

Measurement of Internal Friction for Tungsten by the Curve Vibrating Method with Variation of Voltage and Temperature

Elin Yusibani^{1*}, Kosuke. Yoshimura², Kanei Shinzato³

¹Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

²Mechanical Engineering, Fukuoka, Kyushu University, Japan

³Research Center for Hydrogen Industrial Use and Storage HYDROGENIUS-AIST, Fukuoka, Japan

Received October, 2013, Accepted December, 2013

Application of a curved vibrating wire method (CVM) to measure gas viscosity has been widely used. A fine Tungsten wire with 50 μm of diameter is bent into a semi-circular shape and arranged symmetrically in a magnetic field of about 0.2 T. The frequency domain is used for calculating the viscosity as a response for forced oscillation of the wire. Internal friction is one of the parameter in the CVM which is has to be measured beforehand. Internal friction coefficient for the wire material which is the inverse of the quality factor has to be measured in a vacuum condition. The term involving internal friction actually represents the effective resistance of motion due to all non-viscous damping phenomena including internal friction and magnetic damping. The testing of internal friction measurement shows that at different induced voltage and elevated temperature at a vacuum condition, it gives the value of internal friction for Tungsten is around 1 to $4 \cdot 10^{-4}$.

Keywords: internal friksi, frekuensi, temperatur, Tungsten, *curve vibrating wire method*

Pendahuluan

Koefisien viskositas pada fasa gas memiliki nilai yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai koefisien pada fasa cair dari sebuah sampel. Dengan demikian pengukuran koefisien viskositas untuk fasa gas akan menjadi relatif lebih sulit dibandingkan dengan pengukuran pada fasa cair. Telah dilakukan penelitian pengukuran viskositas dengan berbagai metode yang berbeda untuk mengukur viskositas daripada gas hidrogen. Metode pipa kalipari telah berhasil digunakan untuk mengukur viskositas gas hidrogen pada tekanan sampai dengan 100 MPa dan suhu dari temperatur ruang sampai 500°C, pipa kapilari yang digunakan terbuat dari gelas Quartz dengan panjang dan diameter dalam sebesar 501.6 mm dan 0.0945 mm (Yusibani dkk, 2011). Keunggulan dari metode kapilaritas adalah konsep yang sederhana untuk mendapatkan data viskositas, namun membutuhkan aparatus eksperimen yang cukup besar sehingga membutuhkan dana yang tidak sedikit selain itu jumlah sampel yang dibutuhkan juga relatif menjadi lebih banyak. Penelitian lain menggunakan metode kawat tipis melengkung yang bergetar (*curve vibrating method (CVM)*) juga telah dilakukan untuk mengukur hidrogen

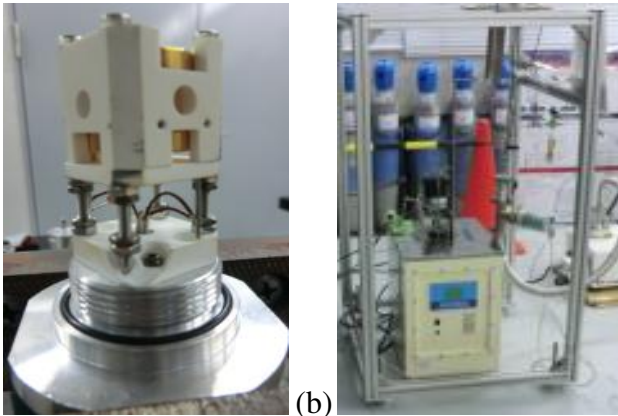
gas pada tekanan dibawah 1 MPa pada suhu ruang (Yusibani dkk, 2013). Keunggulan dari metode CVM adalah sangat cocok untuk mengukur sampel pada suhu dan tekanan yang tinggi dikarenakan disain aparatus yang sederhana dan relatif kecil sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan menjadi sedikit, namun kesulitan yang dihadapi adalah konsep fisika dalam mendapatkan nilai viskositas tersebut menjadi cukup rumit. Salah satu parameter yang diperlukan untuk mendapatkan nilai koefisien viskositas menggunakan CVM adalah internal friksi (*Internal friction, Q^{-1}*) dari kawat yang digunakan sebagai sensor (*probe*). Nilai internal friksi ini sangat bergantung dari jenis kawat yang digunakan juga perlakuan yang diberikan pada kawat tersebut. Di dalam tulisan ini akan ditunjukkan hasil dari parameter internal friksi untuk kawat berbahan Tungsten yang digunakan untuk mengukur viskositas dari hidrogen gas menggunakan CVM saat terjadi perubahan tegangan input dan temperatur.

Metode Penelitian

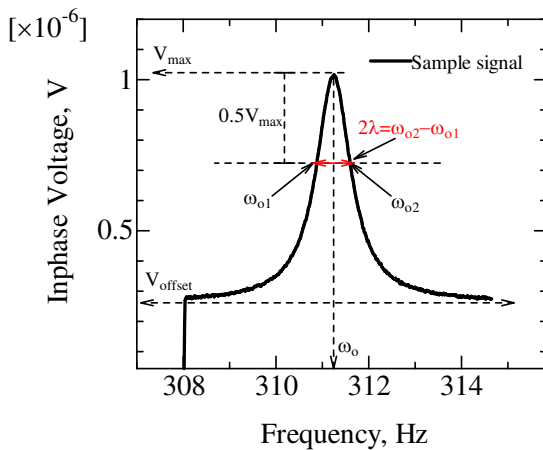
Aparatus yang digunakan untuk mengukur internal friksi di dalam penelitian ini sama dengan aparatus yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya (Yusibani dkk, 2013). Konsep

*Email:e_yusibani@unsyiah.ac.id

sederhana dari apparatus ini seperti tampak pada Gambar 1(a). Sebuah kawat tipis yang berdiameter sekitar 50 μm dengan panjang sekitar 23 cm dibengkokkan di dalam sebuah silinder berbahan metal. Sampel yang digunakan sebanyak 42 cm³ lalu ditutup dengan rapat dan diberi tekanan vakum pada temperatur dari 22 sampai 200°C seperti tampak pada Gambar 1(b).



Gambar 1 (a) perancangan pendukung sensor (*probe*) berbahan keramik (b) Aparatus eksperimen diletakkan didalam sebuah termostat yang berisi silikon untuk memberikan suhu sampai 200°C



Gambar 2 Sinyal tegangan output sefasa yang dihasilkan

Internal friksi adalah sebuah parameter yang nilainya merupakan kebalikan dari faktor kualitas yang diukur dalam kondisi vakum (Blanter dkk., 2007). Istilah internal friksi ini adalah berhubungan dengan hambatan dalam dari kawat ketika sebuah gaya diberikan dalam bentuk getaran sehingga terjadi redaman. *Vacuum Pressure* digunakan untuk mengevakuasi isi dari apparatus hingga mencapai tekanan maksimal sebesar 1

sampai 4 10⁻⁴ Pa. Dalam kondisi vakum, maka internal fraksi diukur dengan menaikkan temperatur dari 22 sampai 200°C dengan memberikan tegangan input. Tegangan input dan output dalam domain frekuensi dikendalikan oleh *Digital Signal Processing* (DSP) model 7265, buatan *Signal Recovery*, dengan melakukan penaikan frekuensi secara berkala (*sweeping*). Untuk kasus sinyal pada Gambar 2, maka berlaku persamaan berikut

$$I_o B g(x) \sin(\omega t) - \frac{\pi r^4}{4} Y \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - D \frac{\partial y}{\partial t} - Q_{vac}^{-1} \omega_o \rho_w \pi r^2 \frac{\partial y}{\partial t} = (\rho_w \pi r^2 + \eta) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

dimana solusi umum dari persamaan (1) dapat ditulis sebagai berikut

$$y(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n\pi}{L} x\right) \xi_n(t) \quad (2)$$

untuk n=1, kita dapatkan

$$\xi_1''(t) + \frac{(Q_{vac}^{-1} \omega_o \rho_w \pi r^2 + D)}{(\rho_w \pi r^2 + \eta)} \xi_1'(t) + \frac{\pi r^4}{4} Y \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \xi_1(t) = \frac{I_o B \sin(\omega_o t)}{(\rho_w \pi r^2 + \eta)} \quad (3)$$

Definisikan

$$\xi_1''(t) + 2\lambda \xi_1'(t) + \omega_1^2 \xi_1(t) = f(t) \quad (4)$$

dimana

$$\lambda = \frac{(Q_{vac}^{-1} \omega_o \rho_w \pi r^2 + D)}{2(\rho_w \pi r^2 + \eta)}$$

$$D = \pi r^2 \omega_o \rho_s k'$$

$$\eta = \pi r^2 \rho_s k \quad (5)$$

dari persamaan (5), dapat didefinisikan internal friction pada kondisi vakum

$$Q_{vac}^{-1} = 2\lambda \left[\frac{(\rho_w + \rho_s k) - (\omega_o \rho_s k')}{\omega_o \rho_w} \right] \quad (6)$$

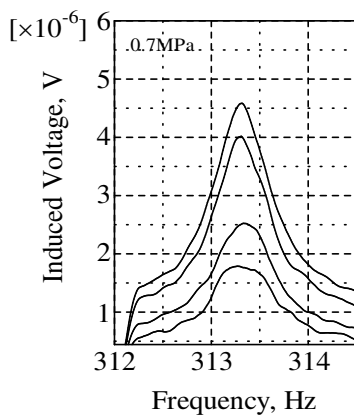
di dalam perhitungan kita asumsikan bahwa chamber berada dalam kondisi vakum ($P=0$) sehingga rapat massa dari sampel akan menuju nol (0), sehingga dapat disederhanakan menjadi

$$Q_{vac}^{-1} = 2\lambda \frac{\rho_w}{\omega_o \rho_w} = \frac{2\lambda}{\omega_o} = \frac{\omega_{o2} - \omega_{o1}}{\omega_o} \quad (7)$$

Persamaan (7) digunakan di dalam pengukuran ini dimana internal friksi merupakan kebalikan dari quality factor, Q.

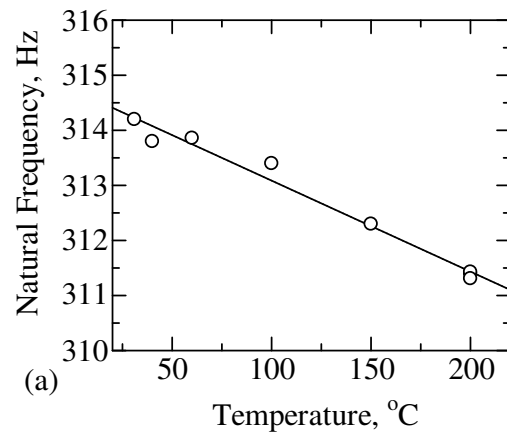
Hasil Penelitian

Ketika sensor viskositas diberi tegangan tertentu maka perangkat Lock-in-amp akan menangkap sinyal tersebut dalam dua fasa, yakni *in-phase* (sumbu X) dan *out-of-phase* (sumbu Y) dalam domain frekuensi. Grafik yang ditampilkan didalam penelitian ini adalah sinyal tegangan yang sefasa (Sumbu X). Gambar 3 menunjukkan bahwa ketika tegangan input dinaikkan maka sinyal yang didapatkan akan semakin tinggi, namun natural frekuensi yang dihasilkan akan bernilai relatif hampir sama. Tegangan rendah menghasilkan bentuk sinyal yang tidak sepenuhnya berbentuk distribusi normal.

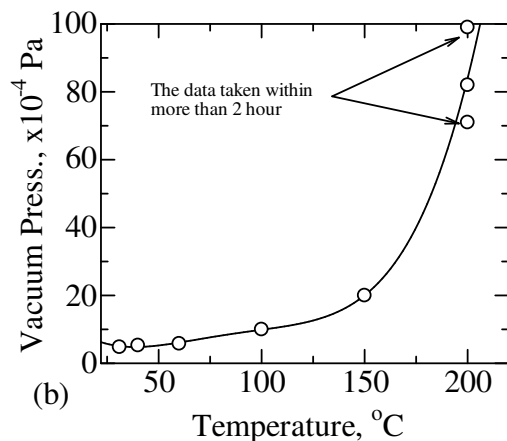


Gambar 3 Perubahan variasi tegangan input mengakibatkan naiknya puncak dari sinyal dari sekitar 1,5 sampai 4,5 μ V, namun nilai frekuensi natural bernilai relatif hampir sama

Gambar 4(a) menunjukkan bahwa ketika temperatur dinaikkan maka natural frekuensi akan berkurang. Gambar 4(b) menunjukkan kemampuan mesin vakum yang digunakan pada penelitian ini untuk mengevakuasi isi dari aparatus, semakin tinggi temperatur maka daya evakuasi dari mesin menjadi semakin berkurang. Gambar 5 menunjukkan hasil sinyal tegangan yang didapat untuk suhu 22°C, 100°C dan 150°C terhadap frekuensi saat pemanas (*heater*) dinyalakan menggunakan stirer dan tanpa stirer. Stirer digunakan agar suhu yang didapatkan homogen untuk setiap posisi sensor. Namun demikian dari gambar terlihat bahwa pada temperatur tinggi keberadaan stirer akan mengganggu sinyal yang didapatkan yakni natural frekuensi yang didapat akan bergeser ke sebelah kanan (bertambah besar). Perubahan posisi ini akan mengakibatkan pengukuran nilai viskositas menjadi tidak akurat.



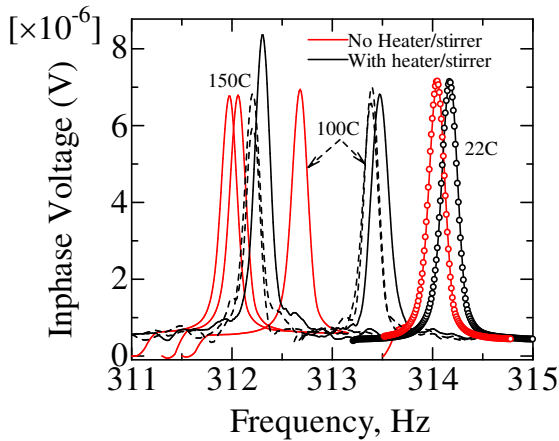
(a)



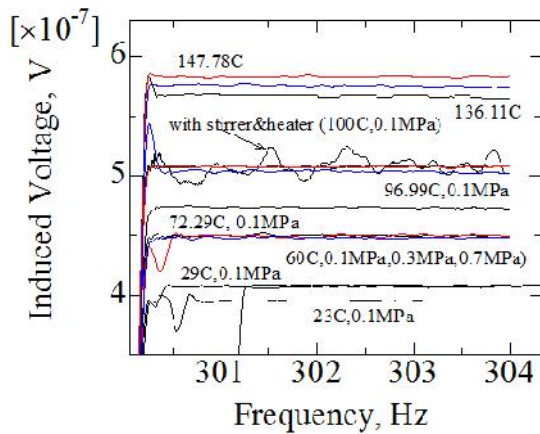
(b)

Gambar 4 (a) Natural frekuensi berkurang berdasarkan kenaikan suhu dan (b) Pencapaian tekanan vakum yang didapat pada instrumen ketika suhu dinaikkan

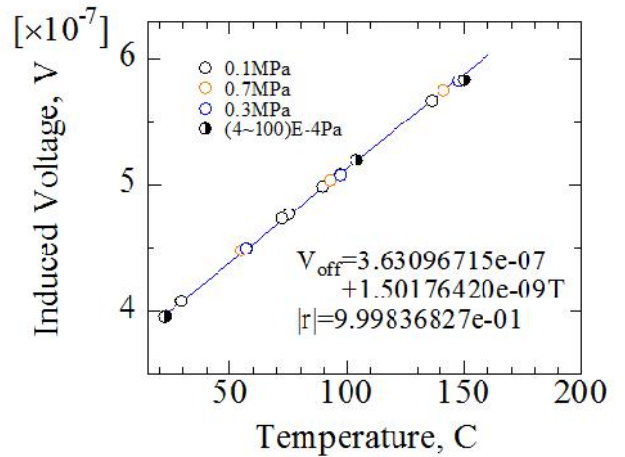
Berdasarkan hasil pengukuran didapat bahwa ketika suhu dinaikkan menuju 150°C, maka terdapat offset dari tegangan, artinya sinyal tidak beranjak dari harga nol. Nilai offset ini harus diperhitungkan berdasarkan temperatur karena akan berpengaruh ketika nilai internal friction di ukur. Gambar 6 menunjukkan bahwa ketika temperatur naik, maka sinyal tegangan offset yang ditangkap akan naik dari 40 sampai 60 μV.



Gambar 5 Hasil tegangan sefasa (in-phase) yang ditangkap oleh lock-in Amp terhadap frekuensi untuk mengukur internal fraksi dengan dan tanpa stirer pada sistem pemanas.



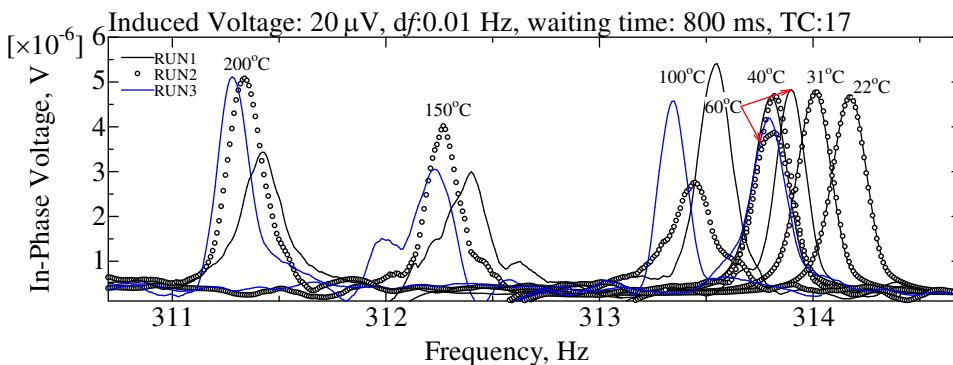
(a)



(b)

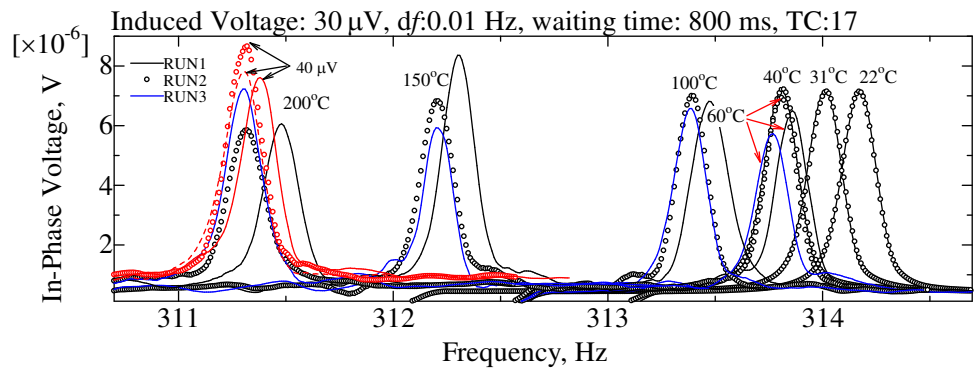
Gambar 6 (a) Ketika temperatur naik maka tegangan awal dari sinyal juga ikut naik (*zero offset voltage*), namun offset ini tidak berpengaruh terhadap tekanan (b) Nilai tegangan offset yang didapat terhadap temperatur yang akan digunakan didalam perhitungan internal friksi

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hasil pengukuran sinyal secara keseluruhan ketika terjadi perubahan tegangan input sebesar 10 μV. Pada tegangan input yang kecil (Gambar 6) didapat bahwa pada percobaan ke-3 (RUN 3) sinyal yang dihasilkan tidak sempurna membentuk distribusi normal. Sinyal untuk temperatur 40°C dan 60°C juga mengalami ketidaksesuaian. Hal ini diprediksi bahwa getaran yang terjadi tidak laminar sehingga mengganggu sinyal yang ditangkap. Untuk tegangan input sebesar 30 μV (Gambar 7), sinyal yang dihasilkan cukup stabil, terutama pada percobaan ke-3 (RUN 3). Simbol/garis yang berwarna merah menunjukkan tegangan input sebesar 40 μV, dan didapatkan ketinggian puncak sinyal bertambah konsisten dengan yang telah kita dapatkan sebelumnya (Gambar 3).

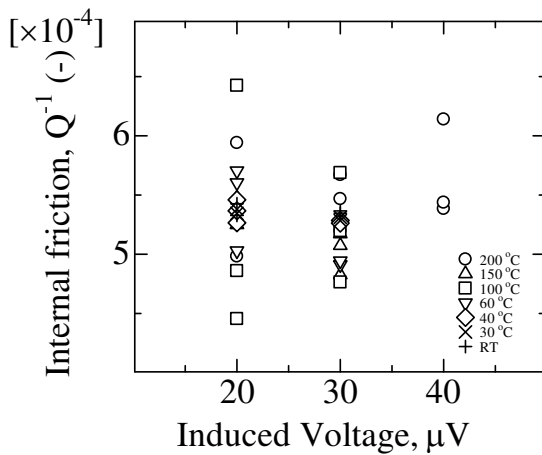


Gambar 7 Tegangan output (In-phase) terhadap frekuensi pada tegangan input sebesar 20 μV. Pada suhu 40°C dan 60°C hasil pengukuran memberikan data yang hampir sama

Gambar 8 Tegangan output (In-phase) terhadap frekuensi pada tegangan input sebesar $30 \mu\text{V}$. Sinyal yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dengan tegangan sebelumnya. Simbol berwarna merah menunjukkan data yang diukur pada tegangan input sebesar $40 \mu\text{V}$. Hal ini diberikan sebagai testing akan pengaruh kenaikan tegangan terhadap sinyal output



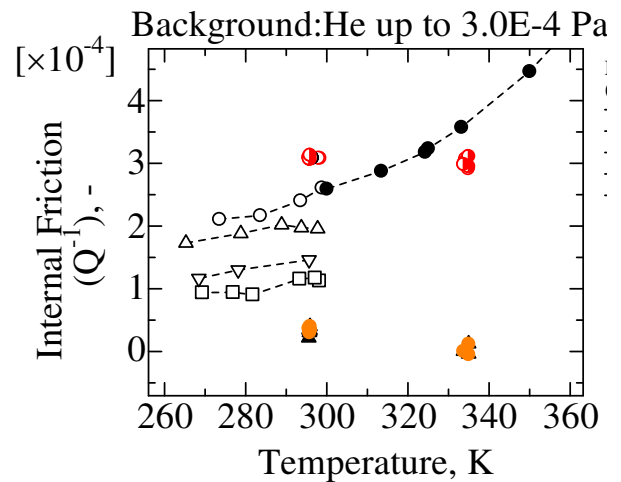
Berdasarkan Gambar 9 didapat bahwa ketika tegangan input dinaikkan maka hasil perhitungan internal friksi menjadi lebih presisi berkisar antara $0,45$ sampai $0,6 \times 10^{-4}$.



Gambar 9 Hubungan internal friksi terhadap variasi dari tegangan input. Hasil yang didapat tidak bergantung dari viskositas/rapat massa dari sistem. Nilai internal friksi menggunakan input tegangan 20 mV menunjukkan nilai yang tidak presisi dibandingkan dengan nilai tegangan lainnya

Gambar 10 merupakan nilai internal friksi untuk Tungsten dibandingkan dengan hasil pengukuran Muss&Townsend dan Chambers&Schultz. Secara umum pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini memiliki nilai Q^{-1} lebih tinggi dari pada peneliti lain namun berada pada jangkauan yang sama. Adanya perbedaan ini diasumsikan dikarenakan perbedaan perlakuan terhadap kawat itu sendiri juga dari segi kemurnian bahan tersebut. Namun perbedaan ini juga dapat diakibatkan karena adanya efek redaman dari pada medan magnet

(Woodfield dkk., 2012). Perbedaan persamaan yang digunakan untuk perhitungan di dalam program komputer dapat mempengaruhi nilai internal friksi yang dihasilkan. Pada grafik didapat bahwa ketika kita menggunakan persamaan (7), yakni bahwa kita tidak memperdulikan harga viskositas dan rapat massa dari isi aparatus, maka nilai internal friksi akan jauh lebih tinggi daripada kedua parameter tersebut kita masukkan kedalam perhitungan seperti yang tampak pada grafik untuk simbol segitiga hitam dan bulat berwarna oranye.



Muss & Townsend (1962)
(anneal 700 C diff. cold working)
 -○- MW7
 -△- MW6
 -□- MW8
 -▽- MW9
 -●- Chambers & Schultz (1961)
 (Eq. 7)
 ● RUN1
 ○ RUN2
 (Eq. 6)
 ▲ zero offset was adjusted
 ● with zero offset correction

Gambar 10 Perbandingan hasil pengukuran menggunakan persamaan (6) dan (7) untuk gas helium pada nilai tekanan maksimum sebesar $3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$. Hasil dari Muss&Townsend menunjukkan bahwa nilai internal friksi berharga tetap meskipun terdapat perbedaan temperatur

Kesimpulan

Perubahan tegangan dapat mempengaruhi puncak sinyal tegangan output yang didapatkan oleh Lock-in-amp menjadi lebih. Perubahan temperatur mengakibatkan perubahan natural frekuensi dari sinyal menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Internal friksi menggunakan tegangan input yang kecil dapat mengakibatkan hasil yang kurang presisi dibandingkan dengan tegangan yang relatif lebih tinggi. Nilai internal friksi untuk Tungsten pada kondisi vakum didapat skitar 1 sampai $4 \cdot 10^{-4}$ untuk variasi temperatur dari 270K sampai 350K, namun informasi viskositas dan rapat massa dari sistem dapat mempengaruhi nilai internal friksi tersebut.

Referensi

Blanter, M.S., Golovin, I.S., Neuhäuser, H., H.R. Sinning, *Internal Friction in Metallic Materials*, A Handbook, Springer, 2007.

Muss, D.R., Townsend, J.R., *Internal Friction and Young's Modulus in Irradiated Tungsten*, J. App. Phys. 33 (1962) 1804.

Chambers, Schultz, *Dislocation Relaxation Spectra of Cold-Worked Body-Centered Cubic Transition Metals*, Phys. Rev. Lett. 6 (1961) 273. Yusibani, E., Nagahama, Y., Shinzato, K., Fujii, M., Kohno, M., Takata, Y., Woodfield, P. L., "A Capillary Tube Viscometer Designed for Measurements of Hydrogen Gas Viscosity at High Pressure and High Temperature", International Journal of Thermophysics Vol. 32(6) pp. 1111-1124, (2011)

Yusibani, E., Woodfield, P.L., Shinzato, K., Takata, Y., Kohno, M., "A Compact Curved Vibrating Wire Technique for Measurement of Hydrogen Gas Viscosity", Experimental Thermal and Fluid Science 47 1-5 (2013)

Woodfield, P.L., Seager, A., Hall, W., *Magnetic Damping Effects in Forced-Oscillation Vibrating-Wire Viscometers* Int. J. Thermophys. 33 issue 2 (2012) 259