

**PENENTUAN JUMLAH MOL UDARA DALAM SELINDER DAN BOLA
MENGUNAKAN HUKUM BOYLE-MARIOTTE**

(Determining The Number Of Moles Of Air In Cylindrical And Spherical Using The Boyle-Mariotte Law)

MATHEUS SOUISA

*Staf Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Pattimura
Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka-Ambon*

ABSTRACT

Has done research on different container and the syringe bulb to determine the number of moles of air. If the gas or air is introduced into the syringe or bulb then the more air is forced into it. The analysis uses Boyle-Mariotte law shows that the number of moles of air in the syringe with constant temperature and number of moles of air at constant volume is a sphere with equal 0.02 mol. Thus two different media (cylindrical and spherical), giving the same number of moles. Obtaining the number of moles show that the application of Boyle-Mariotte is derived from the ideal gas law is appropriate.

Keywords: *The number of moles, cylindrical, spherical, ideal gas*

PENDAHULUAN

Termodinamika merupakan ilmu operasional, yang berhubungan dengan sifat makroskopik yang pada dasarnya dapat diukur. Ilmu ini memprediksi jenis-jenis proses kimia dan fisika yang mungkin terjadi serta menghitung secara kuantitatif sifat-sifat keadaan dari suatu materi. Sifat-sifat keadaan suatu materi yang dapat dilihat berupa suhu, tekanan, volume dan sifat keadaan ini dapat dijabarkan dalam suatu persamaan matematika yang disebut persamaan keadaan. Persamaan keadaan yang paling sederhana yaitu persamaan gas ideal (Nurbury, 2000:226). Satu jenis gas dikatakan ideal apabila gaya tarik-menarik antar molekul gas diabaikan. Dalam menganalisis sistem termodinamika, biasanya ditemukan dengan melakukan eksperimen, sehingga terlebih dahulu diperlukan pengertian mengenai sifat fisis berbagai bahan, seperti gas maupun udara.

Gas akan berbentuk sesuai dengan wadah yang ditempatinya, semakin besar massa suatu gas semakin besar pula volume dari gas tersebut. Massa suatu gas biasanya dinyatakan dalam jumlah mol. Jumlah mol suatu gas diperoleh dari besar massa total gas berbanding terbalik dengan massa molekul dari gas tersebut. Massa gas dan massa molekul gas itu berbeda kalau massa gas menyatakan ukuran zat tetapi massa molekul adalah massa yang diukur pada skala relatifnya.

Kalau gas atau udara di masukkan atau di pompa ke dalam suatu balon atau alat penyemprot (*syringe*) maka makin banyak udara yang dipaksa masuk ke dalam, makin besar balon tersebut. Hal ini berarti bahwa kalau suhu dan tekanan konstan, volume udara yang menempati ruang tertutup (*balon/syringe*) akan bertambah dengan perbandingan lurus dengan massa dari udara yang ada. Perbandingan ini dapat dibuat menjadi suatu persamaan dengan memasukkan konstanta perbandingan yang disebut jumlah mol (Giancoli, 1998 *terjemahan* Hanum, 2001:462). Dan juga kalau udara dipaksa masuk ke dalam suatu bola, berarti memberikan molekul udara lebih banyak ke dalam bola dengan volume bolanya tidak berubah (volume konstan), selanjutnya bola berisi molekul udara menempati suatu ruang yang didinginkan atau dipanaskan dengan tekanan tertentu, maka menghasilkan suatu perbandingan yang akan menghasilkan jumlah mol. Karena dari kedua kasus ini, kalau tekanan, suhu, dan volume diketahui maka jumlah udara yang dipaksa masuk ke dalam sebuah benda berbentuk selinder dalam hal ini tabung penyemprot (*syringe*) dan berbentuk bola.

Penelitian menyangkut dengan kasus mendasar telah banyak dilakukan, namun untuk mengkaji jumlah mol pada tabung untuk suhu tetap maupun mengkaji jumlah mol pada bola untuk volume tetap dengan menggunakan rumus gas ideal berdasarkan hukum Boyle-Mariotte dan rumus Gay-Lussac merupakan hal yang baru untuk diteliti

(Anonymous, 2009:3). Jumlah mol untuk kedua kasus ini dapat ditentukan secara grafik dari variasi tekanan dan volume untuk suhu konstan, dan variasi tekanan dan suhu untuk volume konstan. Penggambaran data secara grafik dilakukan dengan menggunakan *software DataStudio*. *DataStudio* dimanfaatkan untuk memplot seluruh data hasil pengamatan untuk nantinya menghasilkan suatu grafik, dan selanjutnya grafik ini di-*fitting* untuk mendapatkan garis lurus agar dapat menentukan nilai kemiringan (*slope*), selanjutnya nilai ini dijadikan untuk menentukan jumlah mol.

METODE PENELITIAN

1. Hukum Gas

Misalkan dipunyai suatu kuantitas yang tetap dari suatu gas di dalam sebuah tangki, maka dapat diubah suhu atau volume dari gas itu. Dapat ditemukan bahwa untuk sembarang gas pada massa jenis yang cukup rendah, maka tekanan p dikaitkan kepada suhu T dan volume V dengan pola spesifik. Suatu gas yang diperlakukan seperti ini dinamakan gas ideal. Dan persamaan yang mengkaitkan kuantitas ini dinamakan hukum gas ideal atau persamaan keadaan untuk gas ideal. Digunakan istilah "ideal" karena gas riil tidak mengikuti hukum gas ideal dengan tepat, terutama pada tekanan tinggi (dan massa jenis) atau ketika gas dekat dengan titik cair atau titik didih, (Giancoli, 1998 *terjemahan* Hanum 2001:463). Menurut Kane and Sternheim (1976) *terjemahan* Silaban, (1988:452), bahwa hukum gas ideal sebenarnya mengikhtisarkan tiga macam eksperimen. Dari tiga macam eksperimen ini menghasilkan tiga hukum gas yaitu hukum Boyle-Mariotte, hukum Charles, dan hukum Gay-lussac, (Renreng 1983:289).

Hukum-hukum gas ini, diperoleh dengan bantuan teknik yang sangat berguna di sains, yaitu menjaga satu atau lebih variabel tetap konstan untuk melihat akibat dari perubahan satu variabel saja. Hukum-hukum ini sekarang dapat digabungkan menjadi satu hubungan yang lebih umum antara tekanan p , volume V dan suhu T dari gas dengan jumlah tertentu:

$$pV \propto T \quad (1)$$

Hubungan ini menunjukkan bagaimana besarnya p , V , atau T akan berubah ketika yang lainnya diubah. Hubungan ini mengecil menjadi hukum Boyle-Mariotte, hukum Charles, dan hukum Gay-Lussac, ketika suhu, tekanan, dan volume berturut-turut dijaga konstan.

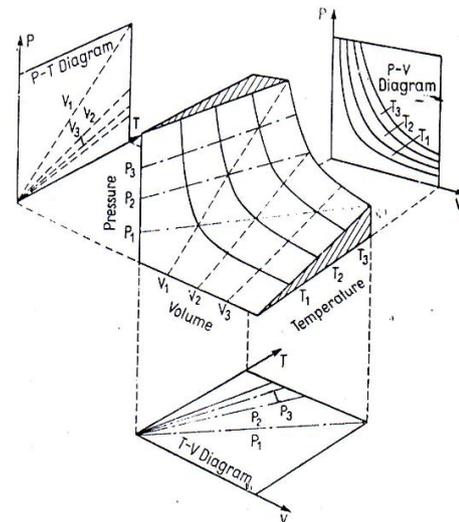
2. Persamaan Keadaan Gas Ideal

Volume V yang ditempat suatu zat yang massanya m tertentu bergantung pada tekanan p yang diderita zat yang bersangkutan, dan pada suhunya T . Setiap zat ada hubungannya tertentu dalam hal besaran-besaran ini. Hubungan tertentu ini dinamakan persamaan keadaan zat yang bersangkutan (Sears and Zemansky, 1962 *terjemahan* Soedarjana dan Achmad, 1994:406). Secara matematika persamaan ini ditulis sebagai berikut:

$$f(m, V, p, T) = 0 \quad (2)$$

Persamaan keadaan gas yang paling sederhana adalah persamaan keadaan gas pada tekanan rendah, hal

ini berlaku untuk segala macam gas adalah sama. Gas ideal didefinisikan sebagai satu bagian dari seluruh tumbukkan yang terjadi antara atom-atom yang elastik sempurna, dimana gaya tarik antar molekul diabaikan karena sedemikian kecil (Anonim, 2010:2). Untuk mewakili hukum gas ideal, maka secara grafik dibangun diagram p - V - T trimatra (*three dimensional*), sebagaimana disajikan pada Gambar 1 (Frauenfelder and Huber, 1966:313).



Gambar 1. Permukaan trimatra mewakili keadaan pada suatu gas ideal

Pada gambar ini di gambarkan isometrik suatu bagian permukaan p - V - T trimatra, dan proyeksi ketiganya (Sears and Salinger, 1980:27) antara lain:

- Bidang suhu konstan ($T = \text{konstan}$) membagi permukaan didalam *equilateral hyperbolas*, sehingga $pV = \text{konstan}$ (hukum Boyle-Mariotte).
- Bidang tekanan konstan ($p = \text{konstan}$) membagi permukaan dalam bentuk garis lurus, jadi kemiringan bidang T - V meningkat dengan meningkatnya tekanan, sehingga $V/T = \text{konstan}$ (hukum Gay-Lussac).
- Bidang volume konstan ($V = \text{konstan}$) juga membagi permukaan dalam bentuk garis lurus, jadi kemiringan bidang p - T sebanding dengan V , maka $P/T = \text{konstan}$, (Sears and Salinger, 1980:27).

Menurut Blatt (1986:269) dan Nurbury (2000:226), menyatakan bahwa gas ideal dapat dirumuskan dalam tiga variabel yaitu tekanan (p), volume (V), dan suhu (T) yang disebut sebagai kombinasi rumusan tunggal dari hukum Boyle-Mariotte dan hukum Gay-Lussac (Anonymous, 2009:2; Zemansky and Dittman, 1982 *terjemahan* Liong, 1986:120). Untuk gas ideal, tekanan, suhu, dan volume dihubungkan oleh:

$$pv = RT \quad \text{atau} \quad pV = nRT \quad (3)$$

dimana:

v = volume molar (m^3/mol)

V = volume yang diberikan oleh n mol (m^3)

R = konstanta gas umum
($= 8,314 \text{ JK}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = 1,99 \text{ kal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T = suhu (K)

n = jumlah mol (mol).

Persamaan (3) merupakan persamaan keadaan gas ideal atau hukum gas ideal (Kittel and Kroemer, 1996:164; Blatt, 1986:269). Persamaan ini, menurut Kittel and Kroemer (1996:77), kadang-kadang ditulis sebagai:

$$pv = N_A kT \text{ atau } pV = nN_A kT = NkT \quad (4)$$

dimana:

N = jumlah total molekul gas dalam volume

N_A = bilangan Avogadro, (molekul/mol)

k = konstanta Boltzmann ($R/N_A = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

Nilai konstanta gas dapat diperoleh dengan mengevaluasi pV/nT untuk gas pada batas tekanan nol. Namun demikian, nilai yang lebih tepat dapat diperoleh dengan mengukur kecepatan suara didalam gas tekanan rendah dan mengekstrapolasikan nilainya ke tekanan nol atau limit tekanan mendekati nol (Zemansky and Dittman, 1982 *terjemahan* Liong, 1986:118).

3. Jumlah Mol

Selain Konstanta gravitasi dalam persamaan gas ideal terdapat beberapa istilah kimia penting, yaitu massa atom relatif, bilangan Avogadro dan mol. Massa atom relatif adalah massa suatu unsur yang dinyatakan sebagai perbandingan massa satu atom suatu unsur terhadap massa satu atom lain. Massa molekul relatif adalah jumlah seluruh massa atom relatif dari atom-atom penyusun unsur atau senyawa tersebut (Anonim, 2010:3).

Menurut Ohanian (1985:471), menyatakan bahwa hukum gas ideal dapat dinyatakan dalam jumlah molekul. Hukum ini memberikan hubungan sederhana diantara parameter makroskopik dari sifat-sifat gas. Jumlah mol (n) dalam suatu gas sama dengan massa gas (m) dibagi dengan berat molekulnya (M_r) (Sears, 1944 *terjemahan* Soedarjana 1986:402). Dari uraian di atas diperoleh hubungan mol (n), massa (m), dan jumlah partikel (N) (Anonymous, 2009:3) sebagai berikut:

$$m = nM_r \quad \text{atau} \quad n = \frac{m}{M_r}$$

$$N = nN_A \quad \text{atau} \quad n = \frac{N}{N_A} \quad (5)$$

dimana:

M_r = massa molekul relative (g/mol)

m = massa molekul (gram)

n adalah jumlah mol atau konsentrasi (Kittel and Kroemer, 1996:77; Alonso and Finn, 1980:419) sehingga dapat ditulis sebagai:

$$n = \frac{\text{massa, (gram)}}{\text{massa molekul, (g/mol)}}$$

atau

$$n = \frac{\text{volume, (m}^3\text{)}}{\text{volume per mol, (m}^3\text{/mol)}} = \frac{V}{V_m} \quad (6)$$

dimana:

V_m = volume molar gas atau volume kontainer, (m^3).

Di bawah kondisi-kondisi standar, satu mole gas ideal menempati 22,4 liter (Kane and Sternheim, 1976 *terjemahan* Silaban, 1988:456). Maka menurut Blatt

(1986:270), jumlah mol gas atau udara dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{273 pV}{22,4T} = 12,2 \frac{pV}{T} \quad (7)$$

dimana:

p = tekanan, (atmosfir)

V = volume, (liter)

T = suhu, (kelvin).

Persamaan ini terjadi pada kondisi suhu dan tekanan standar, yaitu suhu $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ dan tekanan 1 atm dengan menempati volume 22,4 liter. Jumlah mol disebut juga sebagai faktor kompresibilitas, dimana menggambar suatu sistem volumetrik (Abbott and van Ness, 1972).

Penelitian dilakukan untuk menentukan jumlah mol udara dalam *syringe* dengan memperoleh terlebih linieritas dari volume terhadap tekanan pada suhu konstan, dinyatakan dari:

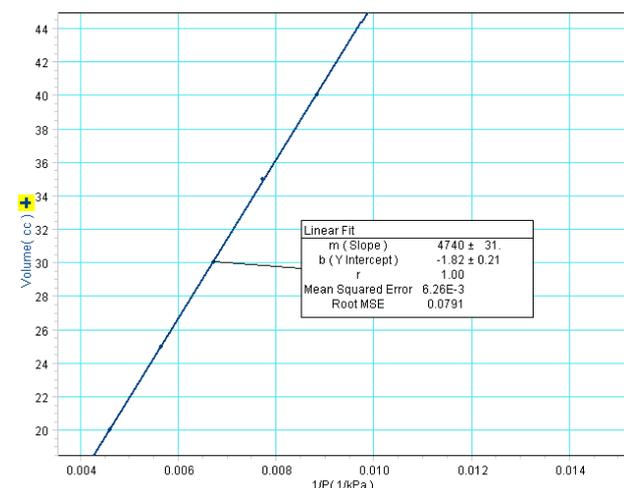
$$V = (nRT) \frac{1}{p} \quad (8)$$

Sedangkan linieritas tekanan terhadap suhu dengan volume bola konstan menghasilkan jumlah mol udara dalam bola dinyatakan dengan hubungan berikut:

$$p = \left(\frac{nR}{V} \right) T \quad (9)$$

HASIL PENELITIAN

Hasil pengumpulan data untuk pengamatan pada *syringe* hukum gas ideal, penggunaan *syringe* dengan suhu konstan dan penggunaan bola dengan volume konstan direkam dengan *DataStudio* menampilkan hubungan volume terhadap invers tekanan pada suhu konstan, dan hubungan antara tekanan terhadap suhu untuk volume konstan seperti tampilan gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Grafik hubungan antara volume terhadap invers tekanan pada $T = \text{konstan}$

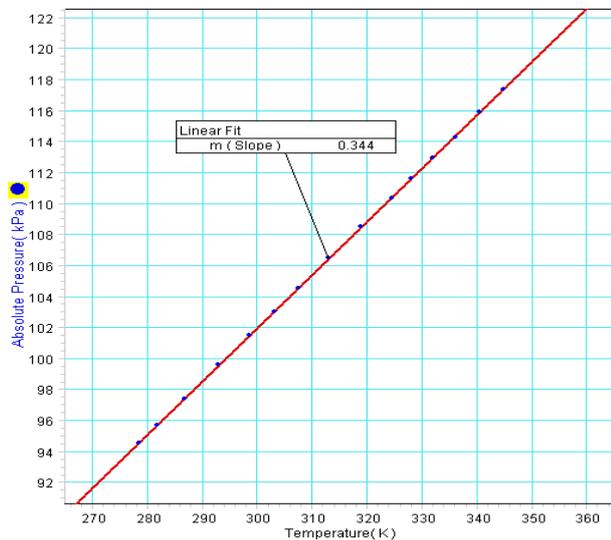
Dengan diperoleh suhu awal $T_1 = 298,54 \text{ K}$, tekanan awal $p_1 = 100,9 \text{ kPa}$, suhu akhir $T_2 = 316,78 \text{ K}$ dan tekanan akhir $p_2 = 208,84 \text{ kPa}$ dapat ditentukan perbandingan (*ratio*) volume *syringe* adalah $\frac{V_1}{V_2} = 1,951 \cong 2$

maka $V_1 = 2V_2$. Berdasarkan gambar 2 dapat ditentukan jumlah mole (n) udara terbaik pada *syringe* dengan suhu konstan adalah

$$n_1 = \bar{n}_1 \pm \Delta n_1 = (0,0188350 \pm 0,0000123) \text{ mol}$$

atau

$$n_1 \cong 0,02 \text{ mol}$$



Gambar 3. Grafik hubungan antara tekanan terhadap suhu (P - T) pada $V = \text{konstan}$

Berdasarkan Gambar 3 dapat ditentukan jumlah mole (n) udara terbaik pada bola dengan volume konstan adalah

$$n_2 = \bar{n}_2 \pm \Delta n_2 = (0,022643 \pm 0,000000) \text{ mol}$$

atau

$$n_2 \cong 0,02 \text{ mol}$$

PEMBAHASAN

Dengan melakukan pengamatan pada alat penyemprot (*syringe*) semacam suatu alat suntik berbentuk silinder dan bola menggunakan rumus gas ideal atas dasar hukum Boyle-Mariotte dan hukum Gay-Lussac untuk memperoleh jumlah mol udara yang terkandung di dalam *syringe* dan bola tersebut, maka setelah dianalisis ratio volume dari *syringe* diperoleh bahwa volume awal sebelum diberikan *plunger* dua kali lebih besar dari volume akhir. Hal ini berlaku jika suhu dan tekanan awal lebih besar dari suhu dan tekanan akhir pada saat proses dilakukannya *plunger*. Jadi semakin mengecil suhu dan tekanan selama proses *plunger* berakhir, akan dapat memperkecil rasio volume *syringe*. Dengan demikian apabila volume gas dijaga agar selalu konstan, maka ketika tekanan gas bertambah, suhu mutlak gas-pun ikut-ikutan bertambah demikian sebaliknya ketika tekanan gas berkurang, suhu mutlak gas pun ikut-ikutan berkurang, hal cocok dengan yang dikembangkan oleh Joseph Gay-Lussac (Anonymous, 2009:3). Jika suhu gas meningkat dari keadaan awal T_1 menjadi T_2 , bila tekanan juga berubah dari keadaan p_1 menjadi p_2 ,

sedangkan massa udara dan komposisi molekul udara tetap, maka hukum Gay-Lussac atau hukum Charles dapat diterima pada penelitian ini.

Sesuai Gambar 2, dapat dijelaskan bahwa semakin besar volume, maka tekanan juga semakin besar. Jadi volume dan tekanan berubah secara linear, jika suhu udara dalam *syringe* konstan. Dengan demikian hasil kali volume dan tekanan ini walaupun hampir konstan pada suhu tertentu, agak berbeda-beda dengan berubahnya tekanan. Kurva dari p - V sebetulnya berupa garis hiperbolik ekilateral yang hampir-hampir bersinggungan dengan sumbu p dan sumbu V , dan kurva ini menunjukkan keadaan pada suhu konstan. Maka pada kasus ini udara dimampatkan dalam *syringe* dari volume yang besar menjadi volume kecil. Hal ini juga dapat digunakan pada pompa sepeda atau ban mobil. Jadi udara ketika dimampatkan perlu dihilangkan panas agar suhunya konstan, dan karena itu dalam penelitian ini proses dilakukan secara perlahan-lahan supaya seluruh udara tidak mengalami kenaikan suhu. Akibat pemampatan secara perlahan itu udara mengalami aras keadaan yang mendekati keadaan setimbang, dan proses ini disebut proses *quasi static* atau proses hampir statik yang berlangsung selama proses isothermal.

Sedangkan berdasarkan gambar 3, semakin tinggi tekanan udara yang diberikan kepada bola, maka suhu-pun semakin besar. Jadi tekanan dan suhu berubah secara linear, jika volume bola konstan. Kurva dari p - T sebetulnya berupa garis lurus yang menunjukkan keadaan pada volume konstan. Maka pada kasus ini jika udara dimampatkan dalam bola dari tekanan yang besar menjadi tekanan kecil, dengan meletakan bola pada suhu yang berubah dari besar menjadi kecil. Jadi udara dimampatkan dalam bola, dengan prosesnya secara isovolume (proses dimana volume konstan).

Dengan persamaan (5 dan 6), jumlah mol, n dalam udara adalah sama dengan massa udara itu dibagi dengan berat molekulnya. Karena itu rapat udara dapat dinyatakan sebagai massa per satuan volume udara. Karena itu rapat udara tergantung pada tekanan, suhu dan titik berat molekulnya. Sesuai dengan kerapatan ini dapat dibentuk jumlah mol udara dari tekanan, suhu dan volume. Maka pada kasus ini telah dianalisis jumlah mol udara pada *syringe* dengan suhu konstan adalah sebesar 0,019 mol. Sedangkan jumlah mol udara pada bola (bola yang digunakan disebut pada nol mutlak) dengan menjaga agar volume konstan adalah sebesar 0,023 mol. Jumlah mol udara pada *syringe* dan bola, terdapat selisihnya sangat kecil, dan apabila jumlah mol ini diperbesar pada dua angka di belakang koma, maka diperoleh jumlah mol, $n = 0,02$ mol. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil penelitian membuktikan bahwa pada kedua media yang berbeda (silinder dan bola), memberikan jumlah mol yang sama. Maka massa udara dapat diperhitungkan baik untuk oksigen maupun hidrogen, dan massa dari gas lainnya. Aplikasi penggunaan hukum Boyle-Mariotte dengan menentukan jumlah mol semacam ini dapat diterapkan pada media yang lain seperti ban sepeda/mobil, bola basket atau bola kaki, dan lain sebagainya.

KESIMPULAN

Sesuai dengan pembahasan maka kesimpulan dalam penelitian ini adalah

1. Jumlah mol udara dalam selinder (*syringe*) dengan suhu konstan adalah $(0,0188350 \pm 0,0000123)$ mol.
2. Jumlah mol udara dalam bola dengan volume konstan adalah $(0,022643 \pm 0,000000)$ mol.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M. and E. J. Finn, 1980., *Fundamental University Physics*, 2nd edition. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- Anonymous, 2009. Ideal Gas Law., Intruccion Manual and Experiment Guide for the Pasco scientific, USA.
- Blatt, F. J. 1986., *Principles of Physics*, 2nd edition. Allyn and Bacon, Inc., Boston.
- Frauenfelder, P. and P. Huber., 1966. *Introduction to Physics: Mechanics, Hydrodynamics, Thermodynamics*, volume 1. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts.
- Giancoli, D. 1998, *terjemahan* Hanum Y. 2001. *Fisika* Jilid 1 edisi kelima., Erlangga, Jakarta.
- Kane, J. W. and M.M. Sternheim., 1976. *terjemahan* P. Silaban, 1988., *Fisika*, edisi ke tiga. AIDAB dan ITB, Bandung
- Kittel, C and H. Kroemer, 1996. *Thermal Physics* 4th edition. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Nurbury, J. W. 2000., *Elementary Mechanics & Thermodynamics*. Physics Department University of Wisconsin-Milwaukee, Wilwaukee.
- Ohanian, H. C. 1985., *Physics, volume one*. W.W.Norton & Company, New York.
- Renreng, A., 1984, *Asas-asas Ilmu Alam Universitas* Jilid I., Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri Indonesia Bagian Timur., Ujung Pandang.
- Sears, F. W. 1944., *terjemahan* Soedarjana P.J. 1986., *Mekanika, Panas dan Bunyi*, Cetakan keenam. Binacipta, Bandung.
- Sears, W. F, and G. L. Salinger. 1980., *Thermodynamics, Kinetic Theory, and Statistical Thermodynamics*, 3rd edition. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- Sears, W. F, and M.W. Zemansky. 1962, *terjemahan* Soedarjana dan A. Achmad, 1994., *Fisika Untuk Universitas 1: Mekanika, Panas dan Bunyi*. Cetakan ke delapan, Binacipta, Bandung.