

Penentuan Viskositas Larutan Gula Menggunakan Metode Vessel Terhubung Viscosimeter Berbasis Video Based Laboratory dengan Software Tracker

Rr. Sinta Kusuma Ningrum, Moh. Toifur

Program Studi Magister Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan,
Jl. Pramuka Sidikan Yogyakarta, Indonesia
Surat-e: sinta_kningrum@yahoo.com

Telah dilakukan uji yang bertujuan untuk menentukan viskositas larutan gula. Metode yang digunakan adalah metode vessel terhubung viscosimeter. Hubungan antara $-\ln(2h_1/h_0-1)$ terhadap t dinyatakan dengan persamaan $-\ln(2h_1/h_0-1) = (\pi D^4 \rho g / 128 A L \eta) t$. Penelitian dimulai dengan menentukan viskositas air murni sebagai kalibrasi alat, dari hasil kalibrasi diperoleh nilai konversi sebesar 285,49. Kemudian nilai ini selanjutnya digunakan dalam penentuan nilai viskositas larutan gula. Penentuan nilai koefisien viskositas larutan gula dilakukan dengan fitting data menurut garis lurus, $h - \ln(2h_1/h_0-1)$ sebagai sumbu vertikal dan t sebagai sumbu horizontal, dengan a adalah gradien garis. Dari hasil analisis diperoleh nilai viskositas larutan gula 10 % adalah $1,02 \pm 0,02$ poise, 20% adalah $1,05 \pm 0,02$ poise, dan 30% adalah $1,13 \pm 0,02$ poise.

Kata kunci: viskositas, vessel terhubung viscosimeter, tracker.

I. Pendahuluan

Salah satu sifat dari zat cair adalah memiliki koefisien kekentalan yang berbeda-beda. Kekentalan atau viskositas pada zat cair terjadi karena adanya gaya kohesi sedangkan pada zat gas viskositas terjadi karena adanya tumbukan antara molekul. Viskositas menentukan kemudahan suatu molekul bergerak karena adanya gesekan antar lapisan material. Fluida yang lebih cair akan lebih mudah mengalir.

Kecepatan aliran berbeda karena adanya perbedaan viskositas. Besarnya viskositas dinyatakan dengan suatu bilangan yang menyatakan kekentalan suatu zat cair. Viskositas yang dimiliki setiap fluida berbeda dan dinyatakan secara kuantitatif oleh koefisien viskositas η (Giancoli, 2001: 347).

Apabila zat cair tidak kental maka koefisien viskositasnya sama dengan nol sedangkan pada zat cair kental bagian yang menempel dinding mempunyai kecepatan yang sama dengan dinding. Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur viskositas adalah viscosimeter.

Penelitian yang dilakukan oleh Ortega, dkk. (2007) menggunakan teknik viscosimeter bejana berhubungan. Bejana yang digunakan adalah tabung *acrylic* transparan dihubungkan dengan tabung kapiler gelas. Penelitian bertujuan untuk membandingkan nilai viskositas air dengan

variasi temperatur. Hasil pengukuran pada temperatur $(6,7 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, $(16,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, $(22,5 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, dan $(28,3 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, masing-masing nilai viskositasnya adalah 1,57 mPa.s, 1,12 mPa.s, 0,92 mPa.s, dan 0,81 mPa.s.

Berdasarkan penelitian Mujiman (2008) dengan menggunakan sensor fototransistor dan penampil LCD untuk mengetahui nilai kekentalan oli Mesran sesuai standar SAE 10-SAE40. Hasil pengukuran yang paling mendekati nilai viskositasnya dengan nilai viskositas dari Pertamina hanya satu sampel saja dari empat sampel yang digunakan. Penelitian ini dilakukan pada suhu ruang.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Budianto (2008), telah diuji kekentalan air, minyak goreng, oli, serta pengaruh suhu terhadap kekentalan masing-masing cairan. Metode yang digunakan adalah metode bola jatuh. Dari penelitian menunjukkan bahwa kekentalan air, minyak goreng, dan oli pada suhu 27°C berturut-turut yaitu $(0,259 \pm 0,01)$ poise, $(2,296 \pm 0,01)$ poise, $(8,519 \pm 0,151)$ poise. Pada suhu 90°C nilai kekentalan air, minyak goreng, dan oli masing-masing adalah $(0,234 \pm 0,013)$ poise, $(1,353 \pm 0,048)$ poise, $(1,492 \pm 0,043)$ poise.

Penelitian Widayanti dkk (2011) untuk menentukan koefisien viskositas larutan gula dengan metode pipa kapiler. Koefisien viskositas dihitung melalui analisis regresi linier hubungan tinggi larutan gula h terhadap debit alir Q , dan pengambilan data untuk penentuan koefisien viskositas

dilakukan dengan mengukur tinggi larutan gula h dan debit alirnya Q yang dilakukan secara berulang sebanyak lima kali. Koefisien viskositas dihitung dari gradien garis hasil regresi h terhadap Q . Dari lima tinggi larutan gula berbeda diperoleh nilai viskositas larutan gula $(0,384 \pm 0,073)$ poise.

Penulis melihat bahwa dari percobaan-percobaan terdahulu tersebut semua percobaan masih menggunakan sistem pengambilan data yang manual, sehingga hasil yang diperoleh kurang akurat. Selain itu alat ukur viskositas yang saat ini beredar di masyarakat harganya sangat mahal sehingga kebanyakan hanya digunakan untuk kebutuhan industri. Untuk itu penulis mengadakan penelitian penentuan viskositas zat cair menggunakan metode vessel terhubung viscosimeter berbasis *video based laboratory* dengan *software* Tracker. Metode ini sangat sederhana namun memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

II. Kajian Pustaka

Menurut Ghazali (2009) viskositas merupakan suatu tendensi untuk melawan aliran cairan karena resistensi suatu bahan yang mengalami perubahan bentuk bila bahan tersebut dikenai gaya. Viskositas biasanya berhubungan dengan konsistensi dan tendensi. Konsistensi dapat didefinisikan sebagai ketidakmauan suatu bahan untuk melawan perubahan bentuk bila suatu bahan mendapat gaya gesekan. Gesekan ini timbul sebagai hasil perubahan bentuk cairan yang disebabkan karena adanya resistensi yang berlawanan. Jika tenaga diberikan pada suatu cairan, tenaga ini akan menyebabkan suatu perubahan bentuk, yang disebut sebagai aliran.

Viskositas cairan yang bersifat Newtonian tidak berubah dengan adanya perubahan gaya gesekan antar permukaan cairan dengan dinding. Cairan newtonian biasanya merupakan cairan murni secara kimiawi dan homogen secara fisikawi. Contohnya adalah larutan gula, air, minyak, sirup, gelatin, dan susu (Ghazali, 2009).

Viskositas (η) berhubungan dengan besarnya gaya gesekan antarlapis zat cair itu, dan juga antara zat cair dengan dinding pipanya. Fluida cair yang mengalir di dalam pipa, jenis alirannya dapat berupa aliran laminar atau aliran turbulen. Kedua jenis aliran itu terkait dengan nilai η , massa jenis (ρ), dan kelajuan alir (v) zat cair, serta diameter pipa (D) dimana fluida itu mengalir. Hal itu dinyatakan dalam bilangan Reynold (Re) (Jati dkk, 2010):

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta}, \quad (1)$$

ketika Re kecil (< 2000) maka zat cair mengalir secara laminar (setiap bagian zat cair itu mengalir menurut garis

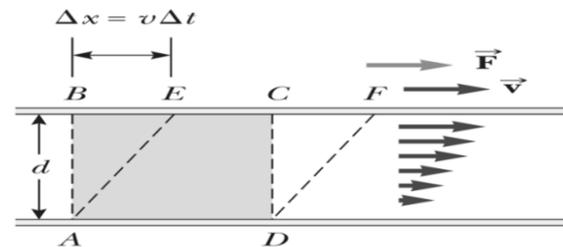
arusnya sendiri, dan garis arus itu tidak pernah saling berpotongan). Sebaliknya, bila Re besar (> 4000) maka fluida mengalir secara turbulen (terjadi arus pusar). Persamaan (1) memperlihatkan bahwa Re kecil bila η besar. Artinya, keberadaan η yang semakin besar membuat aliran cenderung laminar. Ketika aliran zat cair itu laminar, maka kejadian tersebut memenuhi persamaan Poiseuille.

Aliran laminar cairan newtonian yang melewati pipa mengikuti hukum poiseuille. Untuk pipa dengan luas penampang A , jari-jari r , dan kecepatan aliran fluida v maka debit fluida

$$Q = Av. \quad (2)$$

Debit fluida adalah besaran yang menyatakan volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang tertentu dalam satuan waktu tertentu maka debit fluida (Kanginan, 2004 : 208) dapat menjadi

$$Q = \frac{V}{t}. \quad (3)$$

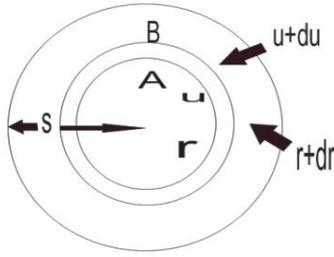


Gambar I. Lapisan cairan antara dua permukaan padat di mana permukaan bawah adalah tetap diam dan permukaan atas bergerak ke kanan dengan kecepatan v (Serway dan Jewett, 2004: 302)

Gerakan fluida antara dua plat paralel seperti pada gambar I. Permukaan bagian bawah adalah tetap diam, dan permukaan atas bergerak ke kanan dengan kecepatan \vec{v} di bawah gerakan gaya eksternal \vec{F} . Karena gerakan ini, sebagian dari cairan terdistorsi dari bentuk aslinya, ABCD, pada satu instan untuk membentuk AEFD beberapa saat kemudian. Gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan pelat atas dan mendistorsi cairan sebanding dengan kedua daerah tersebut A dalam kontak dengan cairan dan v kecepatan fluida. Selanjutnya, gaya adalah berbanding terbalik dengan jarak d antara dua lempeng. Kita dapat mengekspresikan perbandingan ini sebagai $F \propto Av/d$. Gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan pelat atas pada kecepatan tetap v . Oleh karena itu

$$F = \eta A \frac{v}{d}, \quad (4)$$

dengan η adalah koefisien viskositas (Serway dan Jewett, 2004: 302-303).



Gambar 2. Diameter pipa Kapiler penampang lintang dengan jari-jari $(0,148 \pm 0,001)$ cm. (Tyler, 1967: 63)

Kecepatan aliran air pada suatu pipa kecil bervariasi dari 0 ditepi ke nilai maksimum sepanjang poros. Misalkan dua permukaan A dan B terdiri dari lapisan tabung tipis antara jari-jari r dan $r + dr$ dan kecepatan aliran di A dan B masing-masing menjadi u dan $u + du$.

Kemudian dari definisi koefisien viskositas (η), tahanan kekentalan antara dua permukaan diberikan oleh luas permukaan dikali η dan dikalikan dengan gradien kecepatan. Jadi, tahanan kekentalan (F) di A pada sebuah tabung 1 panjang adalah

$$F = 2\pi r \eta \frac{du}{dr}, \quad (5)$$

dan tahanan kekentalan ($F + dF$) di B adalah

$$F + dF = 2\pi r \eta \frac{du}{dr} + \frac{d}{dr} \left(2\pi r \eta \frac{du}{dr} \right) dr. \quad (6)$$

Oleh karena itu tahanan kekentalan pada tabung tabung cenderung menjaga pergerakan cairan saat diam

$$dF = \frac{d}{dr} \left(2\pi r \eta \frac{du}{dr} \right) dr, \quad (7)$$

dan ketika gerakan stabil diperoleh, gaya ditentang oleh dorongan hidrostatik akibat perbedaan tekanan P pada ujung tabung, sehingga

$$2\pi r dr P = -dF = \frac{d}{dr} \left(2\pi r \eta \frac{du}{dr} \right) dr, \quad (8)$$

atau

$$-\frac{d}{dr} \left(2\pi r \eta \frac{du}{dr} \right) = 2\pi r P, \quad (9)$$

mengintegrasikan

$$-2\pi r \eta \frac{du}{dr} = 2\pi \frac{r^2}{2} P + A \quad (10)$$

Tetapi $A = 0$ sejak $du/dr = 0$ ketika $r = 0$, yaitu

$$-2\eta \frac{du}{dr} = rP, \quad (11)$$

ketika persamaan (11) diintegrasikan, maka

$$-2\eta u = \frac{r^2 P}{2} + B, \quad (12)$$

tetapi $B = -Ps^2/2$ sejak $u = 0$ ketika $r = s$, maka

$$u = \frac{P}{4\eta} (s^2 - r^2), \quad (13)$$

sejak kuantitas aliran per detik mengalir ke tabung kecil maka diperoleh

$$u 2\pi r dr = \frac{P}{2\eta} (s^2 - r^2) dr. \quad (14)$$

Jadi untuk kuantitas total Q pada tabung yang mengalir per detik adalah (Tyler, 63)

$$Q = \frac{P\pi}{2\eta} \int_0^s (s^2 r - r^3) dr = \frac{P\pi}{2\eta} \left[\frac{s^2 r^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right]_0^s, \quad (15)$$

dengan memisalkan $2r = D$ pada perbedaan tekanan sebesar Δp , dapat disimpulkan aliran fluida pada volume konstan dapat ditunjukkan melalui persamaan

$$Q = \frac{\pi \Delta p}{128 L \eta} D^4 \quad (16)$$

Persamaan 16 dikenal sebagai hukum poiseulle, dengan Q debit aliran air. Sejak pergerakan air pada pipa vessel sangat lambat, dan tekanan P_1 dan P_2 pada ujung pipa kapiler dapat dekati dengan tekanan hidrostatik,

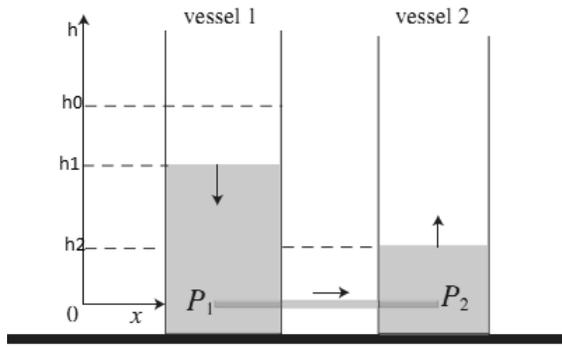
$$P_1 = P_0 + \rho g h_1, \quad (17)$$

dan

$$P_2 = P_0 + \rho g h_2, \quad (18)$$

dengan P_0 adalah tekanan atmosfer, ρ massa jenis dari zat cair yang digunakan, dan g percepatan gravitasi, dengan nilai $g = (9,78 \pm 0,07) \text{ m/s}^2$ yang sesuai dengan percepatan gravitasi bumi daerah Yogyakarta (Chuzam dan Oktova, 2010: 314), dengan substitusi pers. (16) ke pers. (17) maka

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g (h_2 - h_1), \quad (19)$$



Gambar 3. Dua tabung silinder yang dihubungkan oleh pipa kapiler (Ortega, dkk., 2001)

dengan mengasumsikan tekanan selalu konstan dan volume cairan yang ada dalam pipa vessel konstan. sehingga debit aliran air pada pipa kailer dapat ditunjukkan dengan persamaan

$$Q = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 L \eta} (h_0 - 2h_1), \quad (20)$$

dan nilai Q juga dapat diperoleh dari

$$Q = A \frac{dh}{dt} \quad (21)$$

dengan A merupakan luas daerah pada pipa vessel, dengan mensubstitusika pers (20) ke (21) maka diperoleh

$$A \frac{dh}{dt} = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 L \eta} (z_0 - 2z_1), \quad (22)$$

dan

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 AL \eta} (h_0 - 2h_1), \quad (23)$$

maka

$$\frac{dh_1}{(h_0 - 2h_1)} = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 AL \eta} dt, \quad (24)$$

sehingga

$$-\ln \left(\frac{2h_1}{h_0} - 1 \right) = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 AL \eta} dt. \quad (25)$$

Jika Δt divariasasi dengan π, D, ρ, g, A, L dan η tetap, maka persamaan (25) merupakan persamaan linier berbentuk

$$\hat{y}_i = ax_i + b, \quad (26)$$

dengan variabel $y = v, x = \Delta h$. Untuk mengetahui garis lurus terbaik hubungan kecepatan alir dan perubahan ketinggian diperoleh dengan menggunakan persamaan (26)

dapat diperoleh nilai a dan b (Bevington dan Robinson: 2003) dengan

$$a = \frac{1}{\Delta} (N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i), \quad (27)$$

dan

$$b = \frac{1}{\Delta} (\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i), \quad (28)$$

dengan

$$\Delta = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2, \quad (29)$$

dan ralat baku estimasi regresi adalah

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-2} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (30)$$

Ralat a dapat dihitung dari

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{N \sigma^2}{\Delta}}, \quad (31)$$

dan ralat b dapat dihitung dari

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\Delta} \sum x_i^2}. \quad (32)$$

berdasarkan hasil regresi, diperoleh

$$a = \frac{\pi D^4 \rho g}{128 AL \eta} \quad (33)$$

dengan $A = \pi D(D+L)$ maka

$$a = \frac{D^3 \rho g}{128 (D+L) L \eta} \quad (34)$$

Faktor konfersi hasil pengukuran adalah

$$K = \frac{\eta_{acuan}}{\eta_{ekperimen}} \quad (35)$$

maka nilai viskositas dapat diperoleh dari

$$\eta = \frac{KD^3 \rho g}{128 (D+L) La} \quad (36)$$

dan nilai ralatnya dapat diperoleh dari

$$S_\eta = \left\{ \left(\frac{\delta \eta}{\delta D} S_d \right)^2 + \left(\frac{\delta \eta}{\delta g} S_g \right)^2 + \left(\frac{\delta \eta}{\delta L} S_L \right)^2 + \left(\frac{\delta \eta}{\delta a} S_a \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (37)$$

III. Metode Penelitian

Percobaan penentuan koefisien viskositas (η) dengan pipa kapiler sepanjang $(10,00 \pm 0,01)$ cm dan diameter dalam $(0,20 \pm 0,05)$ cm. Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah vessel viscosimeter, software tracker, jangka sorong, thermometer alkohol, penggaris, dan air. Langkah-langkah percobaannya sebagai berikut

- Diameter dan panjang pipa kapiler diukur menggunakan jangka sorong.
- Suhu air diukur menggunakan termometer.
- Tabung 2 diisi dengan air dengan volume 30 mL.
- kemudian di rekam menggunakan kamera digital sampai air pada kedua tabung memiliki ketinggian yang sama.
- Kemudian file ditransfer ke komputer dengan menggunakan ekstensi .mov.
- Setelah itu file dibuka menggunakan software tracker, penurunan volume air ditrak sampai volume air pada kedua tabung sama tingginya.
- Setelah selesai pengambilan data lalu diambil data perubahan ketinggian dan waktu kemudian dianalisis menggunakan bantuan Ms. Office Excel untuk mendapatkan fungsi regresi linier.
- Kemudian diulang untuk berbagai larutan gula, 10%, 20% dan 30%.
-

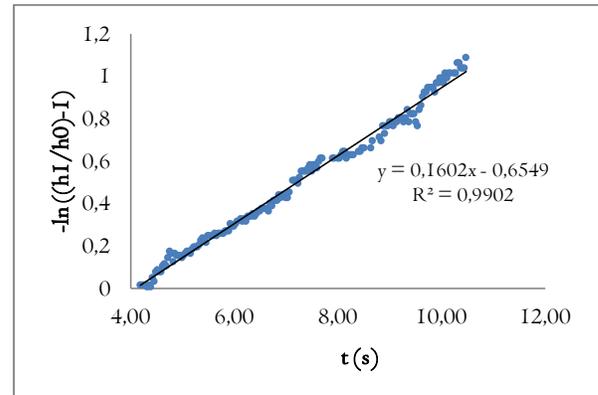


Gambar 4. Viscosimeter vessel terhubung

IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

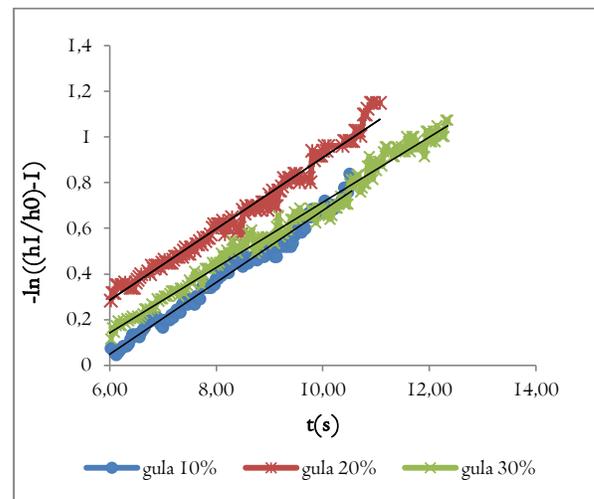
Penentuan nilai viskositas larutan gula dimulai dengan melakukan kalibrasi terhadap viscosimeter vessel terhubung menggunakan air murni. Diperoleh hasil nilai gradient garis $(0,16 \pm 0,09)$ yang ditunjukkan gambar 3. Sehingga diperoleh

nilai konversi sebesar 285,4849, dan nilai ini yang selanjutnya digunakan dalam penentuan nilai viscositas larutan gula.



Gambar 5. Grafik hasil analisis data air murni

Dari hasil pengambilan data pada larutan gula 10%, 20% dan 30% diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 6,



Gambar 5. Grafik hasil analisis data air murni

Dari hasil analisis data diperoleh nilai koefisien viscositas larutan gula ditunjukkan pada tabel I.

Tabel I. Hasil perhitungan viskositas larutan gula

No.	Kadar (%)	Gradien	Viskositas (poise)
1	10	$157,000 \pm 0,003$	$1,02 \pm 0,02$
2	20	$155,000 \pm 0,001$	$1,05 \pm 0,02$
3	30	$142,000 \pm 0,001$	$1,13 \pm 0,02$

Percobaan penentuan koefisien viskositas larutan gula menggunakan metode vessel terhubung dengan bantuan

software tracker terbukti lebih teliti. Namun dalam penelitian ini perlu diperbaiki agar nilai koreksi tidak terlalu besar, hal ini dimungkinkan ketika pengambilan data video yang digunakan masih kurang jelas sehingga tracking data tidak maksimal. Saran untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan kamera dengan resolusi tinggi agar video yang dihasilkan lebih jelas sehingga data lebih akurat.

V. Kesimpulan

Dari hasil analisis dengan menggunakan metode vessel terhubung viscosimeter berbasis video based laboratory diperoleh nilai viscositas larutan gula 10 % adalah $(1,02 \pm 0,02)$ poise, 20% adalah $(1,05 \pm 0,02)$ poise, dan 30% adalah $1,13 \pm 0,02$ poise.

Kepustakaan

- Bevington, P.R dan Robinson, D.K. 2003. *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. Newyork: McGraw-Hill.98-114).
- Budianto, A. 2008. *Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair Dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes*. p.157-166. Diakses dari <http://jurnal.sttnbatan.ac.id/wpcontent/uploads/2008/12/12-anwar157-166.pdf>
- Chuzam, A. Dan Oktova, R. 2010. *Penentuan Tara Kalor Mekanis Secara Teliti Dengan Metode Gesekan Dua Kerucut*. Diakses tanggal 16 April 2011 pukul 11.45 dari <http://www.fi.itb.ac.id/~dede/Seminar%20HFI%2010/Cd%20Proceedings/indek.html>. p.314.
- Diliyanti, A. Henny, G. dan Indah, H. 2009. *Viskositas*. Diakses tanggal 26 maret 2011, pukul 20.28 dari <http://morehigher.blogspot.com/2009/09/fisika-farmasi.html>.
- Ghazali, R.A. 2009 . *Kekentalan*. Diakses tanggal 26 maret 2011, pukul 20.28 dari <http://kurkum13.blogspot.com/2009/11/kekentalan.html>.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Jati, B.M.E, Karyono, dan Supriyatin. 2010. Penyetaraan Nilai Viscositas Terhadap Indeks Bias pada Zat Cair Bening. *Berkala Fisika Vol.13, No 4, Oktober 2010, hal 119-124*.ISSN 1410-9662.
- Kanginan, M. 2004. *Fisika Untuk SMA Kelas XI*. Jakarta: Erlangga. p.208

Ortega, F. M., Pavioni, O.D., dan Dominguez, H.L. 2007. *A Communicating-Vessel Viscosimeter, American journal of Physics* pdf., vol.45, p. 116-118. Diakses dari <http://aapt.org/ajp>.

Serway, R.A. dan Jewett, J.W. 2004. *Physics For Scientist and Engineers* pdf. California : Thomson Brooks/Cole. P.302-303.

Tyler, F. 1967. *A Laboratory Manual of Physics*. London : Erdward Arnold. p.62-63

Widayanti, L., Siti Habibah, Wiwik Erliyana, Okimustava. 2011. Penentuan Koefisien Viskositas Larutan Gulamenggunakan Metode Pipa Kapiler Hukum Poiseuille. Prosiding seminar nasional pendidikan fisika dan fisika 2011, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta