when error obtained is less than 5%. The results obtained are the error of the digital viscometer measurement results are better than the error of the manual viscometer. The highest error obtained from the digital viscometer is 4%, while the lowest is 1%. This indicates that the digital falling ball viscometer has a high enough accuracy so that data obtained is in accordance with the reference and can be used as a viscosity experiment tool using falling ball method.

Praktikum viskositas di perguruan tinggi pada umumnya menggunakan metode bola jatuh dengan pengamatan secara manual. Pengukuran waktu tempuh bola besi dari satu titik ke titik lainnya secara manual menggunakan stopwatch dapat menyebabkan *error* yang besar. Permasalahan ini dapat diatasi dengan mendesain sebuah alat viskometer bola jatuh digital menggunakan inframerah dan fotodiode yang terkonfigurasi dengan arduino. Pasangan inframerah dan fotodiode diletakkan di tabung kaca bagian atas dan bagian bawah untuk mendeteksi gerakan bola besi sehingga menghasilkan perubahan tegangan. Perubahan tegangan ini dimanfaatkan untuk menandai waktu mulai dan henti dalam pengukuran waktu. Pengukuran waktu yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan bola melalui rumus jarak antar sensor dibagi dengan waktu. Semua data yang didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam rumus viskositas metode bola jatuh untuk mendapatkan nilai viskosita fluida (minyak). Viskometer bola jatuh digital dapat dikatakan akurat ketika *error* yang didapatkan kurang dari 5%. Hasil yang didapatkan yaitu *error* yang dihasilkan dari viskometer digital lebih baik dibandingkan *error* dari viskometer manual. *Error* paling tinggi yang didapatkan dari viskometer digital yaitu 4% sedangkan terendah 1%. Hal ini menandakan bahwa viskometer bola jatuh digital memiliki akurasi yang cukup tinggi sehingga data yang didapatkan sesuai dengan referensidan dapat digunakan sebagai salah satu alat bantu praktikum viskositas menggunakan metode bola jatuh.

**Keywords:** viscosity experiments, infrared; photodiode, arduino, falling ball method.

**\*)Corresponding author:**  
Budiyono  
E-mail: boedyfisika1dasar@gmail.com

## PENDAHULUAN

Praktikum viskositas merupakan salah satu percobaan atau praktikum dari fisika dasar yang bertujuan untuk mengukur kekentalan zat cair. Kekentalan zat cair merupakan salah satu karakteristik

dari suatu fluida. Pengukuran viskositas terdiri dari banyak metode seperti metode ultrasonik, metode bola jatuh, metode vibrasi, dan metode rotasi. Salah satu metode non-destruktif (tidak merusak) dan sering digunakan pada kegiatan praktikum yaitu metode bola jatuh. Kelemahan dari pengukuran

viskositas metode bola jatuh sampai saat ini adalah pengukuran waktu secara manual sehingga data yang didapatkan cenderung kurang akurat. Ketidakakuratan ini timbul akibat tidak lurus nya arah pandangan pengamat dan kelelahan atau kerusakan mata pengamat sehingga pencatatan waktu kurang akurat [1].

Berdasarkan permasalahan ketidakakuratan pada praktikum viskositas, maka peneliti ingin merancang sebuah viskometer bola jatuh digital otomatis menggunakan LED inframerah dan sensor fotodioda untuk membantu praktikan dalam mengukur kecepatan bola jatuh di zat cair. LED inframerah dan sensor fotodioda diletakkan saling berhadapan di dinding tabung viskositas untuk mendeteksi bola jatuh. Sensor ini kemudian dihubungkan dengan Arduino Uno untuk membaca sinyal dari sensor dan kemudian memulai atau memberhentikan pengukuran waktu. Sensor yang digunakan diletakkan di dekat permukaan cairan dan di dekat dasar tabung. Sensor di bagian atas sebagai pemicu dimulainya pengukuran waktu, sedangkan sensor di bagian bawah berguna untuk menghentikan pengukuran waktu. Data waktu tempuh bola akan ditampilkan melalui LCD (*Liquid Crystal Display*) yang terhubung dengan Arduino.

Viskositas terdiri dari 2 jenis yaitu viskositas kinematik dan viskositas dinamik. Viskositas dinamik didapatkan dari perkalian antara viskositas kinematik dengan massa jenis cairan sedangkan viskositas kinematik adalah suatu nilai yang menyatakan ukuran hambatan untuk cairan. Satuan umum yang digunakan untuk viskositas dinamik adalah Pa.s dan P (Poise) sedangkan satuan untuk viskositas kinematik adalah Stokes [2]. Ketika sebuah benda bergerak dalam fluida tidak ideal (fluida memiliki viskositas cukup besar) maka terjadi gaya hambat pada benda yang disebut gaya Stokes. Gaya Stokes merupakan gaya yang timbul akibat gesekan antara zat cair dengan permukaan benda. Rumus dari gaya Stokes hanya berlaku untuk geometri berbentuk bola dengan permukaan halus [3]. Rumus dari gaya Stokes

$$F_s = 6\pi \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $F_s$  adalah gaya stokes (N),  $\eta$  adalah viskositas (N /m<sup>2</sup>),  $r$  adalah jari – jari bola (m), dan  $v$  adalah kecepatan bola (m/s).

Gaya yang bekerja pada bola ketika jatuh ke dalam fluida adalah gaya berat, gaya Archimedes serta gaya Stokes yang mengarah ke atas. Ketiga gaya ini terus

bekerja pada benda seiring dengan gerak benda tersebut hingga sistem setimbang atau resultan gaya sama dengan nol. Ketika resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, maka kecepatan benda tersebut tetap. Kecepatan ini disebut dengan kecepatan terminal [4]. Secara matematis dapat dituliskan :

$$m - F_s - F_A = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Mengingat bahwa  $F_A$  merupakan gaya Archimedes,  $F_s$  merupakan gaya Stokes dan massa benda (m) berhubungan dengan massa jenis benda, maka persamaan (2) dapat dirubah menjadi :

$$\rho_b V_b g - 6\pi v_T - V_b \rho_f g = 0 \dots\dots\dots(3)$$

sehingg didapatkan rumusan dari viskositas yaitu :

$$\eta = \frac{2gr^2(\rho_b - \rho_f)}{9v_T} \dots\dots\dots(4)$$

dimana  $\rho_b$  adalah massa jenis benda (k /m<sup>3</sup>),  $\rho_f$  adalah massa jenis fluida (k /m<sup>3</sup>),  $g$  adalah percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s<sup>2</sup>) dan  $v_T$  adalah kecepatan terminal (m/s).

Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang dirangkai dalam sebuah chip dimana di dalamnya sudah terdapat mikroprosesor, I/O, dan memori. Mikrokontroler yang paling umum adalah AVR (Alf and Vegard’s Risc Processor) yang memiliki arsitektur 8 bit. Salah satu contoh dari mikrokontroler yaitu Arduino Uno R3 dengan chip ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin input / output digital dan 6 input analog. Arduino Uno bisa berjalan dengan kombinasi *hardware*, bahasa pemrograman dan IDE (*Integrated Development Environment*) sebagai aplikasi penulis pemrograman [5]. Arduino UNO memiliki fitur yang memudahkan pengguna salah satu contohnya hanya dengan menghubungkan Arduino ke komputer melalui *port* USB, maka Arduino siap digunakan. Arduino merupakan sebuah alat yang bersifat *open source* dan penggunaannya disandingkan dengan aplikasi Arduino IDE yang menggunakan bahasa C. Arduino IDE merupakan program yang dapat memberikan perintah (*compile*) ke mikrokontroler ATmega 328 yang terdapat di dalam Arduino Uno tanpa tambahan apapun [6].

Fotodioda adalah komponen elektronika yang mengubah cahaya menjadi arus listrik. Fotodioda termasuk dalam komponen aktif yang terbuat dari

bahan semikonduktor. Fotodioda memiliki terminal positif (anoda) dan terminal negatif (katoda) serta memiliki lensa dan filter optik di permukaan sebagai pendeteksi cahaya. Cahaya yang dapat dideteksi fotodioda antara lain cahaya tampak, sinar Inframerah, sinar Ultra-violet hingga sinar X (tergantung pada bahan semikonduktor). Fotodioda memiliki sensitivitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan pendeteksi cahaya lainnya. Resistansi dari fotodioda semakin mengecil seiring dengan membesarnya intensitas cahaya, sehingga semakin besar radiasi yang dipancarkan sumber cahaya, maka resistansinya semakin mengecil begitu juga sebaliknya [7].

Tissos dkk (2014) telah melakukan penelitian pengukuran viskositas fluida tetapi menggunakan sensor Efek Hall UGN3503 dan Arduino Uno 328. Prinsip kerja dari alat yang dibuat oleh Tissos dkk adalah bola besi yang masuk ke dalam fluida akan terdeteksi oleh sensor efek Hall dan menyebabkan medan magnet dari sensor berubah ketika bola besi yang bergerak dalam fluida melewati sensor. Besaran medan magnet ini kemudian dirubah oleh sensor menjadi tegangan listrik. Perubahan tegangan diolah lebih lanjut oleh Arduino dan digunakan sebagai penanda dimulainya pengukuran waktu tempuh. Ketika bola tepat melewati sensor Efek Hall yang kedua (tabung viskositas bagian bawah), sensor Efek Hall akan kembali mendeteksi perubahan medan magnet, dirubah menjadi sinyal listrik dan mengirimkannya Arduino sebagai penanda akhir pengukuran waktu. Arduino melakukan perhitungan secara otomatis sehingga didapatkan nilai viskositas fluida. Nilai dari viskositas fluida kemudian ditampilkan pada LCD. Hasil yang didapatkan yaitu sistem sensor Efek Hall memiliki ketelitian yang cukup tinggi dengan persentase kesalahan sebesar 4,2% [8].

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Surtono dan Suciwati (2015), dengan menggunakan sensor fotodioda, laser serta arduino ATmega 8535. Prinsip kerja dari alat ini yaitu mengkonversi tegangan yang diukur oleh fotodioda menjadi waktu tempuh bola jatuh. Ketika bola melewati laser, maka terjadi perubahan tegangan pada fotodioda yang kemudian dikonversi menjadi waktu oleh IC LM311. Analisis data yang dilakukan oleh Surtono dan Suciwati yaitu membandingkan pengukuran waktu bola jatuh oleh alat dan secara manual. Hasil yang didapatkan yaitu sistem yang dibuat mengukur waktu bola jatuh lebih baik dibandingkan manual serta sistem yang terdiri

dari sensor fotodioda, IC LM311, laser, dan arduino ATmega8535 dapat berfungsi dengan baik sebagai sistem deteksi bola jatuh [9].

Dalam penelitian ini, peneliti mendesain viskometer bola jatuh digital yang lebih handal dan sesuai kebutuhan praktikum sains dasar di perguruan tinggi. Dalam penelitian ini, jumlah sensor yang digunakan lebih banyak yaitu 16 pasang LED inframerah dan fotodioda agar lebih peka dalam mendeteksi gerak bola jatuh di dalam tabung berisi cairan. Selain itu, suhu cairan juga divariasikan untuk mengetahui kehandalan desain sensor dalam viskometer bolajatu digital.

## METODE PENELITIAN

### Kerangka Pemecahan Masalah

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain tabung kaca sebagai wadah cairan uji untuk viskometer, statif sebagai penyangga tabung kaca, bola besi sebagai bola uji viskometer digital, 16 pasang inframerah dan fotodioda sebagai sensor pemicu pengukuran waktu, Arduino sebagai mikrokontroler untuk mengatur sensor (pengukuran waktu), LED sebagai indikator pendeteksi dari pasangan inframerah dan fotodioda, resistor sebagai penghambat arus, potensiometer sebagai pengatur sensitivitas dari inframerah dan fotodioda, IC LM324 sebagai komparator, magnet sebagai alat untuk menarik bola besi ketika telah diuji, LCD sebagai penampil data waktu yang terukur, kabel sebagai penghubung antar komponen elektronik, laptop sebagai perangkat keras pengolah pemrograman dan data, minyak goreng FILMA sebagai cairan uji viskometer digital.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan dan pengulangan. Langkah pertama yaitu mengukur massa bola besi menggunakan timbangan digital dan mengukur diameter bola besi menggunakan mikrometer sekrup. Selanjutnya mengukur suhu minyak goreng yang telah dipanaskan, dikarenakan dalam penelitian ini juga menggunakan variasi suhu cairan untuk menguji kehandalan alat. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, massa jenis minyak diukur menggunakan metode gelas ukur lalu dan melakukan kalibrasi alat. Selanjutnya bola dijatuhkan pada tabung kaca yang berisi minyak goreng dengan suhu tertentu. Inframerah dan fotodioda sebanyak 16 pasang ditempatkan di bagian atas dan bagian bawah tabung kaca, masing-masing 8 pasang disusun

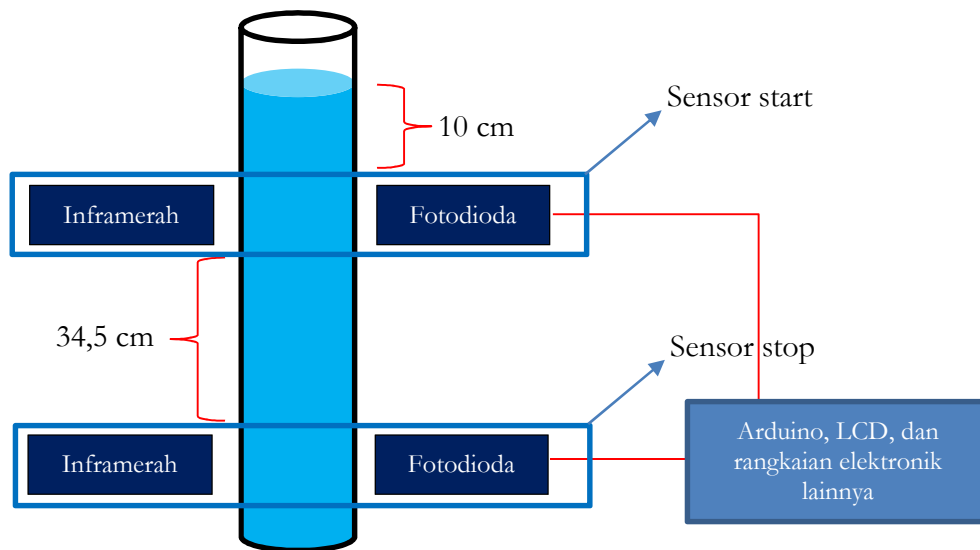
melingkari tabung. Ketika bola terdeteksi oleh kelompok sensor pertama, maka terjadi perubahan tegangan pada fotodioda yang memicu arduino untuk memulai pengukuran waktu waktu. Ketika bola mengenai kelompok sensor kedua, maka perubahan tegangan fotodioda memicu arduino untuk memberhentikan pengukuran waktu. Jika bola tidak terdeteksi di sensor pertama maupun kedua, maka bola dijatuhkan kembali ke dalam minyak hingga terdeteksi oleh sensor. Setelah didapatkan data pada suhu yang diinginkan, prosedur di atas diulangi untuk suhu yang berbeda. Suhu yang digunakan didasarkan pada referensi yang telah ada untuk memudahkan perbandingan nilai viskositas referensinya. Data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan Ms.Excel untuk mendapatkan nilai viskositas.

**Spesifikasi Desain Viskometer Digital**

Desain dari penelitian yang dilakukan sesuai dengan alat dan bahan yang telah dijelaskan sebelumnya. Spesifikasi dari set alat viskometer bola jatuh digital disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi set alat viskometer bola jatuh digital

Keterangan	Spesifikasi
Diameter luar tabung kaca	4 cm
Diameter dalam tabung kaca	3,7 cm
Tinggi tabung kaca	50 cm
Massa bola besi	2,05 g
Diameter bola besi	7,36 mm
Jarak sensor dengan permukaan	10 cm
Jarak antar sensor	34,5 cm
Resistor	22 Ω dan 33 Ω



Gambar 1. Desain viskometer bola jatuh digital

Gambar 1 merupakan desain dari viskometer bola jatuh digital sesuai dengan spesifikasi serta alat dan bahan yang telah dideskripsikan pada Tabel 1.

**Analisis 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 dapat dihitung menggunakan gelas ukur dimana massa fluida dan gelas ukur dikurangi dengan massa gelas ukur dibagi dengan volume fluida tersebut. Secara matematis dirumuskan sebagai:

$$\rho_f = \frac{m_g \quad u \quad +f \quad -m_g \quad u}{V_f} \quad \dots\dots (5)$$

Massa jenis bola dan kecepatan terminal bola berturut – turut didapatkan dari :

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$v_T = \frac{S}{t} \quad \dots\dots\dots (7)$$

dimana  $m_b$  adalah massa bola ( $k$ ),  $V_b$  adalah volume bola ( $m^3$ ),  $S$  adalah jarak antar sensor (m), dan

$t$  adalah waktu yang tercatat (s). Nilai  $\rho_f$ ,  $\rho_b$ , dan  $v_T$  dimasukkan dalam persamaan 4 sehingga didapatkan nilai viskositas. Faktor koreksi yang digunakan yaitu



faktor koreksi yang disesuaikan dengan spesifikasi alat. Faktor koreksi yang digunakan yaitu :

$$f = 1 + \frac{d}{D} \dots\dots\dots (8)$$

dimana d adalah diameter bola besi dan D adalah diameter tabung. Dengan menggunakan faktor koreksi tersebut, maka nilai viskositas hasil pengukuran yaitu :

$$\eta_p = \eta \dots\dots\dots (9)$$

Nilai viskositas yang didapatkan dari penelitian menggunakan alat ini dibandingkan dengan nilai viskositas fluida referensi. Viskometer digital dapat dikatakan akurat ketika *error* yang dihasilkan kurang dari 5%. Rumus dari *error* yaitu :

$$e (\%) = \left| \frac{\eta_p - \eta_t}{\eta_t} \right| \times 100\% \dots\dots (10)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain dan Cara kerja Sistem Viskometer Digital

Pada penelitian ini, jumlah inframerah dan fotodioda yang digunakan sebanyak 16 pasang agar kemungkinan bola besi terdeteksi oleh sensor semakin besar. Jika yang digunakan hanya 1 pasang fotodioda dan inframerah maka kemungkinan bola terdeteksi kecil karena bola dapat bergeser saat jatuh ke dalam fluida. Selain itu, konfigurasi 8 pasang sensor ini mengatasi kelemahan inframerah dimana ketika terkena kaca, maka sinar inframerah akan terfokuskan pada satu titik sehingga bola sulit terdeteksi jika sensor tidak dipasang setengah lingkaran. 8 pasang inframerah dan fotodioda ini sensitif terhadap adanya halangan sehingga diperlukan uji kinerja sensor. Uji kinerja sensor dari viskometer digital hanya dilakukan ketika terdapat LED yang menyala saat bola akan dijatuhkan. Setiap LED dapat diatur menggunakan potensiometer, artinya satu potensiometer mengatur satu LED. Pengaturan dilakukan dengan cara memutar potensiometer dari LED yang hidup hingga LED mati lalu diputar sedikit ke arah yang berlawanan hingga menyala lalu diputar kembali ke arah yang berlawanan hingga LED mati. Ketika potensiometer telah dikembalikan ke posisi putaran potensiometer hingga LED mulai mati, maka sistem sensor telah teruji. Dalam uji kinerja sensor, sistem sensor telah kembali ke keadaan, dimana fotodioda mendeteksi intensitas

cahaya inframerah yang dipancarkan LED inframerah ketika, ruang antara fotodioda dan LED Inframerah terhalang oleh objek yang baru, dalam hal ini berupa cairan yang baru.

Cara kerja sistem viskometer digital ini yaitu terdapat dua buah modul sensor yang terletak di dekat permukaan cairan (bagian atas tabung) yang berfungsi sebagai sensor “start” dan terdapat di bawah tabung sebagai sensor “stop”. Pembacaan sensor fotodioda ini dihubungkan dengan rangkaian komparator LM324. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan *Variable Resistor* (VR) di dalam IC LM324, jika tegangan sensor dan VR sama maka tegangan akan dilewatkan IC LM324. Output dari komparator merupakan LED dan masuk sebagai input Arduino yang akan memberikan logika 1 atau HIGH jika sensor membaca adanya halangan dan memberikan logika LOW atau 0 jika sensor tidak mendapatkan halangan. Artinya jika bola terdeteksi oleh salah satu pasangan inframerah dan fotodioda, maka salah satu LED akan menyala. Pada Arduino telah terprogram bahwa sensor “start” apabila salah satu dari 8 sensor bagian atas (pasangan inframerah dan fotodioda) mendeteksi bola besi atau halangan lain maka stopwatch akan mulai menghitung dan apabila salah satu dari 8 sensor bagian bawah mendeteksi bola besi atau halangan lain maka waktu stopwatch akan “stop” berhenti. *Output* yang ditampilkan pada LCD adalah selang waktu antara pembacaan sensor start dan sensor stop.

### Hasil Pengukuran Viskositas

Pengukuran viskositas minyak goreng dengan merk FILMA dilakukan menggunakan satu diameter bola dengan 5 variasi suhu minyak. Hal ini dikarenakan referensi yang didapatkan salah satunya menggunakan minyak goreng FILMA dengan suhu yang bervariasi [10]. Spesifikasi dari tabung dan bola besi dapat dilihat pada desain alat penelitian (Gambar 1 dan Tabel 1). Hasil yang didapatkan menggunakan viskometer digital lebih baik dibandingkan dengan pengukuran viskositas secara manual. Hal ini dapat dilihat melalui Tabel 2 dan Tabel 3 dimana *error* yang dihasilkan viskometer digital jauh lebih kecil daripada pengukuran secara manual. *Error* yang kecil menandakan akurasi alat semakin baik.

Tabel 2. Hasil pengukuran viskositas menggunakan viskometer digital

No.	T (°C)	t (s)	v <sub>T</sub> (m/s)	ρ <sub>f</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	η teori [10]	η pengukuran	Error
1	29	0,44	0,784	907	0,393	0,402	2%
2	35	0,40	0,863	895	0,368	0,366	1%
3	40	0,38	0,908	885	0,361	0,348	4%
4	45	0,37	0,932	875	0,350	0,339	3%
5	50	0,35	0,986	870	0,331	0,321	3%

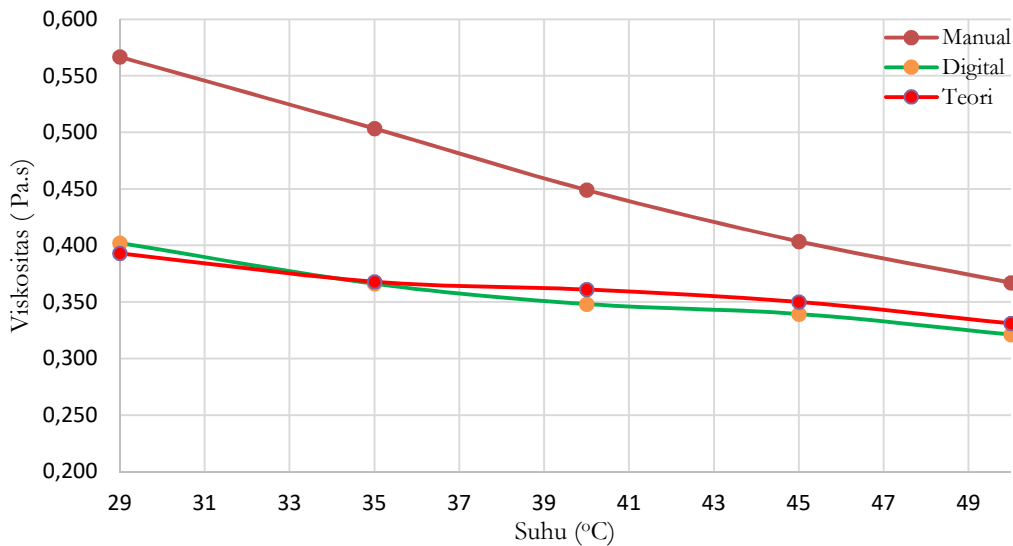
η teori didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Damayanti dkk (2018) [10].

Tabel 3. Hasil pengukuran viskositas secara manual

No.	T (°C)	t (s)	v <sub>T</sub> (m/s)	ρ <sub>f</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	η teori	η pengukuran	Error
1	29	0,62	0,556	907	0,393	0,567	44%
2	35	0,55	0,627	895	0,368	0,503	37%
3	40	0,49	0,704	885	0,361	0,449	24%
4	45	0,44	0,784	875	0,350	0,404	15%
5	50	0,40	0,863	870	0,331	0,367	11%

Grafik hubungan antara antara suhu dan viskositas yang dihasilkan dari pengukuran viskometer manual, viskometer digital dan referensi [10] disajikan pada Gambar 2. Pengambilan data dilakukan di dalam laboratorium dimana suhu di dalam ruang tersebut diasumsikan konstan. Pengukuran juga dilakukan secara cepat sehingga diasumsikan tidak ada perubahan suhu yang signifikan pada cairan minyak yang diukur. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa viskositas hasil pengukuran viskometer manual memiliki nilai yang jauh berbeda dengan viskositas referensi. Error dari perhitungan viskositas

menggunakan viskometer manual sangat besar dikarenakan beberapa faktor, terutama yaitu perhitungan waktu yang terlalu lambat maupun terlalu cepat. Hal ini dikarenakan bola besi meluncur dengan begitu cepat sehingga antara stopwatch dan mata pengamat kurang sinkron sehingga waktu yang terbaca bukan waktu yang sebenarnya. Beberapa faktor lainnya seperti kesalahan pengukuran diameter bola, massa bola maupun massa jenis fluida, tetapi karena yang digunakan hanya satu jenis bola, maka pengukuran yang dilakukan hanya untuk 1 bola saja sehingga beberapa faktor ini dapat diabaikan.



Gambar 2. Grafik viskositas minyak terhadap suhu

*Error* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan viskometer digital cukup baik dengan nilai di bawah 5%. Meskipun perhitungan waktu menggunakan sensor, tetapi terdapat beberapa permasalahan yang mengakibatkan masih munculnya *error*. Beberapa permasalahan tersebut antara lain rumus faktor koreksi yang tidak sesuai dan pengambilan jarak antar sensor yang kurang tepat. Faktor koreksi dari viskositas yaitu membandingkan antara diameter bola dengan diameter tabung, tetapi untuk rumusan dari faktor koreksi berbeda - beda bergantung pada spesifikasi alat tersebut. Faktor koreksi yang digunakan pada penelitian ini telah disesuaikan sedemikian rupa sehingga hasil yang didapatkan untuk semua suhu mendekati nilai referensi. Permasalahan yang kedua yaitu pengambilan jarak antar sensor yang kurang tepat mengakibatkan kecepatan yang terukur bukan kecepatan terminal.

## KESIMPULAN

Desain viskometer digital sudah cukup baik dikarenakan sensor yang dipasang melingkar pada tabung menyebabkan peluang bola terdeteksi lebih besar. Sistem juga berjalan dengan baik terlihat dari pengukuran waktu yang cukup akurat untuk berbagai suhu minyak goreng. Akurasi dari viskometer digital jauh lebih baik dibandingkan dengan akurasi dari pengukuran viskositas secara manual terlihat dari *error* yang dihasilkan, sehingga viskometer digital dapat digunakan sebagai praktikum untuk mengatasi permasalahan yang timbul pada pengukuran viskositas secara manual. Kelebihan dari alat ini yaitu dapat mengukur waktu tempuh bola secara presisi, tetapi untuk tingkat akurasi data macam - macam fluida belum dibuktikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giancoli, D.C., Fisika Edisi 5 Jilid 2, Jakarta: Erlangga, 1998.
- [2] Djaman, Pembuatan Prototipe Alat Viskositas Crude Oil dengan Menggunakan Sensor Proximity, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2016.
- [3] Rosyid, M.F., E. Firmansah dan Y.D. Prabowo, Fisika Dasar Jilid 1: Mekanika. Yogyakarta: Penerbit Periuk, 2014.
- [4] Indrajit, D., Mudah dan Aktif Belajar Fisika, Jakarta: Setia Purna Inves, 2009.

- [5] Artanto, D., Interaksi Arduino dan LabVIEW, Jakarta : PT. Elex Media Komputindo. 2012
- [6] Handoko, P., "Sistem Kendali Perangkat Elektronika Monolitik Berbasis Arduino Uno R3", *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017*, vol. 1-2, November 2017.
- [7] Simajuntak, H.D.Z., "Aplikasi Fotodiode Sebagai Penghitung Jumlah Produk Berbasis Arduino Uno", *Projek Akhir II*, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2019.
- [8] Tissos, N.P., Yulkifli., dan Z. Kamus, "Pembuatan Sistem Pengukuran Viskositas Fluida Secara Digital Menggunakan Sensor Efek Hall Ugn3503 Berbasis Arduino Uno328", *Jurnal Sainstek*, vol. 6, pp. 18-73, 2014.
- [9] Surtono, A, dan S.W. Suciwati, "Sistem Pengukur Kecepatan Pada Viskometer Bola Jatuh Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535", *Prosiding SATEK 3*. Universitas Lampung, 19 Oktober 2010.
- [10] Damayanti, Y., A.D. Lesmono, dan T. Prihandono, "Kajian Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Goreng Sebagai Rancangan Bahan Ajar Petunjuk Praktikum Fisika". *Jurnal Pembelajaran Fisika*, vol. 7, pp. 307 – 314, September 2018.