

## Pengukuran Viskositas Zat Cair Menggunakan Analisis Citra Hasil Perekaman Dengan Fitur *Long Exposure*

Abd. Haji Amahoru<sup>1,a)</sup>, Fourier Dzar Eljabbar Latief<sup>2,b)</sup>, Yeni Tirtasari<sup>3,c)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>2</sup>Laboratorium Fisika Bumi,  
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>3</sup>Laboratorium Fisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>a)</sup> [aji14amahoru@gmail.com](mailto:aji14amahoru@gmail.com) (corresponding author)

<sup>b)</sup> [fourier@fi.itb.ac.id](mailto:fourier@fi.itb.ac.id)

<sup>c)</sup> [yn.tirtasari@fi.itb.ac.id](mailto:yn.tirtasari@fi.itb.ac.id)

### Abstrak

*Dalam penelitian ini dikembangkan suatu perangkat pengamatan gerak lurus pada tabung viskometer dan pengukuran viskositas zat cair metode bola jatuh (falling ball) dengan menggunakan fitur Long Exposure. Viskositas suatu fluida merupakan daya hambat yang disebabkan oleh gesekan antara molekul-molekul, yang mampu menahan aliran fluida. Sedangkan Long Exposure merupakan teknik pengambilan gambar pada kamera yang mampu merekam seluruh jejak benda yang bergerak pada suatu waktu tertentu yang tidak bisa ditangkap dengan kasat mata. Untuk metode bola jatuh (falling ball) yang menjadi bagian utama adalah cara menentukan nilai kecepatan maksimum saat bola bergerak dalam fluida. Pada proses eksperimen yang dilakukan, sebuah lightmeter berupa bola pejal yang dilapisi dengan cat fosfor dilepaskan dari permukaan zat cair (gliserin) pada tabung akan bergerak sepanjang tabung tersebut. Perangkat kamera yang telah dilengkapi fitur long exposure diletakan di depan sebuah piringan berlubang yang berfungsi sebagai pencacah (chopper) yaitu celah bagi kamera untuk menangkap lintasan dari lightmeter tersebut dan mengubahnya menjadi jejak-jejak diskrit. Jumlah cacahan yang digunakan bervariasi yaitu 1, 2, 3, dan 4. Dengan teknik pengolahan dan analisis citra digital sederhana, didapatkan jejak dari lightmeter yang menunjukkan nilai posisi di tiap selang waktu, sehingga kecepatan dari objek yang bergerak di dalam tabung yang berisi gliserin dapat diamati dan diidentifikasi pada saat masih bergerak dipercepat atau telah bergerak dengan kecepatan konstan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perangkat yang dikembangkan dapat digunakan untuk mengamati secara teliti gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) pada tabung viskometer sehingga bisa digunakan untuk mengukur nilai viskositas.*

*Kata-kata kunci: viskositas, metode bola jatuh, long exposure, gerak lurus*

## PENDAHULUAN

Viskositas fluida dapat ditentukan dengan berbagai metode, diantaranya yaitu bola jatuh (*falling ball*), bola bergulir (*rolling ball*), pipa kapiler, rotasi silinder konsentris (*Couette*), rotasi kerucut plat, pelat paralel dan *Ford Cup* [8]. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah bola jatuh (*falling ball*), karena teknik pengukurannya relatif mudah dilakukan. Dengan mengetahui gaya kekentalan (*drag force*) dari fluida yang digunakan, maka nilai viskositasnya bisa ditentukan. Pada metode ini, gaya kekentalan dianalisis dengan menggunakan Hukum Stokes, dimana besaran yang mempengaruhinya ialah radius bola  $r$ , dan kecepatan bola  $v$  yang relatif terhadap fluida [11].

Pada metode bola jatuh (*falling ball*), yang menjadi bagian penting adalah mengukur waktu jatuh dari bola yang dijatuhkan pada fluida. Sehingga yang menjadi perbedaan pokok berbagai pengembangan untuk metode bola jatuh ini adalah cara mengukur kecepatan bola jatuh [14]. Ada juga yang menggunakan regresi linear untuk menentukan viskositas zat cair berdasarkan data yang diperoleh [1]. Selain itu ada juga yang memanfaatkan sensor koil sebagai detektor pencatat waktu yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai viskositas [13]. Dalam pengembangan lebih lanjut, telah dilakukan juga dengan menggunakan metode kamera video untuk merekam proses bola jatuh kemudian citra diolah dan didapatkan kecepatan jatuhnya [9], dan juga menggunakan sensor *optocoupler* yang diakuisisi dengan sistem komunikasi serial untuk mendapatkan kecepatan bola, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai viskositasnya [14].

Pengukuran viskositas fluida metode bola jatuh (*falling ball*) yang telah dilakukan oleh Suciati dan Sartono, dan Warsito di atas menggunakan dua batas pada tabung viskosimeter untuk mencari kecepatan bola. Penggunaan dua pembatas untuk jarak tempuh bola jatuh dalam fluida tersebut belum didasari keterangan yang jelas apakah bola telah bergerak lurus beraturan (GLB) atau bola masih bergerak lurus berubah beraturan (GLBB). Hal tersebut menyebabkan ketidaktentuan dalam hasil pengukuran viskositas zat cair tersebut. Sedangkan pengukuran yang dilakukan oleh Brizard dkk menggunakan video dapat menunjukkan jalur lintasan bola selama bergerak, namun visualisasi dari posisi bola setiap waktu selama bergerak di dalam fluida tidak ditampilkan secara terperinci. Sehingga kita belum bisa menentukan secara langsung daerah dimana bola mengalami GLB dan GLBB.

Berdasarkan latar belakang kajian seputar viskositas tersebut, dalam makalah ini dikembangkan suatu perangkat pengamatan dan pengukuran viskositas zat cair metode bola jatuh (*falling ball*) dengan menggunakan teknik *Long Exposure*. Teknik ini memanfaatkan cara perekaman khusus citra dari suatu benda bergerak, sehingga kita bisa melihat jejak serta posisi bola saat bergerak di dalam zat cair secara langsung dan dapat menentukan secara tepat dimana seharusnya dua batas pada tabung viskosimeter dipasang. Dari citra tersebut, dapat diperoleh data posisi dan waktu kemudian dianalisis lebih lanjut.

## VISKOSITAS METODE BOLA JATUH (*FALLING BALL*) DAN *LONG EXPOSURE*

### Gerak Satu Dimensi dengan Percepatan Konstan

Viskositas suatu fluida merupakan daya hambat yang disebabkan oleh gesekan antara molekul-molekul, yang mampu menahan aliran fluida. Kemampuan menahan ini dapat dinyatakan sebagai indikator tingkat kekentalannya [14]. Karena adanya viskositas ini, maka untuk menggerakkan salah satu lapisan fluida di atas lapisan lainnya harus diberikan gaya. Baik zat cair maupun gas mempunyai viskositas, namun zat cair lebih kental (*viscous*) dari pada gas [11].

Viskositas fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif oleh koefisien viskositas  $\eta$  yang didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya tekan per satuan luas, terhadap gradien kecepatan aliran fluida.

$$\eta = \frac{F/A}{dv/dy} \quad (1)$$

atau

$$F = \eta A \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

Satuan viskositas ialah satuan gaya kali jarak dibagi oleh luas kali kecepatan [11]. Jadi satuan SI untuk  $\eta$  adalah  $N \cdot s/m^2 = Pa \cdot s$  (pascal-sekon). Koefisien viskositas untuk berbagai fluida ditunjukkan pada Tabel berikut [3].

Tabel 1. Koefisien Viskositas untuk Berbagai Fluida

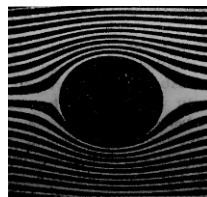
| Fluida             | Temperatur (°C) | Koefisien Viskositas, $\eta$ (Pa.s) |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Air                | 0               | $1,8 \times 10^{-3}$                |
|                    | 20              | $1,0 \times 10^{-3}$                |
|                    | 100             | $0,3 \times 10^{-3}$                |
| Darah utuh         | 37              | $\approx 4 \times 10^{-3}$          |
| Plasma Darah       | 37              | $\approx 1,5 \times 10^{-3}$        |
| Ethyl Alkohol      | 20              | $1,2 \times 10^{-3}$                |
| Oli Mesin (SAE 10) | 30              | $200 \times 10^{-3}$                |
| Gliserin           | 20              | $1500 \times 10^{-3}$               |
| Udara              | 20              | $0,018 \times 10^{-3}$              |
| Hidrogen           | 0               | $0,009 \times 10^{-3}$              |
| Uap Air            | 100             | $0,013 \times 10^{-3}$              |

1 Pa.s = 10 poise (P) = 1000 sentipoise (cP)

Viskositas fluida juga ditentukan dengan berbagai metode yang berbeda, diantaranya yaitu bola jatuh (*falling ball*), bola bergulir (*rolling ball*), pipa kapiler, rotasi silinder konsentris (*Couette*), rotasi kerucut plat, pelat paralel dan *Ford cup* [8].

**Metode Bola Jatuh**

Sebuah bola yang bergerak di dalam suatu fluida ideal yang diam, akan mempunyai garis-garis arus yang berbentuk suatu pola yang simetris sempurna di sekeliling bola itu seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Garis-garis arus pada bola

Tekanan terhadap sembarang titik permukaan bola yang menghadap permukaan bola yang menghadap arah aliran datang tepat sama dengan tekanan terhadap titik sebaliknya pada permukaan bola dan resultan gaya terhadap bola itu adalah nol. Tetapi jika fluida itu mempunyai kekentalan, akan ada gaya tahan kekentalan terhadap bola tersebut. Besaran-besaran yang mempengaruhi gaya tersebut adalah viskositas fluida  $\eta$ , radius  $r$  bola, dan kecepatannya  $v$  relatif terhadap fluida, yang secara empiris dirumuskan dengan Persamaan (3) [11]:

$$\vec{F} = 6\pi\eta r v \tag{3}$$

Sebuah bola logam padat mempunyai rapat massa  $\rho_b$  berjari-jari  $r$  dijatuhkan tanpa kecepatan awal ke dalam zat cair kental memiliki rapat massa  $\rho_c$ , dimana  $\rho_b > \rho_c$ . Pada awalnya bola akan bergerak dipercepat akibat percepatan gravitasi, namun beberapa saat setelah bergerak bola akan bergerak dengan kecepatan konstan. Kecepatan yang tetap ini disebut kecepatan akhir  $v$  atau kecepatan terminal yaitu kecepatan pada saat gaya berat bola sama dengan gaya apung ditambah gaya gesekan zat cair. Sistem gaya yang bekerja pada bola logam yaitu gaya Archimedes ( $F_A$ ), gaya Stokes ( $F_s$ ), dan gaya berat bola logam ( $w$ ) yang ditunjukkan oleh gambar 2.

Ketika kecepatan terminal telah tercapai, pada Gambar 2 berlaku hukum Newton tentang gerak lurus beraturan, yaitu persamaan:

$$\vec{F}_A + \vec{F}_s = w \tag{4}$$

jika  $\rho_b$  menyatakan rapat massa bola dengan satuan  $\text{kg/m}^3$ ,  $\rho_c$  menyatakan rapat massa zat cair,  $V_b$  menyatakan volume bola, dan  $g$  menyatakan percepatan gravitasi bumi, maka berlaku persamaan:

$$\vec{w} = \rho_b V_b g \tag{5}$$

$$\vec{F}_A = \rho_c V_b g \tag{6}$$

rapat massa bola  $\rho_b$  dan rapat massa zat cair  $\rho_c$  dapat diukur dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \tag{7}$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \tag{8}$$

dengan  $m_c$  ialah massa zat cair dan  $V_c$  adalah volume zat cair. Dengan mensubstitusikan Persamaan (5) dan (6) ke dalam Persamaan (4) maka diperoleh persamaan:

$$\vec{F}_s = V_b \mathbf{g}(\rho_b - \rho_c). \tag{9}$$

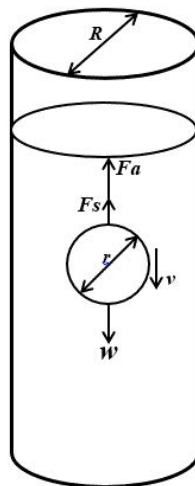
dengan mensubstitusikan Persamaan (3) ke dalam Persamaan (9) dimana volume bola adalah  $\frac{4}{3}\pi r^3$ , diperoleh persamaan:

$$\vec{v} = \frac{2r^2 \mathbf{g}(\rho_b - \rho_c)}{9\eta} \tag{10}$$

sehingga

$$\eta = \frac{2r^2 \mathbf{g}(\rho_b - \rho_c)}{9v} \tag{11}$$

Dengan mengukur kecepatan terminal dari bola yang radius dan rapat massanya diketahui, maka viskositas zat cair dimana bola itu dijatuhkan bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan (11).



Gambar 2. Sistem Gaya yang bekerja pada bola logam yang bergerak dalam fluida

Setiap ukuran bola logam dengan diameter  $r$  tertentu yang dijatuhkan ke dalam tabung berdiameter  $R$ , yang berisi zat cair akan cenderung dipaksa bergerak untuk menjauhi dinding tabung. Peristiwa ini disebut dengan Efek Dinding. Dengan adanya efek dinding ini, untuk mendapat nilai viskositas sebenarnya perlu dilakukan koreksi terhadap hasil perhitungan yang didapatkan [5]:

$$\eta_{terukur} = \eta_{measured} \left[ 1 - 2.104 \left( \frac{r}{R} \right) + 2.09 \left( \frac{r}{R} \right)^3 - 0.95 \left( \frac{r}{R} \right)^5 \right] \tag{12}$$

Nilai viskositas yang dihitung berdasarkan Persamaan (12) kemudian dibandingkan dengan nilai refferensi dari viskositas gliserin untuk memperoleh persentase *error* dengan menggunakan persamaan:

$$\%error = \frac{N_{refferensi} - N_{terukur}}{N_{refferensi}} \times 100\% \tag{13}$$

*Long Exposure*

*Long Exposure* merupakan teknik pengambilan gambar pada kamera yang mampu merekam seluruh jejak benda yang bergerak pada suatu waktu tertentu yang tidak bisa ditangkap dengan kasat mata. Pengambilan gambar dilakukan dengan menurunkan kecepatan rana untuk menambah waktu pencahayaan, dan dapat digunakan untuk menambahkan nuansa surealis pada foto [15].

*Long Exposure* juga merupakan salah satu teknik dalam fotografi yang paling menakjubkan saat mengambil gambar. Teknik ini sering digunakan pada malam hari, ketika tidak ada banyak pencahayaan alami (cahaya latar belakang), dengan menggunakan pemandangan yang di dalamnya terdapat dua obyek, satu diam dan lainnya bergerak, misalnya pada kembang api, dan jalan raya. Ada kendaraan yang bergerak dan benda yang tidak bergerak seperti pohon dan bangunan. Ketika *shutter* terbuka untuk jangka waktu yang lama, efek seperti jejak cahaya kendaraan akan dihasilkan.

Secara spesifik, teknik ini juga dapat digunakan pada siang hari untuk memberikan efek lembut seperti air yang mengalir, atau awan yang bergerak [4]. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3 di bawah ini.



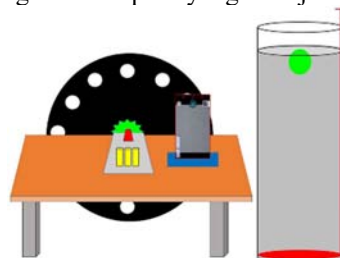
Gambar 3. Citra *Long Exposure* pada jalan raya ditunjukkan pada gambar (a). Gambar (b) menunjukkan citra aliran sungai. dan Gambar (c) menunjukkan citra kembang api

Kemampuan Teknik *Long Exposure* ini kemudian coba digunakan untuk melakukan pengamatan pada fenomena fisis. Tetapi yang menjadi permasalahan adalah teknik ini merekam jejak benda menjadi suatu garis kontinyu tanpa dapat diketahui secara pasti kecepatan dan durasi dari gerak benda tersebut. Oleh karena itu dalam penelitian ini dikembangkan alat yang dapat mengubah hasil perekaman berupa garis kontinyu menjadi jejak berbentuk diskrit yang sekaligus dapat mengatasi permasalahan tersebut, yaitu pencacah (*chopper*).

**METODE**

Pada penelitian ini, perangkat yang dibuat terdiri dari beberapa bagian utama yang digunakan untuk mengakuisisi citra. Perangkat itu tersusun dari 1 buah rangkain motor listrik sederhana yang terdiri dari 3 buah baterai @ 1.5 volt, 1 buah dudukan baterai, 1 buah saklar, 1 buah dinamo, 1 buah klem pipa yang dirangkai pada sebuah *Printed Circuit Board (PCB)*. 1 buah *lightmeter* sebagai objek yang dibuat dengan bola besi yang dilapisi dengan cat fosfor berwarna hijau yang akan memancarkan cahaya sendiri dalam gelap. 1 buah tabung silinder dengan diameter 56,5 mm dan tinggi 40,3 cm. Serta 1 buah ponsel android yang telah dilengkapi dengan fitur *long exposure camera*. Perangkat ini diletakan pada sebuah dudukan yang telah dilengkapi dengan penyangga kamera yang dibuat dengan menggunakan klem C. ukuran dudukan dibuat lebih besar dari rangkaian motor listrik sederhana dengan tujuan dapat menghilangkan getaran yang ditimbulkan oleh dinamo saat berputar.

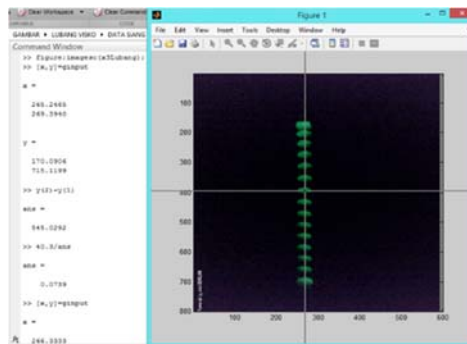
Untuk menghasilkan jejak *lightmeter* yang berbentuk diskrit, *chopper* dibuat dari kardus dipotong melingkar dengan diameter ±28 cm dan dilubangi sebanyak 12 lubang dengan diameter 1 ±1.5 cm. jarak antar lubang dibuat sama yaitu 30°. *chopper* dipasang pada dinamo tepat di pusat lingkaran agar putarannya menjadi stabil. bentuk dari perangkat yang dibuat seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Perangkat dengan teknik *Long Exposure*

Setelah perangkat perekam dan objek telah siap, lakukan langkah berikut:

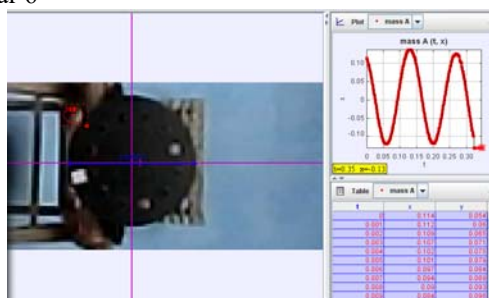
1. Ponsel (android) yang telah dilengkapi dengan aplikasi Long Exposure Camera 2 diletakan pada penyangga kamera.
2. Atur posisi kamera pada ponsel sehingga berada tepat di tengah salah satu lubang pada chopper
3. Putar chopper dengan menghidupkan dinamo, untuk memastikan bahwa kamera tepat berada pada tengah lubang pada saat *chopper* berputar.
4. Tunggu sampai putaran *chopper* mejadi stabil
5. Sambil menunggu putaran *chopper* menjadi stabil, Siapkan Lighthmeter kemudian letakan pada ketinggian tertentu.
6. Letakan bola fosfor yang berfungsi sebagai *lightmeter* di titik awal pada permukaan zat cair.
7. Lepaskan *lightmeter*, bersamaan dengan itu lakukan perekaman dengan cara menekan tombol *capture* pada kamera.
8. Rekam putaran *chopper* saat *lightmeter* bergerak dengan menggunakan *Highspeed Camera*. Perekaman ini hubungannya terkait dengan kalibrasi waktu yang akan dilakukan.
9. Ulangi langkah (7) sampai (9) untuk variasi jumlah lubang yang berbeda-beda (gunakan 1,2,3,4 cacahan).



Gambar 5. Kalibrasi posisi

10. Lakukan kalibrasi untuk mengubah posisi jejak *lightmeter* dalam piksel ke satuan panjang mertik (meter). Proses kalibrasi posisi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5.
11. Posisi *lightmeter* dideteksi dengan mencatat posisi piksel dari tiap-tiap titik cahaya dengan menggunakan perangkat lunak Matlab.

Dengan hasil perekaman yang telah dilakukan pada langkah ke 8, waktu bola fosfor ditentukan dengan menghitung selang waktu antara satu titik dengan titik yang lain dengan menghitung perioda putaran *chopper* kemudian dibagi dengan jumlah lubang yang ada pada *chopper*. Proses kalibrasi waktu seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6



Gambar 6. Kalibrasi waktu

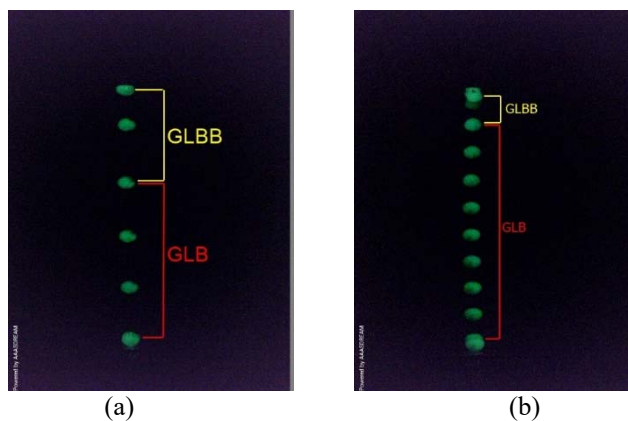
12. Dengan menggunakan perangkat lunak MS Excel, buat tabel pengamatan posisi terhadap waktu kemudian plot menjadi grafik.
13. Data linier pada grafik menunjukkan bola fosfor bergerak lurus beraturan atau dengan kata lain telah mencapai kecepatan maksimum. Dengan regresi linier, akan didapatkan persamaan linier  $y = mx$ , dimana nilai kemiringan  $m$  merupakan nilai kecepatan dari bola fosfor.
14. Pengolahan data dengan menggunakan teknik long exposure seperti langkah di atas ditunjukkan oleh diagram balok seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7.



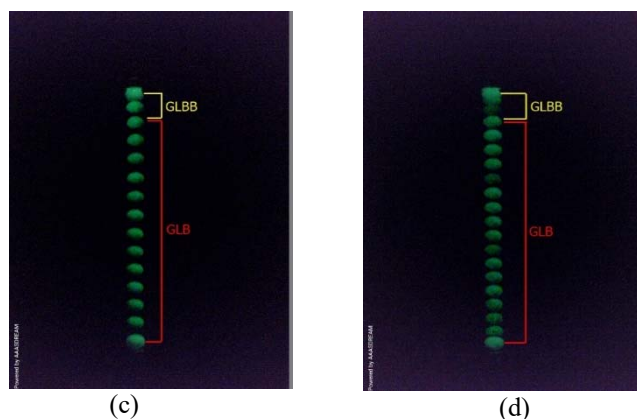
Gambar 7. Diagram balok cara kerja pengolahan data

### HASIL PERHITUNGAN DAN PERBANDINGAN DENGAN DATA REFERENSI

Setelah dilakukan serangkaian proses pengambilan data, didapat citra dari *lightmeter* yang bergerak seperti yang ditunjukkan oleh gambar 8 dan gambar 9 di bawah ini.



Gambar 8. Jejak *lightmeter* berupa titik-titik cahaya (diskrit) menggunakan *chopper* 1 lubang ditunjukkan pada gambar (a). Gambar (b) menunjukkan jejak dengan *chopper* 2 lubang



Gambar 10. Jejak *lightmeter* berupa titik-titik cahaya (diskrit) dengan menggunakan *chopper* 6 lubang ditunjukkan pada gambar (a). Gambar (b) menunjukkan jejak dengan *chopper* 12 lubang

Citra yang ditangkap oleh kamera dapat dilihat pada kedua gambar di atas. Secara keseluruhan, terlihat bahwa jejak bola fosfor berupa titik-titik cahaya (diskrit) yang timbul tersebut menunjukkan posisi bola fosfor pada setiap selang waktu yang sama dan memiliki pola gerak. Pada awalnya bola fosfor bergerak dipercepat dengan kecepatan yang terus bertambah akibat pengaruh dari percepatan gravitasi bumi, atau bisa dikatakan bola fosfor tersebut bergerak lurus berubah beraturan (GLBB). Hal ini terlihat dari tampilan citra bahwa jarak antar titik terus bertambah. Beberapa saat setelah menempuh jarak tertentu, gaya berat bola akan sama besarnya dengan gaya apung ditambah gaya gesek dari zat cair. Akibatnya bola fosfor kemudian bergerak dengan kecepatan yang konstan, atau bisa dikatakan bola fosfor tersebut telah bergerak lurus beraturan (GLB). Kecepatan yang tetap ini disebut kecepatan akhir atau kecepatan terminal. Hal ini bisa teramati dari tampilan citra yaitu jarak antar titik satu ke titik yang lain cenderung sama.

Selain hasil tangkapan citra, untuk menentukan GLB dan GLBB dengan lebih akurat dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui posisi dan selang waktu dari bola fosfor yang bergerak dari mulai dilepaskan sampai berhenti. Dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab, kemudian dengan menghitung perioda putaran *chopper*, data posisi dan selang waktu untuk setiap variasi jumlah cacahan pada *chopper* bisa diperoleh. Setelah data-data tersebut diplot ke dalam grafik hubungan posisi dan waktu, didapat hasil untuk setiap jumlah cacahan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 11-14 ini.



Gambar 12. Grafik posisi terhadap waktu untuk *chopper* 2 cacahan



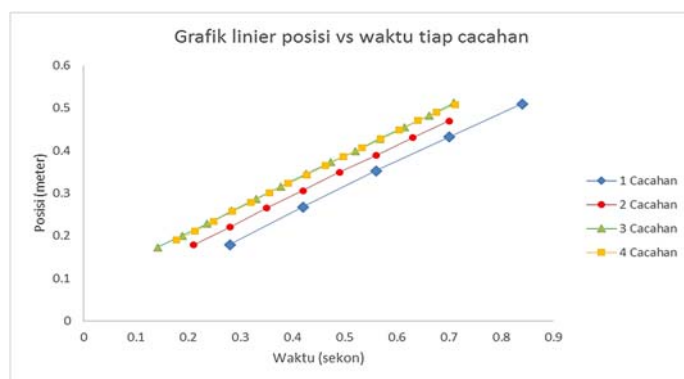
Gambar 12. Grafik posisi terhadap waktu untuk *chopper* 2 cacahan



Gambar 13. Grafik posisi terhadap waktu untuk *chopper* 3 cacahan



Gambar 14. Grafik posisi terhadap waktu untuk *chopper* 4 cacahan



Gambar 15. Grafik Linear posisi terhadap waktu untuk tiap cacahan

Berdasarkan posisi dan selang waktu yang diberikan oleh gambar 11-14, selanjutnya kita dapat menentukan nilai kecepatan terminal yang kemudian akan digunakan untuk menentukan nilai viskositas zat cair yang dilewati oleh bola tersebut. Daerah yang linear pada grafik menunjukkan bahwa bola bergerak dengan kecepatan yang konstan. Oleh karena itu untuk memperoleh nilai kecepatan terminal, cukup dengan menganalisis bagian linear seperti yang diberikan oleh gambar 15.

Dengan menggunakan interpolasi linear pada bagian yang linier dari tiap grafik, nilai kecepatan terminal didapat seperti yang ditunjukkan pada dan tabel berikut ini.

Tabel 2. Kecepatan Terminal untuk tiap cacahan

| No | Jumlah Cacahan | $v$ (m/s) |
|----|----------------|-----------|
| 1  | 1 cacahan      | 0.5892    |
| 2  | 2 cacahan      | 0.5892    |
| 3  | 3 cacahan      | 0.5960    |
| 4  | 4 cacahan      | 0.6025    |

Berdasarkan Persamaan (12) nilai viskositas dari suatu zat cair bisa ditentukan setelah kecepatan terminal dari bola diketahui dengan memasukan faktor koreksi antara diameter bola dan dinding tabung. Koreksi ini menjadi penting karena ketika bola logam dengan diameter yang besar dijatuhkan ke dalam tabung yang berisi zat air, bola tersebut akan cenderung dipaksa bergerak untuk menjauhi dinding tabung yang mengakibatkan gejala dari turbolensi aliran pinggir. Demikian juga jika diameter bola logam sangat kecil, akan mengakibatkan bola bergerak dengan cepat. Gerakan bola kemudian akan mengacaukan fluida, dan akhirnya gerakan bola menjadi tidak beraturan. Nilai viskositas dari zat cair yang digunakan ditunjukkan pada berikut ini.

Tabel 3. Nilai viskositas zat cair untuk tiap cacahan

| No | Jumlah Cacahan | $\eta_{measured}$ (Pa.s) | $\eta_{true}$ (Pa.s) | Error (%) |
|----|----------------|--------------------------|----------------------|-----------|
| 1  | 1 cacahan      | 2.020451                 | 0.6765               | 19.83     |
| 2  | 2 cacahan      | 2.020451                 | 0.6765               | 19.83     |
| 3  | 3 cacahan      | 1.997399                 | 0.6687               | 20.74     |
| 4  | 4 cacahan      | 1.975851                 | 0.6615               | 21.6      |

Data pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai viskositas zat cair (gliserin) yang didapatkan mendekati nilai viskositas gliserin acuan pada suhu 26 °C sesuai dengan data properti viskositas gliserin pada yaitu 0,8438 Pa.s. Secara keseluruhan nilai viskositas yang didapat masih lebih kecil daripada nilai viskositas acuan. rasio antara diameter bola dengan diameter tabung yang kurang sesuai. Oleh karena itu, perbedaan nilai ini juga menyatakan tingkat *error* atau besarnya kesalahan yang dilakukan pada saat eksperimen berlangsung, dimana persentasinya dihitung dengan menggunakan Persamaan (13).

## KESIMPULAN

Hasil percobaan menunjukkan bahwa teknik *long exposure* dapat menampilkan jejak diskrit sehingga bisa didapat posisi dan waktu dari bola fosfor yang bergerak dalam tabung viskosimeter. Nilai viskositas yang diperoleh untuk masing-masing jumlah cacahan mendekati nilai viskositas acuan, yaitu 0.6765 dengan error 19.83% untuk 1 dan 2 cacahan, 0.6687 dengan error 20.74% untuk 3 cacahan, 0.6615 dengan error 21.6% untuk 4 cacahan. dengan demikian dapat dibuat simpulan awal:

1. Teknik *long exposure* dapat digunakan untuk mengamati secara teliti gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) pada tabung viskositas metode bola jatuh (*falling ball*).
2. Teknik *long exposure* dapat digunakan untuk mengukur nilai viskositas dari suatu zat cair.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf laboratorium laboratorium fisika dasar yang telah banyak berkontribusi mulai dari penyediaan bahan eksperimen, peralatan, sampai dengan ruangan guna penyelesaian penulisan makalah ini.

## REFERENSI

1. A. Budianto, *Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair Dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes*. SEMINAR NASIONAL IV SDM TEKNOLOGI NUKLIR, (2008)
2. C. Lobo, *Long Exposure Autumn Waterfalls*. November. Accessed Desember 13, 2015. <http://www.forestwander.com/2010/11/long-exposure-autumn-waterfalls/> (2010)
3. D. C. Giancoli, *Fisika*. Jakarta, Erlangga (2001)
4. Digifotografi, *memahami-long-exposure-photography*. Agustus 26. Accessed September 23, 2015. <https://digifotografi.wordpress.com/2011/08/26/memahami-long-exposure-photography/> (2011)
5. D. S. Viswanath, *Viscosity of Liquids: Theory, Experiment, and Data*. Dordrecht, Springer (2007).
6. E. Preliana, *Pengembangan Alat Peraga Sains Fisika Berbasis Lingkungan untuk Materi Listrik Statis pada Siswa Kelas IX SMP Negeri 3 Pleret*, JURNAL RISET DAN KAJIAN PENDIDIKAN FISIKA UAD, Volume: 2 (2015)
7. I. Milano, *Long Exposure with Steel Wool Lit On Fire*. Januari 4. Accessed Desember 13, 2015. [http://orig03.deviantart.net/76b9/f/2013/014/d/0/long\\_exposure\\_with\\_steel\\_wool\\_lit\\_on\\_fire\\_by\\_igor\\_milano-d5rhio6.jpg](http://orig03.deviantart.net/76b9/f/2013/014/d/0/long_exposure_with_steel_wool_lit_on_fire_by_igor_milano-d5rhio6.jpg) (2013)
8. K. Walter, W. Jones, *Measurement of Viscosity*. Dalam *Instrument Technology: Mechanical Measurements*. London, Butterworths (1985)
9. M. Brizard, M. Megharfi, C. Verdier, E. Mahe, *Design of a High Precision Falling Ball Viscometer*. AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, Volume: 76 (2005).
10. R. A. Serway, J. W. Jewett, *FISIKA untuk sains dan teknik*. Jakarta, Salemba Teknik (2009).
11. Sears, Zemansky, *Fisika Untuk Universitas 1 (Mekanika, Panas, Bunyi)*. Bandung, Binacipta (1982).
12. S. Higashi, *Graffiti of Speed Symmetric Long Exposure Photography*. Maret. Accessed Desember 13, 2015. [http://gencent.com/wp-content/uploads/2013/03/Graffiti-of-Speed-Symmetric-Long-Exposure-Photography-by-Shinichi-Higashi\\_01-@-GenCept.jpg](http://gencent.com/wp-content/uploads/2013/03/Graffiti-of-Speed-Symmetric-Long-Exposure-Photography-by-Shinichi-Higashi_01-@-GenCept.jpg) (2013).
13. S. W. Suciati, A. Sartono, *Pemanfaatan Sensor Koil Sebagai Detektor Pencatat Waktu Pada Viscometer Metode Bola Jatuh Berbasis Komputer*. SEMINAR HASIL PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT. Lampung: Universitas Lampung. (2009).
14. Warsito, S. W. Suciyati, D. Isworo, *Desain dan Analisis Pengukuran Viskositas Dengan Metode Bola Jatuh Berbasis Sensor Optocoupler dan Sistem Akuisisinya Pada Komputer*. JURNAL NATUR INDONESIA Vol: 3 (2012).  
Y. Nakamura, *Fotografi Long Exposure*. Agustus 6, Accessed Nopember 5, 2015, <http://www.canon-asia.com/snapshot/id/eos-tips-917/> (2015).