

KAJIAN PERSAMAAN TERMODINAMIKA DARI SONG DAN MASON PADA ARGON DIBANDINGKAN DENGAN PERSAMAAN TERMODINAMIKA GAS IDEAL, BEATTIE-BRIDGEMAN DAN VAN DER WAALS

YOLANDA J. LEWERISSA

Jurusan Teknik Mesin
Program Studi Diploma IV Teknik Mesin
Politeknik Saint Paul Sorong
Email : ruselloanz@yahoo.co.id

ABSTRAK

Analisis ini dilakukan untuk mengkaji secara teoritis besaran termodinamika P-V-T dari persamaan keadaan menurut Song dan Mason pada zat Argon dibandingkan dengan tiga persamaan keadaan yang sudah lazim digunakan yaitu persamaan gas ideal, persamaan Beattie Bridgeman dan persamaan Van der Waals. Kajian dilakukan secara teoritis dengan cara melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai P-V-T untuk masing-masing persamaan dengan terlebih dahulu mengasumsi besaran-besaran yang diketahui. Hasil perhitungan memperlihatkan hasil yang mendekati kesamaan, hal ini menunjukkan bahwa persamaan keadaan analitis Song dan Mason untuk Molekul Cairan Convex Argon memiliki hubungan yang sama dengan ketiga persamaan keadaan lainnya dalam Termodinamika yang sudah lazim digunakan yaitu persamaan gas ideal, persamaan keadaan Beattie-Bridgeman dan persamaan keadaan Van der Waals. Namun persamaan tersebut tidak dapat digunakan untuk menentukan besaran volume, karena persamaannya tidak menunjukkan adanya besaran volume. Persamaan inipun hanya dapat digunakan untuk gas yang memiliki nilai-nilai konstanta sesuai jenis gas dalam penggunaannya.

Kata Kunci : Termodinamika, Argon, Gas Ideal

ABSTRACT

This analysis was conducted to examine the theoretical magnitude of P-V-T thermodynamics from the equation according to Song and Mason in the Argon substance compared with the three commonly used equations of the ideal gas equation, the Beattie Bridgeman equation and the Van der Waals equation. Studies are conducted theoretically by conducting calculations to obtain P-V-T values for each equation by first assuming known magnitudes. The results of the calculations show close-up results, this suggests that the equation of the analytical state of Song and Mason for Convex Argon fluid molecule has the same relationship with the three other similarities in the commonly used thermodynamics i.e. the ideal gas equation, the Beattie-Bridgeman equation of state and the Van der Waals state equation. However, the equation cannot be used to determine the volume magnitude, because the similarity does not indicate the volume magnitude. Program equation can only be used for gas that has a constant values according to the type of gas in its use.

Keywords: thermodynamics, Argon, Ideal Gas

PENDAHULUAN

Sejak penemuan argon pada tahun 1893, zat ini telah menjadi subyek dari penyelidikan eksperimental dan teoritis. Meluasnya penggunaan argon dalam aplikasi ilmiah dan industri, maka muncul minat khusus pada sifat termodinamikanya. Perilaku kimia lembam dan harga pasar yang rendah mengakibatkan di udara (volume sekitar 0,934 %) menggunakan argon sebagai pelindung atmosfer dalam aplikasi

industri, misalnya sebagai perisai lembam-gas untuk las busur dan cuttingor sebagai pelindung untuk produksi titanium dan unsur reaktif lainnya.

Sudut pandang termodinamika yang penting dari argon terletak pada kesederhanaan molukel. Saat molukel adalah monoatomik, nonpolar dan benar-benar bulat, cairan argon umumnya digunakan sebagai referensi menguji pendekatan molukeler untuk memprediksi sifat termodinamika dan untuk mengkalibrasi data

baru untuk pengukuran termodinamika. Untuk semua aplikasi ini, pengetahuan tentang sifat termodinamika argon merupakan prasyarat penting. Sebuah kompilasi sebelumnya, sifat termodinamika argon adalah tabel internasional yang diedit dan dikompilasi oleh Angus dkk. (Angus, et al. 1971). Buku ini diterbitkan pada tahun 1972 dan didasarkan pada kompilasi oleh Gosman, McCarty, dan Hust (Mozaffari and Sharabadi 2011), yang diterbitkan pada tahun 1969, dan kompilasi oleh Vasserman, Rabinovich (Mozaffari and Sharabadi 2011), dan oleh Vasserman, Kazavchinskii, dan Rabinovich (Mozaffari and Sharabadi 2011), yang diterbitkan pada masing-masing tahun 1968 dan 1966.

Korelasi oleh Stewart et al. (Stewart, et al. 1982), menggunakan persamaan mendasar berdasarkan data yang dipilih, beberapa yang diterbitkan setelah korelasi sebelumnya telah selesai. Masalah sentral dalam teori cairan adalah hubungan parameter termodinamika dalam hal gaya antarmolekul. Salah satu pendekatan yang mendasar untuk masalah ini adalah melalui perumusan persamaan akurat keadaan, karena fungsi termodinamika dapat dengan mudah diturunkan setelah persamaan keadaan dikenal. Teori-teori yang paling sukses saat ini adalah teori perturbasi berdasarkan sistim referensi yang terdiri dari tubuh keras (*hard body*) (Gray and Gubbins 1984) yang analog dengan teori perturbasi cairan sederhana berdasarkan bola keras (*hard sphere*). Karya terbaru oleh Song dan Mason pada teori statistik-mekanik untuk persamaan keadaan cairan telah menghasilkan hasil yang sederhana namun sangat akurat untuk bola dan molekul cairan (Mozaffari and Sharabadi 2011). Tiga parameter yang tergantung suhu dimunculkan dalam perumusan mereka yaitu : koefisien virial kedua, diameter bola keras efektif, dan faktor skala untuk fungsi distribusi pasangan pada kontak. Tiga parameter ini dapat dihitung dari potensi antarmolekul. Keseluruhan penjelasan ini bersumber dari penelitian Farkhondeh Mozaffari dan Zahra Zare Sharabadi. (Mozaffari and Sharabadi 2011)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji persamaan tersebut dengan tiga jenis persamaan keadaan yang sudah ada sebelumnya dan lazim digunakan yaitu persamaan keadaan gas ideal, persamaan keadaan Van der Waals dan persamaan keadaan Beattie Bridgeman untuk penentuan Tekanan, Temperatur dan Volume (P-V-T) dari Argon. (Arif 2011)

KAJIAN PUSTAKA

Argon memiliki sifat-sifat tertentu seperti dapat dilihat pada beberapa tabel.

Tabel 1. Keterangan Umum Unsur Argon

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor atom	argon, Ar, 18
Deret kimia	gas mulia
Golongan, Periode, Blok	18, 3, p
Penampilan	tak berwarna
Massa atom	39,948(1) g/mol
Konfigurasi elektron	[Ne] 3s ² 3p ⁶
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8, 8

Tabel 2. Ciri-ciri Fisik Argon

Ciri-ciri fisik															
Fase	gas														
Massa jenis	(0 °C; 101,325 kPa) 1,784 g/L														
Titik lebur	83,80 K (-189,35 °C, -308,83 °F)														
Titik didih	87,30 K (-185,85 °C, -302,53 °F)														
Kalor peleburan	1,18 kJ/mol														
Kalor penguapan	6,43 kJ/mol														
Kapasitas kalor	(25 °C) 20,786 J/(mol·K)														
Tekanan uap															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>P/Pa</th> <th>1</th> <th>10</th> <th>100</th> <th>1 k</th> <th>10 k</th> <th>100 k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pada T/K</td> <td>47</td> <td>53</td> <td>61</td> <td>71</td> <td>87</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	P/Pa	1	10	100	1 k	10 k	100 k	pada T/K	47	53	61	71	87	
P/Pa	1	10	100	1 k	10 k	100 k									
pada T/K	47	53	61	71	87										

Tabel 3. Ciri-ciri Atom Argon

Ciri-ciri atom	
Struktur kristal	kubus pusat muka
Bilangan oksidasi	0
Elektronegativitas	data tak tersedia (skala Pauling)
Energi ionisasi	pertama: 1520,6 kJ/mol ke-2: 2665,8 kJ/mol ke-3: 3931 kJ/mol
Jari-jari atom	71 pm
Jari-jari atom (terhitung)	71 pm
Jari-jari kovalen	97 pm
Jari-jari Van der Waals	188 pm

Tabel 4. Sifat-sifat Lain dari Argon

Lain-lain					
Sifat magnetik		nonmagnetik			
Konduktivitas termal		(300 K) 17,72 mW/(m·K)			
Kecepatan suara		(gas, 27 °C) 323 m/s			
Isotop					
iso	NA	waktu paruh	DM	DE (MeV)	DP
³⁶ Ar	0,337%	Ar stabil dengan 18 neutron			
³⁷ Ar	syn	35 hari	ε	?	³⁷ Cl
³⁸ Ar	0,063%	Ar stabil dengan 20 neutron			
³⁹ Ar	syn	269 tahun	β ⁻	0,565	³⁹ K
⁴⁰ Ar	99,600%	Ar stabil dengan 22 neutron			
⁴² Ar	syn	32,9 tahun	β ⁻	0,600	⁴² K

Song dan Mason memperoleh persamaan analitis keadaan untuk *convex-molucule fluids* berdasarkan statistik mekanis teori perturbasi, yaitu :

$$\frac{P}{\rho kT} = 1 + B_2(T)\rho + \alpha(T)\rho[G(\eta) - 1] \quad (1)$$

di mana,

$$G(\eta) = \frac{1-\gamma_1\eta+\gamma_2\eta^2}{(1-\eta)^3} \quad (2)$$

γ_1 dan γ_2 dipilih untuk menghasilkan koefisien virial ketiga dan keempat dari body:

$$\gamma_1 = 3 - \frac{1+6\gamma+3\gamma^2}{1+3\gamma} \quad (3)$$

dan

$$\gamma_2 = 3 - \frac{2+2,64\gamma+7\gamma^2}{1+3\gamma} \quad (4)$$

η = packing fraction

$$\eta = \frac{b\rho}{1+3\gamma} \quad (5)$$

b adalah *van der waals covolume* yang didefinisikan dalam α sebagai

$$b = \alpha + T \frac{d\alpha}{dT} \quad (6)$$

dan dijabarkan lagi oleh Lennard-Jones menjadi :

$$b(T) = \frac{2\pi}{3} N_A \sigma_{HS}^3 = \frac{2\pi}{3} N_A \sigma^3 \left[\frac{2}{1+(\xi/\beta\varepsilon)^{0,5}} \right]^{0,5} \quad (7)$$

dengan,

$$\beta = 1/k_B.T \quad (8)$$

dan

$B_2(T)$ = koefisien virial kedua (m³/mol)

$$B_2(T) = 2\pi N_A \int_0^\infty (1 - e^{-u/kT}) r^2 dr \quad (9)$$

Persamaan ini disamakan dengan persamaan Lennard-Jones [12-6] sebagai berikut :

$$B_2(T) = 2\pi N_A \int_0^\infty [1 - e^{-\phi(r)/kT}] r^2 dr \quad (10)$$

Persamaan ini diturunkan hingga dapat diaplikasi untuk perhitungan dengan cara :

$$B^*(T^*) = \frac{B(T)}{b_0} \quad (11)$$

dan

$$b_0 = \frac{2\pi}{3} N_A \sigma^3 \quad (12)$$

$B^*(T^*)$ diperoleh dari tabel (Lampiran B) dengan mengetahui nilai T^*

$$T^* = \frac{kT}{\varepsilon} \quad (13)$$

Jadi, $B_2(T)$ dapat diperoleh sebagai berikut :

$$B_2(T) = B^*(T^*) \frac{2\pi}{3} N_A \sigma^3 \quad (14)$$

$\alpha(T)$ = parameter yang merupakan kontribusi dari sepasang potensial untuk koefisien virial kedua (m³/mol)

$$\alpha(T) = (B_2(T) - b(T)) = \frac{\alpha_1}{T} + \frac{\alpha_2}{T} + \frac{\alpha_3}{T} + \dots \quad (15)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa secara teoritis perhitungan dengan menggunakan empat persamaan keadaan yaitu : persamaan analitis keadaan untuk *convex-molucule fluids* berdasarkan statistik mekanis teori perturbasi, persamaan keadaan gas ideal, persamaan keadaan *Van der Waals* dan persamaan keadaan *Beattie Bridgeman* untuk Argon dengan pendekatan untuk mengetahui nilai Tekanan, temperatur dan volume. Analisis ini memerlukan beberapa besaran tertentu yang diasumsi untuk menunjang perhitungan.

PEMBAHASAN

Analisis diawali dengan mengasumsi beberapa besaran diantaranya :

1. Penentuan Tekanan

Asumsi :

Tiga kilogram Argon berada di dalam sebuah tangki dengan volume 0,2 m³ dan temperaturnya 250 K.

2. Penentuan Temperatur

Asumsi :

Tiga kilogram Argon berada di dalam sebuah tangki dengan volume 0,2 m³ dan tekanannya 0,744 MPa.

3. Penentuan Volume

Asumsi :

Tiga kilogram Argon berada di dalam sebuah tangki. Tekanan 0,744 MPa dan temperatur 250 K.

Analisis perhitungan dilakukan untuk masing-masing besaran yang ditentukan dengan menggunakan empat persamaan berturut-turut yaitu :

1. Persamaan analitis keadaan untuk *convex-molucule fluids* berdasarkan statistik mekanis teori perturbasi (Song dan Mason)
2. Persamaan keadaan gas ideal
3. Persamaan keadaan *Van der Waals*
4. Persamaan Keadaan *Beattie Bridgeman*

Penentuan Tekanan

Persamaan analitis keadaan untuk convex-molucule fluids berdasarkan statistik mekanis teori perturbasi (Song dan Mason)

Persamaan yang digunakan :

$$\frac{P}{\rho kT} = 1 + B_2(T)\rho + \alpha(T)\rho[G(\eta) - 1]$$

Dengan,

$$* G(\eta) = \frac{1-\gamma_1\eta+\gamma_2\eta^2}{(1-\eta)^3}$$

Parameter yang perlu dihitung, di mana $\gamma = 1$ untuk argon

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 3 - \frac{1+6\gamma+3\gamma^2}{1+3\gamma} \\ &= 3 - \frac{1+(6x1)+(3x1^2)}{1+(3x1)} = 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= 3 - \frac{1+2,64\gamma+7\gamma^2}{1+3\gamma} \\ &= 3 - \frac{1 + (2,64x1) + (7x1^2)}{1 + (3x1)} = 0,09 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{b\rho}{1+3\gamma}$$

$$b(T) = \frac{2\pi}{3} N_A \sigma_{HS}^3 = \frac{2\pi}{3} N_A \sigma^3 \left[\frac{2}{1 + (\xi/\beta\varepsilon)^{0,5}} \right]^{0,5}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 1/k_B \cdot T = \frac{1}{(1,3807x10^{-23} J/K)(250K)} \\ &= 2,89708 x 10^{20} /J \end{aligned}$$

Untuk argon $\varepsilon/k = 119 K$ dengan $k = 1,67$

maka

$$\varepsilon = 119 x 1,67 = 198,73 K$$

$$\sigma = 3,41 x 10^{-10} m$$

Jadi,

$$\begin{aligned} b(T) &= \frac{2x3,14}{3} (6,0221x10^{23})(3,41x10^{-10})^3 \times \\ &\left[\frac{2}{1 + \left(\frac{1}{(2,89708x10^{20})(198,73)} \right)^{0,5}} \right]^{0,5} \\ &= 7,06911 x 10^{-5} m^3/mol \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{b\rho}{1+3\gamma} = \frac{(7,06911 x 10^{-5})(1,784)}{1+(3x1)} \\ &= 3,15282 x 10^{-5} \end{aligned}$$

$$G(\eta) = \frac{1-\gamma_1\eta+\gamma_2\eta^2}{(1-\eta)^3} =$$

$$\frac{1-(0,5x3,15282x10^{-5})+(0,09x(3,15282x10^{-5})^2)}{(1-(3,15282x10^{-5}))^3}$$

$$G(\eta) = 1,00$$

$$* B_2(T) = B^*(T^*) \frac{2\pi}{3} N_A \sigma^3$$

$$\text{Diperoleh, } T^* = \frac{kT}{\varepsilon} = \frac{250}{119} = 2,1$$

Dari tabel (Lampiran) hubungan $B^*(T^*)$ dengan T^* didapat : $B^*(T^*) = -0,55467$

Maka,

$$\begin{aligned} B_2(T) &= \\ &(-0,55467) \frac{2x3,14}{3} x(6,0221x10^{23})(3,41x10^{-10})^3 \\ &= -2,77258x10^{-5} m^3/mol \end{aligned}$$

sedangkan,

$$\begin{aligned} * \alpha(T) &= (B_2(T) - b(T)) = (-2,77258x10^{-5}) - \\ &(7,06911x10^{-5}) \\ &= -9,84169x10^{-5} m^3/mol \end{aligned}$$

Harga tekanan :

$$P = [1 + (-2,77258 \times 10^{-5})1,784 + (-9,84169 \times 10^{-5})1,784(1 - 1)] \times 1,784 \times 1,67 \times 250 = 744,783 \text{ kPa}$$

Jadi harga tekanan menurut persamaan keadaan analitis untuk molukel cairan permukaan cembung (convex) adalah **744,783 kPa**

Persamaan Keadaan Gas Ideal

Persamaan yang digunakan :

$$PV = mRT$$

maka,
$$P = \frac{mRT}{V} = \frac{(3 \text{ kg})(208 \text{ J/kg.K})(250 \text{ K})}{0,2 \text{ m}^3} = 780.000 \text{ Pa} = 780 \text{ kPa}$$

Jadi harga tekanan menurut persamaan gas ideal adalah **780 kPa**.

Persamaan Keadaan Beattie Bridgeman

Perhitungan diawali dengan penentuan volume spesifik molal (v^*) sebagai berikut :

$$v^* = V \frac{M}{m} = (0,2 \text{ m}^3) \left(\frac{39,94 \text{ kg/kmol}}{3 \text{ kg}} \right) = 2,663 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

di mana M adalah massa molukel argon (39,94 kg/kmol).

Diperoleh konstanta persamaan Beattie-Bridgeman untuk Argon :

- Ao = 130,7802
- a = 0,0233
- Bo = 0,03931
- b = 0,00
- c = 5,99 x 10⁴

Persamaan yang digunakan :

$$P = \frac{R^*T(1-\varepsilon)}{v^{*2}}(v^* + B) - \frac{A}{v^{*2}}$$

Perhitungan harga Konstanta :

$$A = A_o(1 - a/v^*) = 130,7802 \left(1 - \frac{0,02328}{2,663} \right) = 129,637$$

$$B = B_o(1 - b/v^*) = 0,03931 \left(1 - \frac{0}{2,663} \right) = 0,03931$$

$$\varepsilon = c / ((v^*)(T)^3) = \frac{5,99 \times 10^4}{(2,663)(250)^3} = 0,00144$$

Harga Tekanan :

$$P = \frac{R^*T(1-\varepsilon)}{v^{*2}}(v^* + B) - \frac{A}{v^{*2}} = \frac{(8,314)(250)(1-0,00144)}{(2,663)^2}(2,663 + 0,03931) - \frac{129,637}{(2,663)^2} = 772,707 \text{ kPa}$$

Jadi harga tekanan menurut persamaan keadaan Beattie-Bridgeman adalah **772,707 kPa**.

Persamaan Keadaan Van der Waals

Perhitungan diawali dengan penentuan volume spesifik molal (v^*) sebagai berikut :

$$v^* = V \frac{M}{m} = (0,2 \text{ m}^3) \left(\frac{39,94 \text{ kg/kmol}}{3 \text{ kg}} \right) = 2,663 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

di mana M adalah massa molukel argon (39,94 kg/kmol).

Diperoleh konstanta persamaan Van der Waals untuk Argon :

$$a = 1,345 \text{ atm.l}^2/\text{mol}^2 = 136,248 \text{ kPa.m}^6/\text{kmol}^2$$

$$b = 0,0322 \text{ l/mol} = 0,0322 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

Persamaan yang digunakan :

$$\left(P + \frac{a}{v^{*2}} \right) (v^* - b) = R^*T$$

$$\left(P + \frac{a}{v^{*2}} \right) = \frac{R^*T}{(v^* - b)}$$

maka,

$$P = \frac{R^*T}{(v^* - b)} - \frac{a}{v^{*2}} = \frac{(8,314 \times 250)}{(2,663 - 0,0322)} - \frac{136,248}{(2,663)^2} = 770,85 \text{ kPa}$$

Jadi harga tekanan menurut persamaan keadaan Van der Waals adalah **770,85 kPa**.

Untuk penentuan temperatur dan penentuan volume juga menggunakan persamaan yang sama dan cara yang sama pada masing-masing persamaan keadaan. Keseluruhan hasil perhitungan terlihat pada tabel 5.

Hasil perhitungan keseluruhan pada tabel dapat dilihat pendekatan masing-masing nilai yaitu tekanan, temperatur dan volume tiap persamaan. Penentuan volume tidak dapat ditentukan dengan persamaan analitis keadaan untuk *convex-molucule fluids* berdasarkan statistik mekanis teori perturbasi, karena besaran-besaran pada persamaan tersebut tidak memperhitungkan besaran volume.

Tabel 5. Hasil Perhitungan

Jenis Perhitungan	Parameter yang Diketahui	Perhitungan	
		Jenis Persamaan	Hasil
A Tekanan	m = 3 kg V = 0.2 m ³ T = 250 K	Persamaan Keadaan Analitis Song dan Mason	744,783 kPa
		Persamaan Gas Ideal	780,000 kPa
		Persamaan Keadaan Beattie-Bridgeman	772,707 kPa
		Persamaan Van Der Waals	770,850 kPa
B Temperatur	m = 3 kg V = 0.2 m ³ P = 0,744 MPa	Persamaan Keadaan Analitis Song dan Mason	249,700 K
		Persamaan Gas Ideal	238,500 K
		Persamaan Keadaan Beattie-Bridgeman	240,610 K
		Persamaan Van Der Waals	241,500 K
C Volume	m = 3 kg T = 250 K P = 0,744 MPa	Persamaan Keadaan Analitis Song dan Mason	-
		Persamaan Gas Ideal	0,210 m ³
		Persamaan Keadaan Beattie-Bridgeman	0,207 m ³
		Persamaan Van Der Waals	0,207 m ³

Hasil perhitungan memperlihatkan hasil yang mendekati kesamaan, hal ini menunjukkan bahwa persamaan keadaan analitis Song dan Mason untuk Molekul Cairan Convex Argon memiliki hubungan yang sama dengan ketiga persamaan keadaan lainnya dalam Termodinamika yang sudah lazim digunakan yaitu persamaan gas ideal, persamaan keadaan Beattie-Bridgeman dan persamaan keadaan Van der Waals. Namun persamaan tersebut tidak dapat digunakan untuk menentukan besaran volume, karena persamaannya tidak menunjukkan adanya besaran volume. Persamaan inipun hanya dapat digunakan untuk gas yang memiliki nilai-nilai konstanta sesuai jenis gas dalam penggunaannya.

PENUTUP

Dari hasil pembahasan yang diperoleh diatas, penulis menyimpulkan bahwa :

- Pada perhitungan ini digunakan persamaan statistik mekanik untuk argon menurut Song dan Mason, di mana terdapat tiga parameter yang tergantung dari temperatur yaitu, koefisien virial kedua, volume molukel efektif dan faktor skala untuk fungsi kontak pasangan distribusi rata-rata benda cembung.
- Dibanding dengan ketiga persamaan keadaan hasil perhitungan persamaan ini juga mendekati hasil perhitungan persamaan yang lain, namun untuk perhitungan volume dalam hubungan dengan tekanan dan temperatur, persamaan ini tidak dapat digunakan karena parameter dalam persamaan ini tidak berhubungan dengan volume.

DAFTAR PUSTAKA

- Angus, S., et al. *International Thermodynamic Tables of the Fluid State, Argon*. London 1972: Butterworths, 1971.
- Arif, Effendy. *Termodinamika Teknik*. Makasar: MEMBUMI publishing, 2011.
- Gray, C, and K E Gubbins. *Theory of Molecular Fluids, Vol. I. Fundamentals*. Oxford: Oxford University Press, 1984.
- Mozaffari, Farkhondeh, and Zahra Zare Sharabadi. "Thermodynamic Properties for Argon." *Journal of Physical Chemistry and Electrochemistry Vol.1 No.3*, 2011: 139-143.
- Stewart, R B, R T Jacobsen, J H Becker, J C J Teng, and P K K Mui. "Thermodynamic Properties of Argon from the Triple Point to 1200 K with Pressures to 1000 MPa." *Proceedings of the Eighth Symposium Thermodynamic Property*. New York: Thermophysical Properties of Fluids, edited by J. V. Sengers, Vol. I, 1982. 97-113.