

Pembuatan Prototipe Viskometer Bola Jatuh Menggunakan Sensor Magnet dan Bola Magnet

Bias M. Lungidta Putri, Sissilia O. Putri, Farida I. Muchtadi, dan Faqihza Mukhlis

Program D3 Metrologi dan Instrumentasi, Institut Teknologi Bandung

E-mail : Altalubias@gmail.com

Abstrak

Viskometer bola jatuh merupakan alat ukur viskositas dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan sebuah bola untuk melewati cairan dengan jarak tertentu berdasarkan prinsip Hukum Stokes dan Hukum Newton. Perhitungan secara manual pada waktu tempuh bola dan nilai viskositas cairan menyebabkan kesalahan paralaks. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dibuat prototipe viskometer bola jatuh yang dapat mengukur waktu tempuh bola dan mengolahnya untuk mendapatkan nilai koefisien viskositas secara otomatis. Prototipe pada penelitian ini menggunakan dua buah *closed-circuit magnetic sensor* untuk mendeteksi waktu tempuh bola magnet saat dijatuhkan pada cairan uji. Waktu tempuh diolah menjadi kecepatan bola magnet dan nilai koefisien viskositas cairan (dPa.s) lalu ditampilkan di komputer menggunakan perangkat arduino dan LabView 8.5. Prototipe dapat mengukur waktu tempuh bola secara otomatis dan menampilkan nilai koefisien viskositas pada komputer. Hasil pengukuran nilai viskositas menggunakan prototipe sebagai berikut minyak goreng 5.46 dPa.s ; SAE 40 24.67 dPa.s dan *silicone oil* 22.97 dPa.s. Nilai tersebut jauh dari nilai viskositas referensi disebabkan faktor konstanta yang digunakan pada persamaan viskometer bola jatuh tidak dapat disesuaikan seperti teori yang ada karena syarat ukuran gelas ukur sebagai wadah cairan pada prototipe dibandingkan dengan ukuran bola tidak terpenuhi. Sehingga ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan agar diperoleh hasil pengukuran nilai viskositas cairan yang mendekati nilai sebenarnya.

Kata Kunci: viskositas cairan, sensor magnet, bola jatuh

Abstract

Falling Ball Viskometer uses falling time of the ball through liquid at fixed distance based on stokes and newton laws. Travel time and liquid viscosity that manually calculated at casual occasions usually cause parallax errors. In this research, falling ball viscometer prototype was designed to automatically calculate travel time of the ball to get viscosity value. The Prototype uses two closed-circuit magnetic sensors and a magnetic ball to detect travel time of the ball through samples. The time different that is detected by the sensors reform into falling speed and viscosity value (dPa.s) using arduino and LabView 8.5. The purpose of this measurement device design are to calculate travel time of falling ball automatically and display viscosity value. Measurement results of viscosity value in various sample; SAE 40 24.67 dPa.s; Cooking Oil 5.46 dPa.s and Silicone Oil 22.97 dPa.s. This values are not quite near the viscosity refference table, several factors involve such as glass and ball diameter ratio, teminal velocity, etc.

Keyword: Viscosity, Magnetic Sensor, Falling Ball

1 Pendahuluan

Viskositas adalah besarnya resistansi atau kelembaman fluida untuk mengalir pada fluida cair, viskositas identik dengan harga kekentalan atau gaya gesek internal fluida tersebut. Faktor yang mempengaruhi nilai viskositas fluida adalah temperatur. Semakin tinggi temperatur suatu fluida semakin berkurang nilai viskositasnya. Viskositas dapat dijadikan sebagai faktor yang menentukan kualitas suatu produk di industri-industri yang

memproduksi produk dalam bentuk cairan seperti, pelumas, pengolahan minyak, kimia, dll. Alat yang digunakan untuk mengukur nilai viskositas adalah viskometer dan salah satu viskometer yang sering digunakan yaitu Viskometer Bola Jatuh.

Viskometer Bola Jatuh adalah alat ukur viskositas yang mengukur waktu yang dibutuhkan sebuah bola untuk melewati cairan dengan jarak tertentu berdasarkan prinsip Hukum Stokes dan Hukum Newton. Pengukuran nilai koefisien viskositas fluida dilakukan dengan cara menjatuhkan bola ke sebuah gelas ukur yang berisi fluida cair yang selanjutnya nilai viskositas didapat dari perhitungan teoretis berdasar laju bola saat menempuh jarak tertentu dalam fluida. Nilai laju bola diperoleh dari data waktu dan jarak tempuh bola. Saat ini Viskometer Bola Jatuh yang digunakan untuk mengukur nilai koefisien viskositas masih bersifat manual. Waktu tempuh dihitung dengan *stopwatch* dan jarak tempuh diukur melalui indeks gelas ukur mulai dari *stopwatch* diaktifkan hingga dihentikan. Pengambilan data secara manual ini memungkinkan timbulnya kesalahan yang besar sehingga mempengaruhi hasil akhir dari nilai viskositas fluida yang diukur.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini dibuat prototipe Viskometer Bola Jatuh yang otomatis dalam pengambilan data waktu tempuh menggunakan sensor magnet dan bola magnet. Berdasarkan data waktu tempuh tersebut akan diperoleh nilai koefisien viskositas fluida yang dapat ditampilkan langsung di komputer.

2 Teori Dasar

2.1 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar atau kecilnya gesekan didalam fluida. Pada fluida gas, viskositas terjadi sebagai suatu akibat tumbukan antar molekul gas. Sedangkan viskositas fluida cair terjadi akibat adanya gaya kohesi antar molekul zat cair.

Setiap lapisan fluida akan memberikan tegangan lapisan geser (σ) sebesar F/A yang seragam. Maka kecepatan geser (γ) pada lapisan fluida disuatu tempat pada jarak y dari bidang tetap dengan tidak adanya tekanan fluida menjadi :

$$\gamma = \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

Apabila perbandingan kecepatan geser terhadap regangan geser tersebut tetap maka fluida tersebut merupakan Fluida *Newtonian*. Sedangkan fluida yang koefisien viskositasnya sangat dipengaruhi oleh gradien kecepatan disebut Fluida *Non Newtonian*.

$$\sigma = \mu \cdot \gamma \quad (2)$$

Variabel (μ) diatas didefinisikan sebagai viskositas absolut (dinamik) suatu fluida. Satuan viskositas absolut (dinamik) berdasarkan sistem SI adalah sebagai berikut :

$$\mu = \frac{[N/m^2]}{[ms^{-1}]} = N \frac{s}{m} = \frac{kg}{m} s = Pas \quad (3)$$

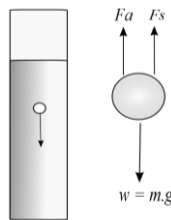
Pada umumnya faktor yang mempengaruhi nilai koefisien viskositas baik fluida *Newton* maupun *Non Newton* adalah temperatur. Temperatur memiliki pengaruh besar terhadap nilai koefisien viskositas fluida karena temperatur dapat merubah ikatan molekul fluida.

2.2 Viskometer Bola Jatuh

Prinsip pengukuran Viskometer Bola Jatuh adalah mengukur waktu tempuh bola pejal yang dijatuhkan secara vertikal dalam sebuah tabung gelas yang berisi cairan dalam keadaan diam. Pengukuran nilai koefisien viskositas cairan menggunakan Viskometer Bola Jatuh mengikuti kaidah Hukum Stokes.

$$F_s = kvv \quad (4)$$

Hukum Stokes menyatakan bahwa apabila sebuah benda bergerak dengan kecepatan (v) dalam suatu fluida dengan nilai koefisien viskositas tertentu, benda tersebut akan mengalami gaya gesek fluida yang disebut gaya stokes (F_s). Nilai k merupakan konstanta yang bergantung terhadap bentuk geometri benda. Menurut Sir George Stokes benda dengan bentuk geometris berupa bola memiliki nilai k sebesar $6\pi r$.



Gambar 1 Gaya yang bekerja pada benda yang bergerak dalam fluida diam

Ketika bola bergerak dalam fluida yang diam, gaya-gaya yang bekerja pada bola adalah gaya berat (w), gaya apung (F_a) dan gaya gesek akibat viskositas fluida disebut gaya stokes (F_s). Gaya-gaya yang bekerja pada bola ditunjukkan pada Gambar 1. Bola mula-mula mendapat percepatan gravitasi. Saat setelah bergerak cukup jauh, bola akan bergerak dengan kecepatan tetap atau kecepatan akhir ini disebut kecepatan terminal yaitu pada saat gaya berat bola sama dengan gaya apung ditambah gaya gesek cairan atau gaya stokes.

$$\sum F = 0 \quad (5)$$

Hukum Newton I menjelaskan bahwa jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol maka benda yang mula-mula bergerak akan terus bergerak dengan kecepatan tetap. Dengan memasukkan gaya-gaya yang bekerja pada bola saat bergerak dengan kecepatan tetap didalam cairan yaitu gaya apung (F_a), gaya gesek stokes (F_s) dan gaya berat bola (w) maka persamaan (5) menjadi,

$$F_a + F_s - w = 0 \quad (6)$$

Selanjutnya masing-masing gaya diuraikan,

$$\rho_f V_b g + k_{\mu} v - mg = 0 \quad (7)$$

Volume bola (V_b) dapat dihitung dengan rumus,

$$V_b = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (8)$$

Sehingga dengan memasukkan persamaan (8) dan konstanta bola pada gaya gesek stokes sebesar $6\pi r$ maka persamaan (7) menjadi,

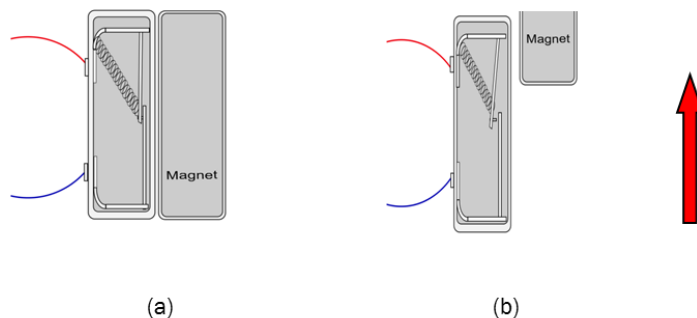
$$\rho_f \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g + (6\pi r) \mu v - mg = 0 \quad (9)$$

Untuk memperoleh nilai koefisien viskositas (μ) dari penurunan persamaan (9) dapat dilakukan proses perpindahan ruas sehingga diperoleh persamaan (10)

$$\mu = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_b - \rho_f)}{6\pi r v} = \frac{\frac{2}{3} r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{v} \quad (10)$$

Persamaan (10) diatas merupakan persamaan teoretis yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien viskositas cairan pada projek akhir ini. Persamaan (10) terdiri dari variabel gravitasi (m/s^2), densitas bola (kg/m^3), jari-jari bola (m), densitas fluida (kg/m^3) dan kecepatan bola (m/s).

2.3 Sensor Magnet



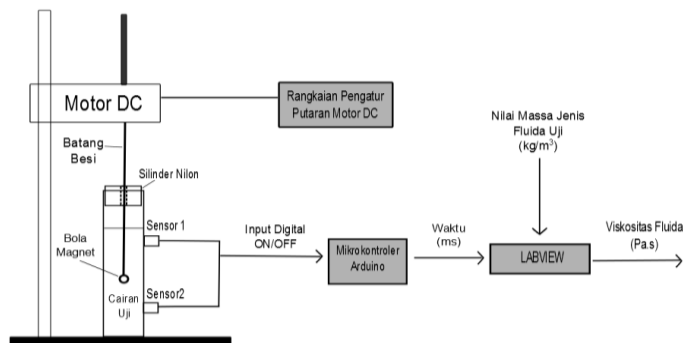
Gambar 2 Cara kerja *closed-circuit magnetic sensor* (a) keadaan ON (b) keadaan OFF

Closed-circuit magnetic sensor terdiri atas pegas dan dua lempeng logam konduktor seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Saat tidak ada medan magnet, kedua lempeng konduktor berada pada posisi terpisah dan pegas terkait pada salah satu lempeng logam konduktor. Kondisi ini merupakan kondisi saat saklar OFF. Kemudian ketika terdapat medan magnet yang berada diantara lempeng-lempeng logam tersebut, lempeng yang terkait dengan pegas akan tertarik oleh gaya magnet. Sehingga kedua lempeng logam konduktor akan saling menempel dan saklar berada pada kondisi ON. Apabila tidak ada lagi medan magnet disekitar lempeng-lempeng konduktor, pegas akan menarik lempeng logam konduktor tersebut. Sehingga kedua lempeng logam konduktor terpisah kembali.

3 Perancangan

3.1 Deskripsi Sistem

Prototipe Viskometer Bola Jatuh yang dibuat terdiri dari gelas ukur, bola magnet, sensor magnet digital *closed-circuit magnetic*, motor DC, mikrokontroler arduino UNO, statif serta batang silinder untuk mengambil dan menjatuhkan bola magnet. Berikut ini blok diagram sistem kerja prototipe Viskometer Bola Jatuh.



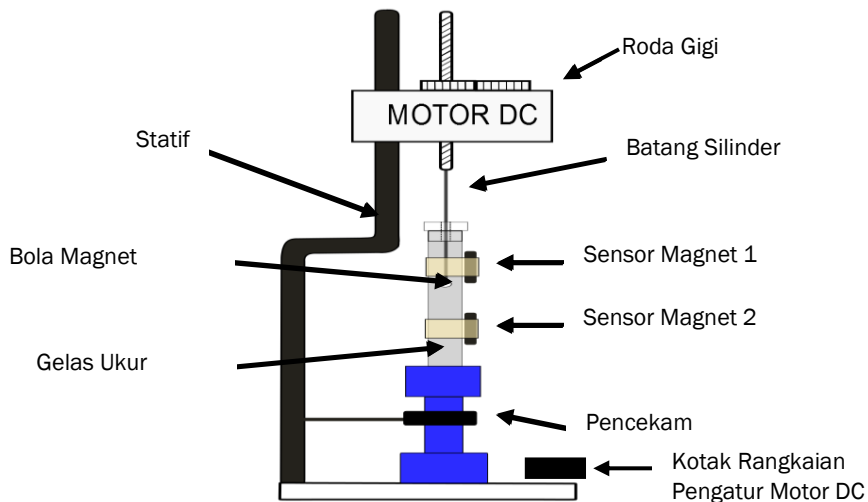
Gambar 3 Blok diagram sistem prototipe viskometer bola jatuh

Blok diagram sistem Gambar 3 menggambarkan prinsip kerja prototipe yaitu cairan yang akan diukur nilai koefisien viskositasnya ditampung dalam sebuah gelas ukur. Pada badan gelas ukur dipasang dua buah *closed-circuit magnetic sensor*. Kedua sensor tersebut diletakkan dengan jarak 6.5 cm dari titik referensi daerah deteksi masing-masing sensor. Sensor akan mendeteksi adanya medan magnet dari bola magnet yang melaju didalam cairan. Bola magnet berada pada ujung batang silinder dari bahan besi. Untuk menjatuhkan bola magnet ke dalam gelas ukur, batang silinder digerakkan ke atas menggunakan motor DC sampai bola magnet menumbuk bahan nilon di bagian permukaan gelas ukur. Bahan nilon tersebut memiliki lubang dengan diameter yang lebih kecil dari diameter bola magnet. Saat bola magnet menumbuk dan tertahan bahan nilon, pengaruh gaya tarik-menarik bola magnet dengan batang silinder akan menghilangkan secara perlahan sehingga bola jatuh ke dalam gelas ukur. Waktu tempuh bola magnet saat melaju dalam cairan dihitung oleh program penghitung waktu pada arduino. Prinsip kerja program tersebut yaitu menghitung waktu tempuh bola berdasarkan selisih data waktu yang diperlukan sejak program dijalankan sampai masing-masing sensor mendeteksi adanya medan magnet dari bola magnet.

Data waktu tempuh bola magnet yang diakuisisi arduino dikirim ke software LabView 8.5 untuk diolah menjadi nilai kecepatan (m/s) bola magnet dan nilai koefisien viskositas cairan. Nilai koefisien viskositas cairan diperoleh dengan memasukkan nilai massa jenis cairan ke kolom massa jenis yang tersedia di tampilan LabView

3.2 Rancangan Prototipe Viskometer Bola jatuh

Rancangan prototipe dibuat sedemikian rupa agar proses mengambil dan menjatuhkan bola magnet menjadi lebih mudah tanpa melibatkan operator secara langsung. Rancangan prototipe dapat dilihat pada Gambar 4. Proses mengambil dan menjatuhkan bola dilakukan menggunakan batang silinder yang dapat digerakkan naik dan turun oleh motor DC.



Gambar 4 Rancangan prototipe

Batang silinder terbuat dari bahan besi dan berasal dari sebuah batang silinder berulir. Pemilihan batang silinder berulir bertujuan agar gerakan naik dan turun batang lebih stabil. Bagian yang digunakan untuk mengambil bola magnet dibuat berdiameter lebih kecil dengan cara dibubut sampai diameternya menjadi 3 mm. Batang silinder dijaga agar tetap berada pada posisi tengah saat bergerak dalam gelas ukur oleh sebuah silinder besi yang terhubung dengan statif prototipe. Selanjutnya batang silinder terhubung dengan sepasang roda gigi. Roda gigi tersebut akan berputar sesuai dengan putaran motor DC. Putaran motor DC akan memutar roda gigi dan diubah menjadi gerakan translasi naik-turunnya batang silinder untuk mengambil dan menjatuhkan bola magnet.

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah dan menampilkan nilai koefisien viskositas cairan yaitu pemrograman pada mikrokontroler arduino UNO dan LabView 8.5. Program pada arduino dibuat untuk mengambil data waktu tempuh bola magnet saat melaju dalam cairan dengan jarak yang telah ditentukan. Sedangkan blok diagram fungsi pada LabView 8.5 digunakan untuk menghitung dan menampilkan nilai koefisien viskositas cairan.

4 Pengujian dan Analisis Data

4.1 Hasil Pengujian

Prototipe Viskometer Bola jatuh yang dibuat digunakan untuk mengukur tiga cairan yaitu, minyak goreng, pelumas SAE 40 dan *silicone oil*. Pemilihan tiga sampel tersebut berdasarkan ketersediaan cairan yang telah diketahui nilai viskositasnya di Laboratorium KLH (Kesehatan dan Lingkungan Hidup) Direktorat Metrologi. Pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk masing-masing cairan. Nilai viskositas referensi diperoleh berdasarkan informasi pegawai pengelola laboatorium.

4.1.1 Hasil Pengukuran Minyak Goreng

Tabel 1 merupakan tabel hasil pengukuran nilai viskositas cairan minyak goreng menggunakan prototipe Viskometer Bola Jatuh. Pengukuran dilakukan pada temperatur 23°C.

Tabel 1 Hasil pengukuran nilai viskositas minyak goreng

Nama Cairan	Waktu (s)	Nilai Viskositas Pengukuran (dPa.s)
MINYAK GORENG	0,176	5,42
	0,176	5,42
	0,175	5,38
	0,176	5,42
	0,182	5,60
	0,169	5,20
	0,17	5,23
	0,161	4,95
	0,189	5,82
	0,202	6,22
Rata-rata		5,46

4.1.2 Hasil Pengukuran Pelumas SAE 40

Tabel 2 merupakan tabel hasil pengukuran nilai viskositas cairan pelumas SAE 40 menggunakan prototipe Viskometer Bola Jatuh. Pengukuran dilakukan pada temperatur 23°C.

Tabel 2 Hasil pengukuran nilai viskositas pelumas SAE 40

Nama Cairan	Waktu (s)	Nilai Viskositas Pengukuran (dPa.s)
SAE 40	0,789	25,03
	0,765	24,27
	0,771	24,46
	0,765	24,27
	0,772	24,49
	0,777	24,65
	0,781	24,78
	0,792	25,12
	0,785	24,90
	0,781	24,78
Rata-rata		24,67

4.1.3 Hasil Pengukuran *Silicone Oil*

Tabel 3 tabel merupakan hasil pengukuran nilai viskositas cairan *silicone oil* menggunakan prorotipe Viskometer Bola Jatuh. Pengukuran dilakukan pada temperatur 23 °C.

Tabel 3 Hasil pengukuran nilai viskositas silicone oil

Nama Cairan	Waktu (s)	Nilai Viskositas Pengukuran (dPa.s)
SILICONE OIL	0,726	22,70
	0,742	23,20
	0,743	23,23
	0,722	22,57
	0,742	23,20
	0,737	23,04
	0,738	23,08
	0,733	22,92
	0,731	22,86
	0,731	22,86
Rata-rata		22,97

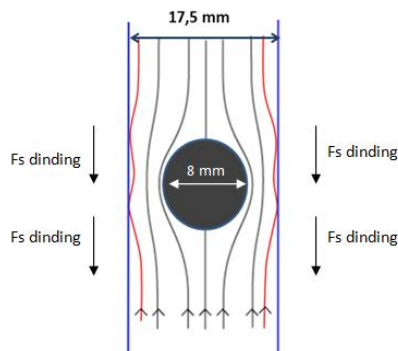
4.2 Analisis Data

Hasil pengukuran yang ditampilkan menunjukkan adanya kesalahan pengukuran yang jauh dari nilai koefisien viskositas referensi. Hal ini disebabkan karena desain prototipe yang tidak sesuai dengan keadaan yang dipersyaratkan dalam penerapan Hukum Stokes. Penerapan Hukum Stokes memerlukan beberapa syarat sebagai berikut: [2][3] Ruang tempat fluida tidak terbatas (ukurannya jauh lebih besar dibandingkan ukuran bola), tidak terjadi aliran turbulensi didalam fluida dan kecepatan (v) tidak besar.

Berdasarkan syarat tersebut diketahui bahwa ruang tempat cairan pada Viskometer Bola Jatuh terbatas.

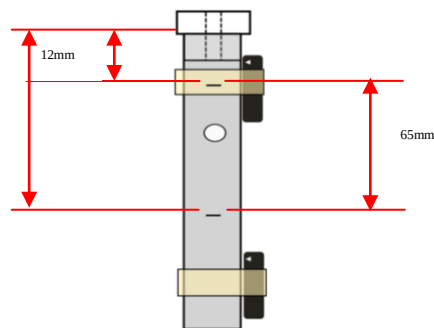
$$\frac{\text{diameter bola}}{\text{diameter gelas ukur}} = \frac{8 \text{ mm}}{17,5 \text{ mm}} = 0,46 \approx 0,5 \approx 1 : 2 \quad (11)$$

Perbandingan diameter bola dengan diameter gelas ukur prototipe 1 : 2. Nilai perbandingan tersebut tidak memenuhi syarat pertama dari penerapan Hukum Stokes pada prototipe. Ruang cairan yang terbatas berkaitan dengan adanya peristiwa efek dinding yang mempengaruhi hasil pengukuran nilai koefisien viskositas.



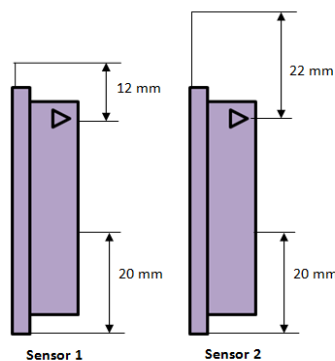
Gambar 5 Pengaruh ruang cairan yang kecil terhadap gaya pada bola

Penyebab lainnya yaitu panjang gelas ukur yang digunakan relatif pendek. Jarak yang ditentukan untuk pengukuran waktu tempuh bola adalah 65mm. Jarak tempuh tersebut terlalu dekat untuk mendapatkan kecepatan bola yang tetap. Selain itu, titik dimulainya pengukuran waktu yang hanya berjarak 12 mm dari titik pelepasan bola semakin memperbesar kemungkinan adanya percepatan pada bola akibat gaya dorong silinder nilon.



Gambar 6 Jarak pelepasan dan pengukuran waktu tempuh bola

Sehingga memungkinkan bahwa waktu yang diukur oleh program penghitung waktu pada mikrokontroler arduino adalah waktu ketika bola masih mengalami percepatan. Sedangkan pengukuran waktu tempuh bola jatuh seharusnya dilakukan setelah bola bergerak dengan kecepatan tetap karena pada saat tersebut telah tercapai kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada bola yaitu gaya berat bola sama dengan gaya apung ditambah gaya gesek dari cairan sesuai dengan persamaan (6).



Gambar 7 Daerah deteksi sensor magnet

Daerah deteksi yang cukup lebar dari kedua sensor mengakibatkan titik deteksi sensor terhadap medan magnet dari bola magnet sulit ditentukan secara tepat. Hal ini mengakibatkan adanya kesalahan dalam nilai jarak tempuh bola yang sebenarnya. Sedangkan pada persamaan matematis yang digunakan dalam penghitungan nilai viskositas, nilai jarak tempuh bola telah ditentukan sebesar 65 mm. Melihat daerah deteksi sensor yang cukup lebar tersebut dibandingkan dengan nilai jarak tempuh bola yang telah ditentukan, kesalahan jarak pengukuran akibat daerah deteksi sensor yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap nilai hasil pengukuran viskositas menggunakan prototipe ini.

5 Kesimpulan

Berdasarkan pengerjaan penelitian ini pembuatan prototipe Viskometer Bola Jatuh dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

Telah berhasil dibuat prototipe Viskometer Bola Jatuh untuk mengukur nilai koefisien viskositas fluida statis dengan pengambilan data waktu tempuh bola secara otomatis menggunakan sensor magnet dan bola magnet. Nilai koefisien viskositas cairan juga dapat ditampilkan di komputer melalui perangkat lunak LabView 8.5.

Hasil pengukuran nilai viskositas tiga cairan menggunakan prototipe adalah sebagai berikut, Minyak Goreng 5.46 dPa.s ; SAE 40 24.67 dPa.s dan *Silicone Oil* 22.97 dPa.s. Nilai tersebut memiliki kesalahan mencapai 8 sampai 10 kali lipat dari nilai viskositas referensi. Ini disebabkan oleh faktor konstanta yang digunakan pada perhitungan nilai viskositas prototipe viskometer bola jatuh tidak dapat disesuaikan seperti teori yang ada karena syarat berlakunya Hukum Stokes tidak terpenuhi. Sehingga ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan agar diperoleh hasil pengukuran nilai viskositas cairan yang mendekati nilai sebenarnya.

6 Daftar Pustaka

- [1] Muchtadi, Farida I., *Metoda Pengukuran*, Bandung : Teknik Fisika, ITB
- [2] Halliday, D., Resnick R., Walker, J., 1997. *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons.
- [3] Sutrisno. 2001. *Seri Fisika Dasar*, Penerbit ITB.
- [4] Chusni, M.Minan dkk.2012. *Penentuan Koefisien Kekentalan Air Dengan Koreksi Efek Dinding Menggunakan Hukum Stokes*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng dan DIY, Purworejo
- [5] Streeter, Victor L., 1979, *Fluid Mechanics*, Seventh Edition, Michigan: McGrawHill.