



REFERENCE ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES: DENSITY AND VISCOSITY OF WATER FOR ATMOSPHERIC PRESSURE*

Elin Yusibani*, Aprina, T. Khairuman

Departement of Physics, Faculty of MIPA, Universitas Syiah Kuala
 Jln. T. Nyak Arief Darussalam - Banda Aceh, 23111
 *e-mail: e_yusibani@unsyiah.ac.id

Abstract. A reference on thermophysical properties, density and viscosity, for water at atmospheric pressure has been developed in MS Excel (as a macros). Patterson's density equations and Kestin's viscosity equations have been chosen as a basic equation in the VBA programming as a user-defined function. These results have been compared with REFPROP as a wellknow standart reference.

Keywords: macro, source code, density, viscosity, water, VBA.

I. PENDAHULUAN

Saat ini informasi keakuratan dan kualitas data eksperimen sifat termodinamika dan fenomena transport seperti viskositas dan rapat massa telah meningkat secara signifikan selama beberapa tahun terakhir. Viskositas berhubungan dengan kata viskeus, yaitu ketika bahan padat dipanaskan akan menjadi lunak sebelum bahan tersebut mencair (Suedojo, 2004). Keadaan lunak inilah yang disebut dengan viskeus dan dapat dianggap gerakan bagian dalam suatu fluida (Sears & Zemansky, 1982). Alat yang digunakan untuk mengukur viskositas disebut viskometer, biasanya pengukuran digunakan untuk mengukur viskositas zat cair seperti air, oli pelumas mesin, darah, produk susu, cat, minyak goreng dan juga digunakan untuk mengukur viskositas zat gas. Sehingga sistem basis data viskositas sangat dibutuhkan oleh berbagai kalangan termasuk diantaranya adalah fisikawan, kimiawan, analisis kimia industri, dokter, kimia lingkungan, biokimia dan banyak lagi.

Makro excel merupakan aplikasi yang terdapat didalam Microsoft Excel dibuat dengan menggunakan bahasa VBA, yang dapat membantu kita untuk menulis kode sumber (*source code*) atau kode pemrograman. Makro excel digunakan untuk mempermudah pekerjaan seperti menghitung data yang berulang-ulang juga dapat digunakan untuk membuat basis data dengan cara yang mudah, efektif dan efisien. Melalui penelitian ini penulis akan membuat basis data perhitungan viskositas dan rapat

massa menggunakan makro excel, sehingga dapat menghasilkan sebuah basis data berbasis makro excel lokal yang dapat menghitung viskositas dan rapat massa air berdasarkan data temperatur pada tekanan 1 atmosfer.

II. METODOLOGI

Rapat massa dan viskositas air yang diprediksi di dalam basis data ini dihitung berdasarkan persamaan matematika. Persamaan matematika yang digunakan dalam pemograman ini dipilih dari beberapa referensi yang telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal ternama. Persamaan yang dipilih dan akan digunakan harus memiliki tingkat keakuratan yang paling baik berdasarkan pada hasil ekperimen yang juga telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal ternama. Tabel 1 dan 2 berisi tentang persamaan rapat massa dan viskositas air yang telah dipublikasikan beserta jangkauan pengukurannya

Tabel 1 Persamaan rapat massa pada 1 atm

NO	Persamaan rapat massa air
1	$\rho = RT \left[1 + \rho' \phi_{\rho'} \left(\frac{P_u}{T} \right) \right] P_u$ $\phi_{\rho'} = \sum_{i=1}^7 n_i d_i \rho'^{d_i-1} T^{-\epsilon_i} \sum_{j=8}^{51} n_j e^{-\epsilon_j} T^{-\epsilon_j} \rho'^{d_j-1} T^{\epsilon_j}$ $\left(d_i - c_i \rho'^{c_i} \right) + \sum_{i=52}^{54} n_i \rho'^{d_i} T^{-\epsilon_i} e^{-\alpha_i(\rho' - \epsilon_i)^2 - \beta_i(T^* - \gamma_i)^2}$ $\left[\frac{d_i}{\rho'} - 2\alpha_i(\rho' - \epsilon_i) \right] + \sum_{i=55}^{56} n_i \left[\Delta^{b_i} (\psi + \rho' \partial \psi / \partial \rho' + \partial \Delta^{b_i} / \partial \rho' \rho' \psi) \right]$ $\left[E = e^{-c_i(\rho' - 1)^2 - D_i(T^* - \gamma_i)^2}, \Delta^{b_i} = \theta^2 + B_i [(\rho' - 1)^2]^{\alpha_i}, \theta = \left(1 - \frac{T^*}{T} \right) + \frac{A_i}{T} (\rho' - 1)^2 \right]^{1/(2\beta_i)}$

1. $\rho' = \rho/\rho^*$
 $T' = T/T^*$
Pada tekanan 1 atm
Referensi: Wagner, W
Temperature (°C): -21,95 -999,85
Metode: Teori
2. $\rho = 1000 [1 - 0,0001889 (T - 20) + 1,9863 \times 10^{-5} (T - 20)^2 - 1,49 \times 10^{-7} (T - 20)^3 + 6,812963 \times 10^{-10} (T - 20)^4]$
Pada tekanan 1 atm
Referensi: Fredlund, D.G.
Temperature (°C): -30 - 100
Ketidakpastian: ±0.3%
Metode: Empirik
3. $\rho = \rho_0 [1 + A(t - t_0) + B(t - t_0)^2 + C(t - t_0)^3 + D(t - t_0)^4 + E(t - t_0)^5]$
 $\rho_0 = 999,97358 \text{ kg/m}^3$
 $t_0 = 3,9818^\circ\text{C}$
 $A = 7,0134 \times 10^{-8} (^\circ\text{C})^{-1}$
 $B = 7,926504 \times 10^{-6} (^\circ\text{C})^{-2}$
 $C = -7,575677 \times 10^{-8} (^\circ\text{C})^{-3}$
 $D = 7,314894 \times 10^{-10} (^\circ\text{C})^{-4}$
 $E = -3,596458 \times 10^{-12} (^\circ\text{C})^{-5}$
Pada tekanan 1 atm
Referensi: Patterson, J.B
Temperature (°C): 1-40
Metode: Empirik

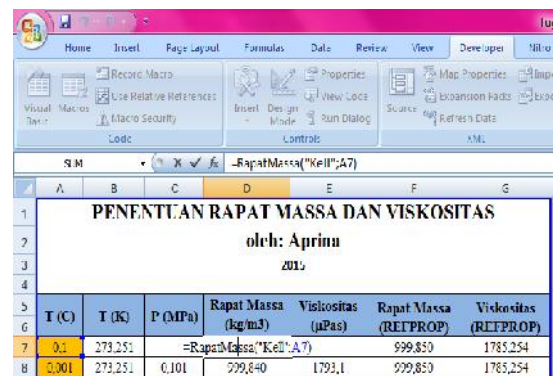
Tabel 2 Persamaan viskositas pada 1 atm

- | No | Persamaan viskositas air |
|----|--|
| 1 | $\eta(20^\circ\text{C}) = 1002 \mu\text{Pa.s}$
Pada tekanan 1 atm
Referensi: Kestin, J.
Temperature (°C): -8 - 150
Ketidakpastian: ±0.4%
Metode: Semiempirik |
| 2 | $\eta = \eta_0(T') \times \eta_1(\rho') \times \eta_2(T', \rho')$
$\eta'_0(T') = 100 \sqrt{T' / \sum_{i=0}^3 \frac{H_i}{T'^i}}$
$\eta'_1(\rho') = \exp \left[\rho' \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^6 H_{ij} \left(\frac{1}{T'} - 1 \right)^i (\rho' - 1)^j \right]$
$\eta'_2 = 1$
Nilai H_{ij} adalah konstanta
Referensi: Senger, J. V.
Temperature (°C):
≤ 500 MPa untuk 0 - 150°C
≤ 350 MPa untuk 150 - 600°C
≤ 300 MPa untuk 600 - 900°C
Metode: Teori |
| 3 | $\eta = \eta_0(T') \times \eta_1(\rho')$
$\frac{\eta}{1 \times 10^{-6} \text{ Pa.s}} = \frac{\eta_0(T')}{\sqrt{T'}} \sum_{k=0}^2 a_k T'^k$ |

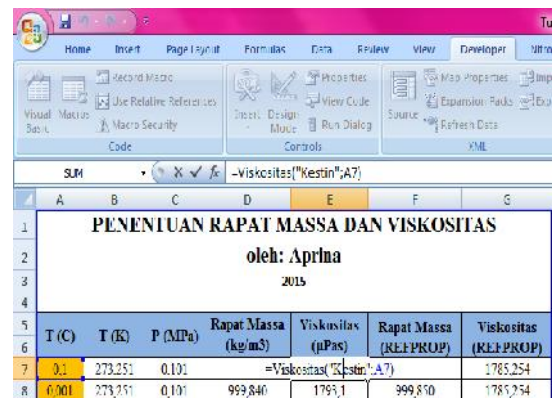
- $\eta_1(\rho', T') = \frac{\exp \left[\rho' \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^6 a_{ij} X^i Y^j \right]}{T'}$
 $T' = T/T^*$, $\rho' = \rho/\rho^*$, $P' = P/P^*$, $X = T'^{-1} - 1$,
 $Y = \rho' - 1$
Nilai a_k adalah $a_0 = 0,0181583$, $a_1 = 0,0177624$,
 $a_2 = 0,0105287$, $a_3 = -0,003674$.
Nilai a_{ij} dapat dilihat pada tabel pada lampiran
Referensi: Watson, J.T.R. Temperature (°C):
0 - 500 MPa untuk 0 - 150°C
0 - 350 MPa untuk 150 - 600°C
0 - 300 MPa untuk 600 - 900°C
Metode: Teori

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Referensi sifat-sifat dasar fisika berupa rapat massa dan viskositas dari air telah dibuat seperti yang terdapat didalam Gambar 1 dan 2. Gambar 1 menunjukkan hasil perhitungan rapat massa dari air (kolom D) menggunakan macro **RapatMassa(A;B)** dan Gambar 2 menunjukkan hasil perhitungan viskositas air (kolom E) menggunakan macro **Viskositas(A;B)**. Sebagai input yang harus di masukkan oleh user berdasarkan persamaan matematika adalah nama persamaan yang digunakan (kolom A) dan temperatur (kolom B). Semua input, satuannya telah ditentukan di dalam *source code* sebagai berikut: Tekanan (MPa), Temperatur (C), Rapat massa (kg.m³), dan viskositas (µPa.s).



Gambar 1 Perhitungan rapat massa air pada MS Excel



Gambar 2 Perhitungan viskositas untuk air pada MS Excel

Dibawah ini merupakan contoh *user-defined function* dalam bahasa pemrograman VBA untuk menghitung rapat massa air yang telah ditambahkan oleh penulis sebagai *macro* di dalam MS Excel.

```
Function RapatMasa(pVal As String, TC As Double)
    As Double

    Dim rho0 As Double, a As Double, b As Double
    Dim c As Double, d As Double, e As Double
    Dim t0 As Double

    If pVal = "Kell" Then
        RapatMasa = ((999.83952 + 16.945176 * TC) -
            (7.9870401 * 10 ^ (-3) * TC ^ 2) -
            (46.170461 * 10 ^ (-6) * TC ^ 3) -
            + (105.56302 * 10 ^ (-9) * TC ^ 4) -
            (280.54253 * 10 ^ (-12) * TC ^ 5)) -
            / (1 + 16.87985 * 10 ^ (-3) * TC)

    ElseIf pVal = "Patterson" Then

        rho0 = 999.97358 'Kg/m3
        t0 = 3.9818 'C
        a = 7.0134 * 10 ^ (-8) 'C-1
        b = 7.926504 * 10 ^ (-6) 'C-2
        c = -7.575677 * 10 ^ (-8) 'C-3
        d = 7.314894 * 10 ^ (-10) 'C-4
        e = -3.596458 * 10 ^ (-12) 'C-5

        RapatMasa = (1 - (a * (TC - t0) + b * (TC -
            t0) ^ 2 + c * (TC - t0) ^ 3 + d * (TC -
            t0) ^ 4 + e * (TC - t0) ^ 5)) * rho0

    Else

        RapatMasa = ""

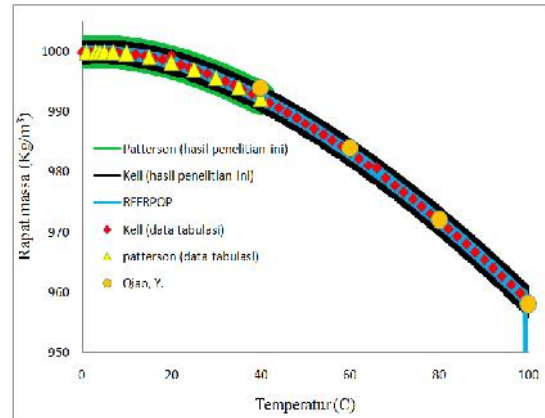
    End If

End Function
```

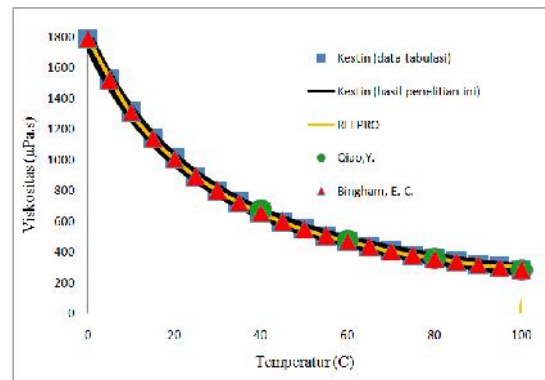
Nama dari *function* yang telah dibuat adalah **RapatMasa** dengan input persamaan matematika yang dipilih dan temperatur. Dengan memanggil *function* tersebut di dalam MS Excel, maka persamaan matematika yang telah dituliskan kedalam sebuah macro di atas akan tereksekusi. Hal ini berlaku juga untuk perhitungan viskositas berdasarkan persamaan matematika masing-masing yang diambil dari referensi seperti yang terlihat di dalam Tabel 1 dan 2. Jangkauan (*range*) dan tingkat kepercayaan (*uncertainty*) persamaan matematika sifat-sifat dasar fisika (rapat massa dan viskositas) dari air dapat juga di lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dua informasi tersebut diatas sangatlah penting sebagai dasar pemilihan persamaan matematika yang digunakan didalam macro. Di dalam program terdapat dua pilihan persamaan matematika yang dapat digunakan, yakni persamaan Kell dan persamaan Patterson. Kedua persamaan ini dapat kita tentukan sendiri sesuai dengan kebutuhan.

Gambar 3 menunjukkan hasil perhitungan rapat massa dan Gambar 4 untuk viskositas pada kondisi isobar ($P = 1 \text{ atm}$) dari air yang telah dibuat menggunakan program diatas. Perhitungan basis data ini telah dibandingkan dengan REFPROP dan hasil percobaan secara empiris oleh beberapa

peneliti yang didapatkan secara terpisah. Secara umum hasil perhitungan berdasarkan program ini memiliki nilai yang sama dengan perhitungan REFPROP dan para peneliti lain.



Gambar 3 Rapat massa versus temperatur



Gambar 4 Viskositas versus temperatur

Apabila kita membutuhkan perhitungan yang lebih tepat, maka perhitungan rapat massa dan viskositas untuk air hanya berdasarkan suhu saja menjadi kurang akurat. REFPROP telah membuat sebuah database perhitungan rapat massa dan viskositas untuk air berdasarkan informasi temperatur dan tekanan secara lengkap. Apabila kita bandingkan hasil perhitungan diatas dengan REFPROP maka terdapat deviasi yang cukup signifikan terutama pada temperatur tinggi. Yusibani (2015) sebelumnya telah mempublikasikan referensi untuk menghitung rapat massa dan viskositas untuk beberapa gas dengan cara yang sama yakni menggunakan makro excel dengan parameter temperatur dan tekanan. Data perhitungan juga telah dibandingkan dengan REFPROP [12]. Hasil yang didapatkan cukup baik dan dapat digunakan sebagai referensi.

KESIMPULAN

Referensi sifat sifat dasar fisika dari air telah dibuat berbentuk *user-defined functions* di dalam MS Excel. Referensi sifat-sifat dasar yang telah

dibuat adalah rapat massa dan viskositas fungsi temperatur pada tekanan konstant (1 atm).

REFERENSI

1. Fredlund, D. G., Rahardjo, H., Fredlund, M. D. 2012. *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
2. Kell, G.S., 1975. Density, Thermal Expansivity, and Compressibility of Liquid Water from 0 to 150°C. *Journal of Chemical and Engineering Data*. Vol. 20. No. 1: 97-105
3. Kestin, J., Sokolov, M., Wakeham, W. A. 1978. Viscosity of Liquid Water in the Range - 8°C to 150°C. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. Vol. 7 No. 3. 941-948.
4. Lemmon, E W., Huber, M. L., McLinden, M. O. 2013. *NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties*. Maryland.
5. Patterson, J. B., Morris, E. C. 1994. *Measurement of Absolute Water Density, 1°C to 40°C*. *Metrologia*. No. 31: 277-288.
6. Qiao, Y., Zhiguo, D., Youguang, M., Peisheng, M., Shuqian, X. 2010. *Viscosities of Pure Water, Acetic Acid + Water, and p-Xylene + Acetic Acid + Water at Different Temperature and Pressure*. *Chin. J. Chem. Eng.* Vol 18. No 3.446-454
7. Sengers, J. V., Kamgar-Parsi, B. 1984. *Representative Equation for the Viscosity of Water Substance*. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. Vol 13. No 1:185-205.
8. Tegeler, Ch., Span, R., Wagner, W. 1999. *A New Equation of State for Argon Covering the Fluid Region for Temperatures from the Melting Line to 700 K at Pressures up to 1000 MPa*. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. Vol. 28 No. 3:779-850.
9. Wagner, W., Pruss, A. 2002. *The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use*. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. Vol 31. No 2 : 387-535.
10. Watson, J. T. R., Basu, R. S. Sengers, J. V. 1980. *An Improved Representative Equation for the Dynamic Viscosity of Water Substance*. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. Vol. 9 No. 4: 1255-1290.
11. Qiao, Y., Zhiguo, D., Youguang, M., Peisheng, M., Shuqian, X. 2010. *Viscosities of Pure Water, Acetic Acid + Water, and p-Xylene + Acetic Acid + Water at Different Temperature and Pressure*. *Chin. J. Chem. Eng.* Vol 18. No 3.446-454
12. E. Yusibani, 2015, *Reference on Thermophysical Properties: Density and Viscosity of Several Gases by Using Macro Excel (RSSDFIUSK vs. 1)*. *Jurnal Natural* Vol. 15 No. 1:10-15