



Reference on Thermophysical Properties: Density and Viscosity of Several Gases by Using Macro Excel (RSSDFIUSK vs. 1)

Elin Yusibani*

Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala
Jln. T. Nyak Arief Darussalam - Banda Aceh, 23111
*e-mail: e_yusibani@unsyiah.ac.id

Abstract. A source code for calculating reference on thermophysical properties: density and viscosity for several gases (nitrogen, helium, hydrogen, argon and air) has been developed under Visual Basic for Applications (VBA) programming in MS Excel (as a macros). Selected density and viscosity equations have been chosen as a basic equation in the VBA programming as a user-defined function. This macro is very useful for engineers and researchers due to enhance their experimental and/or theoretical studies.

Keywords: macro, source code, density, viscosity, nitrogen, helium, hydrogen, argon, air, VBA.

I. PENDAHULUAN

Referensi sifat-sifat dasar fisika (*Thermophysical Properties*) yang tepat dan akurat sangatlah penting untuk mengukur respon dari sebuah sistem yang telah dirancang berdasarkan simulasi sifat panas dan mekanik. Referensi sifat-sifat dasar fisika tersebut dari segi sifat termodinamika berguna untuk dapat menggambarkan perubahan sistem dari keadaan awal menuju keadaan akhir, ataupun sifat *transport phenomena* yang menggambarkan aliran panas atau aliran material menuju pada keadaan setimbang [1].

Seiring dengan berkembangnya perindustrian di Indonesia, dan demi menyongsong kemajuan perindustrian Indonesia yang mandiri, maka perlu dipersiapkan sebuah referensi yang bisa menghitung sifat-sifat dasar fisika secara mudah, cepat dan murah sebagai informasi bagi para ilmuwan dan pelaku industri dalam mengolah data/mendesain sistem yang diinginkan seefektif, efisien dan seakurat mungkin. Penyajian referensi sifat-sifat dasar fisika dalam bentuk aplikasi program MS Excel sebagai *user-defined functions* memungkinkan bagi user untuk langsung dapat mengaplikasikan dalam pengolahan data di dalam seri eksperimen/perhitungan yang sedang berlangsung.

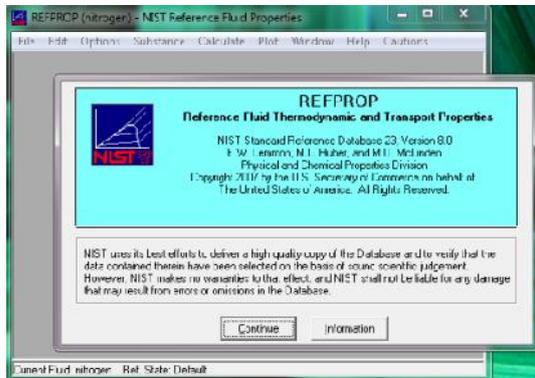
Sebagai langkah awal, penulis akan menyediakan sebuah referensi berupa rapat massa (termodinamika) dan viskositas (*transport*

phenomena). Sebagai keberlanjutannya, referensi tersebut diharapkan akan dikembangkan lagi dengan sifat-sifat dasar yang lainnya sehingga menjadi sebuah referensi yang lengkap berbahasa Indonesia yang berguna bagi mahasiswa Unsyiah pada khususnya dan user seluruh Indonesia pada umumnya.

Salah satu rujukan pembuatan referensi ini adalah REFPROP (*Reference properties*), sebuah referensi komersial yang telah berhasil dikeluarkan oleh NIST (*National Institute Standard and Technology*) dari USA, yang telah berkembang saat ini sampai dengan versi 9 (Gambar 1) [2]. Rujukan lain adalah referensi yang dibuat oleh AIST Kyushu Hydrogenius Jepang, yang mana telah mengembangkan referensi *thermophysical properties* terkhususkan untuk gas hidrogen sebagai pendukung dalam desain dan operasional komersialisasi mobil berbahan bakar gas hidrogen [3] (Gambar 2).

Di dalam program referensi tersebut (NIST dan AIST-Hydrogenius), sifat-sifat dasar fisika termodinamika ataupun *transport phenomena* dari sebuah atom/senyawa dapat diprediksi secara ekstrapolasi ataupun interpolasi berdasarkan persamaan empirik ataupun teoritik. Hal tersebut sangat berguna untuk meningkatkan nilai efektifitas dan efisiensi dalam mendesain sebuah sistem. Sifat-sifat dasar fisika tersebut diantaranya berupa: rapat massa, viskositas, konduktivitas

panas, termal diffusiviti, titik embun, solubilitas, entropi, entalpi dan sebagainya.

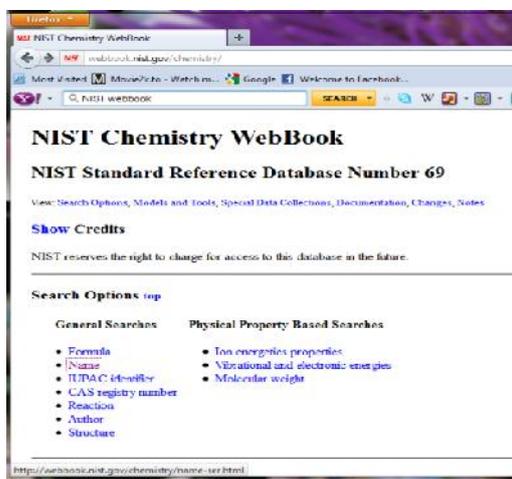


Gambar 1. REFPROP dikembangkan oleh NIST, USA



Gambar 2. All in 1 CD hydrogen database yang telah dikembangkan oleh AIST- Hydrogenius Japan. Dalam CD tersebut telah memuat referensi sifat-sifat dasar fisika dari gas hidrogen secara lengkap.

Sebagai contoh versi *free-online* milik NIST, telah di upload dan bisa di akses melalui alamat web sebagai berikut: <http://webbook.nist.gov> (Gambar 3).



Gambar 3. NIST webbook yang dapat diakses secara gratis via internet

Sebagai proyek awal di lingkungan FMIPA FISIKA Unsyiah, referensi sifat-sifat dasar fisika yang dikembangkan diberi nama RSSDFIUSK versi 1. Referensi ini memuat hasil prediksi rapat massa dan viskositas dari gas nitrogen, argon, helium, hidrogen dan udara pada jangkauan temperatur dan tekanan tertentu. Referensi ini dituangkan dalam bentuk aplikasi program MS Excel sehingga diharapkan menjadi sebuah referensi yang *user-friendly* bagi ilmuwan dan pelaku industri. MS Excel merupakan program produk microsoft yang telah dikenal secara luas. Dengan menggunakan referensi ini, user nantinya dapat memprediksi besarnya rapat massa dan viskositas berdasarkan temperatur dan tekanan yang kita inginkan sebagai input.

II. METODOLOGI PENELITIAN

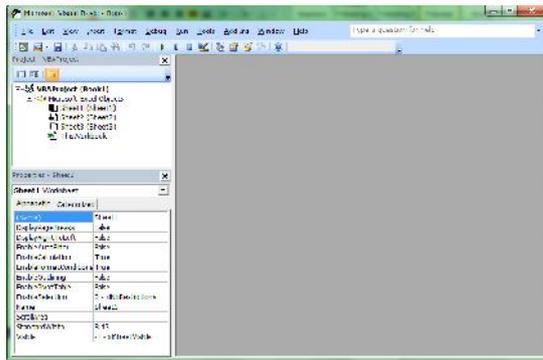
2.1 Persamaan Matematika

Rapat massa dan viskositas gas yang diprediksi di dalam referensi ini dihitung berdasarkan persamaan matematika. Persamaan matematika yang digunakan dalam pemrograman ini dipilih dari beberapa referensi yang telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal ternama. Persamaan yang digunakan memiliki tingkat keakuratan paling baik berdasarkan pada hasil eksperimen yang juga telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal ternama.

2.2 Macros

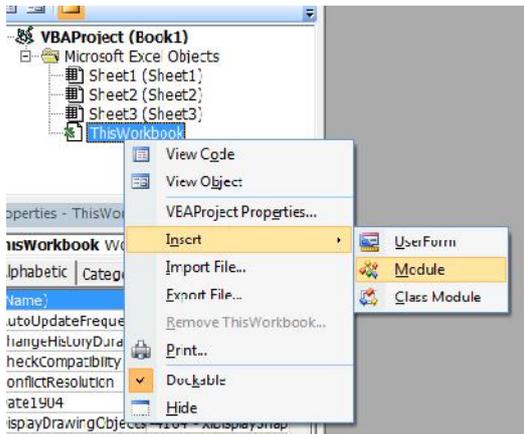
MS Excel dibuat berdasarkan bahasa pemrograman Visual Basic (VBA = *Visual Basic for Applications*) diantara kelebihanannya adalah kita bisa menambahkan sendiri modul berupa *subroutines* atau *functions* yang dapat langsung dieksekusi. Di dalam MS Excel kita mengenal istilah *user-defined functions*, ini merupakan *function (source code)* yang dibuat khusus oleh user menggunakan bahasa pemrograman VBA dikarenakan kebutuhan perhitungan yang belum dibuat sebelumnya di dalam modul Excel (*build-in functions*), yang nantinya MS Excel akan mengenalnya sebagai *macros* [4]. *Source code* tersebut nantinya bisa langsung dapat digunakan atau di konversikan dalam bahasa pemrograman lain sesuai yang user inginkan (diluar MS Excel).

Di dalam aplikasinya, kita seringkali harus terlebih dahulu mengaktifkan macro ini di dalam MS Excel agar dikenali oleh MS Excel sehingga program yang telah kita buat tidak dianggap sebagai virus (enable macro) oleh MS Excel. Untuk penulisan *source code* macro tersebut, kita dapat langsung menggunakan program MS Excel sebagai layar editor dengan memilih menu *Developer/Visual Basic* (Gambar 4).

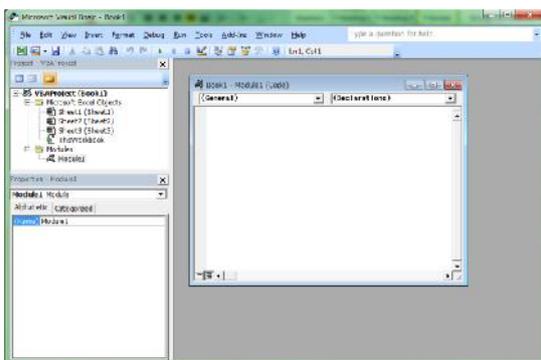


Gambar 4 Layar editor untuk penulisan source code di dalam macro Exel

Untuk memulai mengedit sebuah program yang kita inginkan maka yang harus kita lakukan adalah dengan mengklik kiri *ThisWorkbook* lalu pilih *Insert* dan *Module* (Gambar 5), sehingga akan muncul layar editor seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 5 Langkah-langkah untuk memulai mengedit didalam macro Exel



Gambar 6 Layar editor didalam macro Exel

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Referensi sifat-sifat dasar fisika berupa rapat massa dan viskositas dari hidrogen, nitrogen, helium, argon dan udara telah dibuat seperti yang terdapat didalam Gambar 7 dan 8 sebagai contoh. Gambar 7 menunjukkan hasil perhitungan rapat massa dari

unsur gas helium (kolom C) menggunakan macro **RssdRmHe(A,B)** dan Gambar 8 menunjukkan hasil perhitungan viskositas molekul gas hidrogen (kolom D) menggunakan macro **RssdVH2(A,B)**. Sebagai input yang harus di masukkan oleh user berdasarkan persamaan matematika adalah tekanan (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 (Pa.s).

	A	B	C	D
1	Helium			
2	P (MPa)	T (C)	Rapat Massa (kg/m3)	viskositas (Pa.s)
3	0.7119	20	1.550	1.97506E-06
4	0.4001	20	0.6500	1.97406E-06
5	0.111	20	0.1544	1.97409E-06

Gambar 7 Perhitungan rapat massa gas helium di dalam MS Excel

	A	E	C	D	E
34	Hydrogen				
35	P (MPa)	T (C)	Rapat Massa (kg/m3)	viskositas (Pa.s)	
36	0.7006	20	0.074011662	0.07400E-06	
37	0.4075	20	0.032874666	0.06929E-06	
38	0.0969	20	0.001792766	0.06110E-06	

Gambar 8 Perhitungan viskositas untuk gas hidrogen didalam MS Excel

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

```
Function RssdRmHe(PMPa As Double, TC As Double)
' menghitung helium (gas) rapat massa dalam satuan SI
```

```
Dim rhoguess As Double, Pcheck As Double
Dim moleMass As Double, Rgas As Double
Dim i As Integer
```

```
moleMass = 4.002602 'g/mol
Rgas = 0.00831431
```

```
rhoguess = PMPa * moleMass / (Rgas * (TC + 273.15))
If (PMPa < 0.000000001) Then
    rhoguess = 0#
Else
    For i = 1 To 100
```

```

Pcheck = HeMPa(rhoguess, TC)
rhoguess = rhoguess * PMPa / Pcheck
If (Abs(PMPa / Pcheck - 1) <
0.0000000001)
Then GoTo 20
Next i
End If

20 RssdRmHe = rhoguess

End Function
    
```

Nama dari *function* yang telah dibuat adalah **RssdRmHe** dengan input tekanan dan temperatur, ...*(P,T)*. Dengan memanggil *function* tersebut di dalam MS Excel, maka persamaan matematika yang telah dituliskan kedalam sebuah macro di atas akan tereksekusi. Hal ini berlaku untuk unsur-unsur lainnya dengan persamaan matematika masing-masing yang diambil dari referensi seperti yang terlihat di dalam Tabel 1 dan 2. Jangkauan (*range*) dan tingkat kepercayaan (*uncertainty*) dari persamaan matematika sifat-sifat dasar fisika dari berbagai gas 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.

Tabel 1. Referensi Rapat massa

Nama Gas/ Referensi	Jangkauan (T, K/ P,MPa)	Ketidakpastian (%)
Hydrogen [5]	T: 14-1000 P: 0.1-2000	±1.5 (3MPa) 5 (1 MPa) 0.9 (100 K, 100 MPa),
Helium [6]	T:0.8-1500 P:0.1-2000	0.1 s.d. 3
Nitrogen[7]	T: 63-1000 P:0.1- 2200	0.02 (30 MPa) 0.6 (P>30MPa) 0.01 (T: 270-350, P<12MPa)
Argon[8]	T: 84-700 P: 0.1-1000	±0.02 (P>12MPa T>340K) ±0.03 (235K<T<520K, P>30 MPa) ±0.02 (90<T< 450 K)

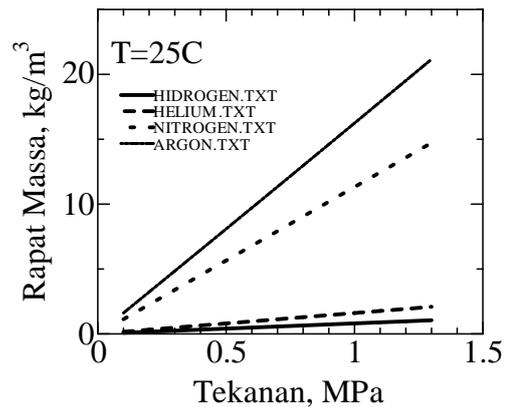
Gambar 9 menunjukkan contoh hasil perhitungan rapat massa dan Gambar 10 untuk viskositas pada kondisi isothermal ($T = 25\text{ C}$) dari berbagai gas menggunakan referensi RSSDFIUSK ver. 1 dari tekanan 0.1 menuju 1.3 MPa. Kita dapat memilih apakah kondisi perhitungan referensi yang akan kita buat adalah sebuah isothermal (kesamaan temperatur) ataupun isobar (kesamaan tekanan). Dengan variabel sumbu x akan menyesuaikan berdasarkan kondisi termodinamika yang telah kita pilih.

Untuk kasus hidrogen terlihat jelas bahwa unsur ini memiliki rapat massa teringan dibandingkan dengan gas yang lain dan diikuti oleh helium, nitrogen dan argon. Hidrogen juga terlihat

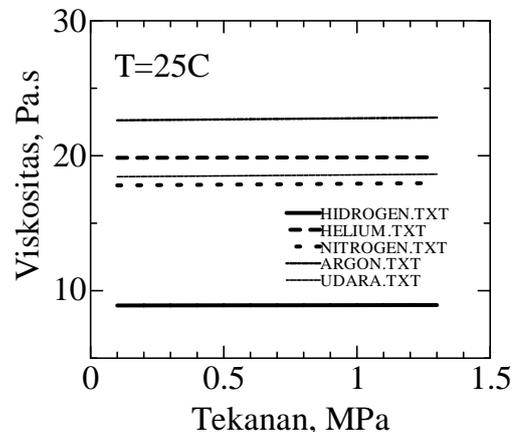
memiliki nilai kekentalan yang paling rendah disusul dengan helium. Nitrogen dan udara memiliki nilai kekentalan yang hampir sama dan argon memiliki nilai kekentalan tertinggi untuk tekanan dibawah 1.3 MPa, 25C..

Tabel 2. Referensi Viskositas

Nama Gas/ Referensi	Jangkauan (T, K/P,MPa)	Ketidakpastian (%)
Hydrogen [9]	T:40-2130, P:0.1 T:100-990 , P: 0.1-220	2-4
Helium[6]	T:0.8-1500 P:0.1-2000	2.5 (T:100-300) 10 (T>300)
Nitrogen[10]	T: 0-1000 P:0.1-100	2
Argon[10]	T: 0-1000 P:0.1-100	2
Udara[10]	T: 0-1000 P:0.1-100	5



Gambar 9 Rapat massa versus tekanan



Gambar 10 Viskositas versus tekanan

Namun secara umum tekanan dari 0.1 sampai 1.3 MPa tidak merubah kekentalan pada sebuah fluida seperti tampak pada Gambar 10 meskipun rapat massanya menaik. Perhitungan referensi ini juga telah dibandingkan dengan REFPROP seperti yang tampak pada lampiran. Secara umum hasil perhitungan RSSDFIUSK ini memiliki nilai yang sama dengan perhitungan REFPROP. Salah satu penyebab perbedaan perhitungan disebabkan oleh perbedaan pemilihan persamaan matematika yang digunakan sebagai dasar pembuatan macro dan presisi dari perhitungan.

KESIMPULAN

Referensi sifat-sifat dasar fisika dari berbagai gas (RSSDFIUSK) telah dibuat berbentuk *user-defined functions* di dalam MS Excel. Referensi sifat-sifat dasar yang telah dibuat adalah rapat massa dan viskositas dari hidrogen, helium, argon, nitrogen dan udara. Referensi ini dibuat demi memudahkan ilmuwan dan pelaku industri untuk mendesain sebuah sistem yang lebih efektif dan efisien..

REFERENSI

1. J.V. Sengers and M. Klein (Eds.), 1979, *The Technological Importance of Accurate Thermophysical Property Information*. Proc. of Session of Winter Annual Meeting of ASME, New York, December 6, NBSSP 590
2. E.W. Lemmon, M.L. Huber and M.O. McLinden, 2007, *NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP): Ver. 8*
3. S. Momoki, O. Jambal, T. Yamaguchi, R. Akasaka, Y. Takata, 2010, *An Application of Hydrogen Thermophysical Properties Database "All in One Live CD"*, Int. J. Thermophys. Vol. 31(111-12), pp. 2394-2401
4. B.V. Liengme, 2000, *A Guide to Microsoft Excel 2002 for scientists and Engineers*, 3rd ed. Chap. 8, Elsevier, Canada
5. J.W. Leachman, *Fundamental Equations of State for Parahydrogen, Normal Hydrogen, and Orthohydrogen*, Tesis Master, University of Idaho (2007) and have been published in J.W. Leachman, R.T. Jacobsen, S.G. Penoncello, E.W. Lemmon, 2009, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol.38, pp. 721
6. R.D. Mc Carty and V.D. Arp, 1989, *Thermophysical Properties of Helium 4 from 0.8 to 1500K with Pressures to 2000 MPa*, NIST technical note 1334
7. R. Span, E.W. Lemmon, R.T. Jacobsen, W. Wagner, A. Yokozeki, 2000, *A Reference Equation of State for the Thermodynamic Properties of Nitrogen for Temperatures from*

8. C.H. Tegeler, R. Span and W. Wagner, 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, pp. 779
9. E. Yusibani, P.L. Woodfield, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata, M. Fujii, 2010, *Prediction of Hydrogen Gas Viscosity at High Pressure and High Temperature*, *Jpn. J. Thermophys. Prop.*, Vol. 24, pp. 21
10. E.W. Lemmon and R.T. Jacobsen, 2004, *Viscosity and Thermal Conductivity Equations for Nitrogen, Oxygen, Argon, and Air*, *Int. J. Thermophys.*, Vol. 25, pp. 21

LAMPIRAN

Database perhitungan hasil RSSDFIUSK ver. 1 dengan REFPROP ver.6

Helium				
P (MPa)	Rapat Massa (Kgm3)	Viskositas (Pas)	REFPROP	
			Rapat massa	Viskositas
0.1	0.161	19.846	0.161	19.846
0.2	0.323	19.849	0.323	19.849
0.3	0.484	19.853	0.484	19.853
0.4	0.645	19.856	0.645	19.856
0.5	0.805	19.860	0.805	19.860
0.6	0.966	19.863	0.966	19.863
0.7	1.127	19.867	1.127	19.867
0.8	1.287	19.870	1.287	19.870
0.9	1.447	19.874	1.447	19.874
1.0	1.607	19.877	1.607	19.877
1.1	1.767	19.881	1.767	19.881
1.2	1.927	19.884	1.927	19.884
1.3	2.087	19.888	2.087	19.888

Argon				
P (MPa)	Rapat Massa (Kgm3)	Viskositas (Pas)	REFPROP	
			Rapat massa	Viskositas
0.1	1.613	22.624	1.612	22.624
0.2	3.228	22.640	3.227	22.641
0.3	4.846	22.657	4.843	22.658
0.4	6.467	22.674	6.462	22.675
0.5	8.090	22.691	8.082	22.693
0.6	9.715	22.708	9.705	22.711
0.7	11.343	22.725	11.329	22.729
0.8	12.974	22.743	12.956	22.748
0.9	14.607	22.760	14.584	22.766

*Reference on Thermophysical Properties: Density and Viscosity of Several Gasses
by Using MS Excel (RSSDFIUSK vs. 1)
(Elin Yusibani)*

1	16.242	22.777	16.214	22.785
1.1	17.880	22.795	17.846	22.804
1.2	19.521	22.812	19.481	22.824
1.3	21.164	22.830	21.117	22.843

0.7	18.537	8.194	18.583
0.8	18.552	9.367	18.599
0.9	18.568	10.540	18.615
1	18.583	11.715	18.631
1.1	18.599	12.889	18.647
1.2	18.615	14.065	18.664
1.3	18.631	15.241	18.681

Nitrogen				
P (MPa)	Rapat Massa (Kgm ³)	Viskositas (Pas)	REFPROP	
			Rapat massa	Viskositas
0.1	1.130	17.805	1.130	17.805
0.2	2.261	17.818	2.261	17.818
0.3	3.392	17.831	3.392	17.831
0.4	4.524	17.844	4.524	17.844
0.5	5.656	17.858	5.656	17.858
0.6	6.788	17.872	6.788	17.872
0.7	7.920	17.886	7.920	17.886
0.8	9.053	17.900	9.053	17.900
0.9	10.187	17.914	10.187	17.914
1	11.320	17.929	11.320	17.929
1.1	12.454	17.944	12.454	17.944
1.2	13.588	17.959	13.588	17.959
1.3	14.723	17.974	14.723	17.974

khusus untuk perhitungan udara, rapat massa menggunakan data REFPROP dikarenakan belum tersedia didalam versi ini.

Hidrogen				
P (MPa)	Rapat Massa (Kgm ³)	Viskositas (Pas)	REFPROP	
			Rapat massa	Viskositas
0.1	0.081	8.904	0.081	8.915
0.2	0.162	8.907	0.162	8.918
0.3	0.244	8.909	0.244	8.920
0.4	0.325	8.912	0.325	8.923
0.5	0.405	8.914	0.405	8.925
0.6	0.486	8.917	0.486	8.927
0.7	0.567	8.919	0.567	8.930
0.8	0.648	8.921	0.648	8.932
0.9	0.728	8.924	0.728	8.935
1	0.808	8.926	0.808	8.937
1.1	0.889	8.929	0.889	8.939
1.2	0.969	8.931	0.969	8.942
1.3	1.049	8.933	1.049	8.944

Udara			
P (MPa)	Viskositas (Pas)	REFPROP	
		Rapat massa	Viskositas
0.1	18.448	1.169	18.490
0.2	18.462	2.338	18.505
0.3	18.477	3.508	18.520
0.4	18.492	4.678	18.536
0.5	18.506	5.849	18.551
0.6	18.521	7.021	18.567