

TAMPILAN DAN ANALISIS KARAKTERISTIK BERBAGAI VARIASI FUNGSI DISTRIBUSI MOLEKUL SUATU GAS MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB

Asrizal

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

E-mail: asrizal_unp@yahoo.com

ABSTRACT

Distribution function of a gas is important to determine physical quantities of thermodynamics and characteristics of a material. Objectives of this research is to investigate the characteristic function of velocity, speed, momentum, and energy of molecular gases. This research can be categorized into theoretical research. To find the characteristic function of these physical quantities are used Matlab software. There are four main results of research. First, the greater mass number of molecule and lower temperature of molecule produce the peak of velocity distribution function higher and shaper. Second, the lower temperature and the smaller mass number of gas produce distribution speed function of molecule higher and shaper. Third, the lower temperature and the smaller of mass number of a molecular produce the peak of distribution momentum function higher and shaper. Finally, the lower temperature of gas produce the peak of distribution energy function higher and shaper.

Keywords: *Distribution function, velocity, speed, momentum, energy*

PENDAHULUAN

Fisika merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang perilaku partikel secara mikroskopis. Untuk memprediksi kuantitas-kuantitas fisika seperti tekanan, energi internal, kapasitas panas, hubungan antar kuantitas-kuantitas fisika, maka melalui fisika statistik mencoba mengembangkan penalaran dan analisis terhadap besaran dan hubungan antara besaran yang telah digambarkan dalam termodinamika. Fisika statistik merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari suatu sistem makroskopik dengan menggunakan model-model mikroskopik (I Wayan, S: 2012).

Fisika statistik memiliki kaitan yang erat dengan termodinamika. Fisika statistik memberikan suatu pengertian yang rasional terhadap termodinamika dalam bentuk partikel-partikel mikroskopis dan interaksinya. Fisika statistik tidak hanya memperkenankan perhitungan ketergantungan besaran-besaran fisika terhadap

temperatur seperti kapasitas panas dari benda padat, tetapi juga sifat transpor, konduksi dari panas dan listrik (Galperin, Y: 2012). Dengan demikian dapat dikemukakan fisika statistik diperlukan merumuskan besaran-besaran termodinamika secara mikroskopis.

Fisika statistik dan termodinamika memiliki perbedaan dan kesamaan, namun keduanya juga memiliki hubungan. Termodinamika adalah suatu fenomenologi teori yang didasarkan pada hukum-hukum dasar yang diturunkan dari kenyataan empiris. Sementara itu mekanika statistik menyediakan suatu metoda deduktif yang ditunjukkan dari dunia fisika mikroskopis kepada dunia makroskopis dimulai dari atom atau molekul atau struktur molekul dari materi dan prinsip dinamik dasar dari atom serta dikombinasikan dengan teori probabilitas (Kubo, R: 1964).

Termodinamika dan mekanika statistik juga memiliki peranan terhadap bidang lain. Termodinamika dan mekanika

statistik adalah alat dalam mempelajari fisika dan sifat-sifat materi. Mekanika statistik bersama dengan mekanika kuantum menyediakan fondasi untuk fisika modern membantu untuk mengerti fenomena-fenomena fisika dari pandangan mikroskopis pada fisika atom. Pengetahuan dasar dan latihan dalam mekanika statistik sangat penting tidak hanya bagi mahasiswa yang mempelajari sifat-sifat materi, tetapi juga untuk mempelajari fisika inti atau astrofisika. Disamping itu penting dalam kimia, biologi, dan teknologi yang berkembang dalam fisika modern (Kubo, R: 1964).

Pendekatan mikroskopis penting dilakukan untuk mempelajari-sifat-sifat suatu material (Sudaryatno, S; 2010). Perilaku suatu materi secara mikroskopik berhubungan erat dengan sifat-sifat mikroskopik. Sifat-sifat ini dapat diungkap melalui hukum distribusi statistik (Septiko, A; 2012)

Molekul-molekul dalam suatu gas tidak seluruhnya memiliki laju yang sama. Untuk mendeskripsikan distribusi laju molekul perlu didefinisikan sebuah fungsi yang disebut fungsi distribusi. Fungsi distribusi ini penting untuk mendeskripsikan distribusi sebenarnya dari laju molekuler (Young, H: 2002). Melalui fungsi distribusi ini diharapkan dapat ditentukan besaran-besaran fisika dalam termodinamika dan sifat-sifat material. Dengan demikian fungsi distribusi laju dari molekul memegang peranan penting dalam fisika statistik dan termodinamika.

Mengingat pentingnya persoalan distribusi dan fungsi distribusi dalam penentuan kuantitas fisika maka pengkajian secara mendalam perlu dilakukan. Bagaimana karakteristik dari komponen kecepatan, laju, momentum, dan energi terhadap distribusi molekul yang bersesuaian?

Masalah distribusi dan fungsi distribusi merupakan salah satu bagian yang penting dalam fisika statistik baik

klasik maupun kuantum. Untuk menentukan berbagai besaran dalam fisika seperti jumlah tumbukan molekul persatuan luas persatuan waktu, nilai rata-rata, nilai kuadrat rata-rata dalam rms, tekanan gas, energi kinetik, dan energi internal, kapasitas panas, dan lain-lain diperlukan pengetahuan tentang fungsi distribusi. Dalam hal ini besaran-besaran fisika tersebut tergantung kepada distribusi molekul dan berguna untuk menentukan batas integrasi untuk komponen kecepatan, laju, momentum, dan energi dari molekul.

Suatu gas diasumsikan terdiri dari molekul-molekul yang sangat banyak. Arah kecepatan dari molekul terdistribusi secara merata kesegala arah. Diketahui bahwa molekul-molekul dari suatu gas tersebut mempunyai kecepatan yang berbeda-beda, tetapi tidak menjawab pertanyaan berapa banyaknya molekul yang mempunyai kecepatan dengan besar dan arah yang spesifik. Untuk menjawab pertanyaan tersebut diperkenalkan tentang fungsi distribusi.

Dalam sistem koordinat persegi terdapat tiga komponen kecepatan masing-masing v_x , v_y , v_z . Didalam ruang kecepatan jika elemen volume dinyatakan dengan $dv = dv_x dv_y dv_z$, maka jumlah molekul yang mempunyai kecepatan dengan komponen antara v_x dan $v_x + dv_x$, $v_y + dv_y$, serta $v_z + dv_z$ dapat ditentukan. Jumlah molekul persatuan range komponen kecepatan dv_x , dv_y , dv_z dikenal dengan fungsi distribusi untuk komponen kecepatan tunggal. Untuk komponen x dari kecepatan, fungsi distribusi komponen kecepatan tunggal diberikan dalam bentuk :

$$f(v_x) = \frac{dN_{vx}}{dv_x} = \frac{N}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} \quad (1)$$

Melalui cara yang sama fungsi distribusi komponen kecepatan untuk komponen y dan z dalam ruang kecepatan dapat ditentukan.

Fraksi dari jumlah molekul yang menempati elemen volume $dv = dv_x dv_y dv_z$ dapat didefinisikan sebagai perbandingan

antara jumlah molekul didalam elemen volume dv terhadap jumlah molekul total. Jumlah molekul dengan kecepatan v persatuan elemen volume ini dikenal dengan fungsi distribusi kecepatan yang dapat dituliskan dalam bentuk:

$$f(v) = \frac{dN_{v_x, v_y, v_z}}{dv_x dv_y dv_z} = \frac{N}{\pi^{3/2}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (2)$$

Jika yang diperhatikan hanya besar dari kecepatan molekul tanpa memperhatikan arah, maka jumlah molekul dengan laju antara v dan $v+dv$ dengan kerapatan molekul sama dalam kulit bola tipis dengan jari-jari v didapat dengan mentransfer elemen volume dalam bentuk koordinat kartesian kedalam koordinat bola. Jumlah molekul didalam kulit bola tipis dengan laju antara v dan $v+dv$ persatuan range laju dikenal dengan fungsi distribusi laju. Ekspresi untuk fungsi distribusi laju diberikan seperti:

$$f(v) = \frac{dN_v}{dv} = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (3)$$

Disisi lain jumlah molekul didalam elemen kulit bola tipis dengan momentum antara P dan $P+dP$ dapat ditentukan dengan mentransfer laju kedalam bentuk momentum melalui hubungan $P=mv$. Fungsi distribusi momentum dari molekul didefinisikan sebagai perbandingan jumlah molekul dengan momentum antara P dan $P+dP$ persatuan range momentum. Karena itu fungsi distribusi momentum dapat diberikan dalam bentuk:

$$f(P) = \frac{dN_P}{dP} = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{2mkT}\right)^{3/2} P^2 e^{-\frac{P^2}{2mkT}} \quad (4)$$

Sementara itu untuk molekul-molekul yang bergerak translasi energi yang dimiliki oleh molekul hanyalah energi kinetik. Jumlah molekul didalam kulit bola tipis dengan energi antara w dan $w+dw$ dapat ditentukan dengan mentransfer laju kedalam bentuk energi. Jumlah molekul dengan energi antara w dan $w+dw$ persatuan range energi dw diberikan seperti:

$$f(w) = \frac{dN_w}{dw} = \frac{2N}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{kT}\right)^{3/2} w^2 e^{-\frac{w}{kT}} \quad (5)$$

Bentuk persamaan diatas dikenal dengan fungsi distribusi energi. Dapat diperhatikan bahwa fungsi distribusi energi tergantung kepada energi dari molekul.

Mengingat pentingnya penentuan fungsi distribusi molekul suatu gas, penulis tertarik untuk menganalisis tentang berbagai aspek masalah fungsi distribusi klasik secara teoritis menggunakan software matlab. Tujuan penelitian adalah untuk: 1). Menyelidiki karakteristik fungsi distribusi komponen kecepatan terhadap komponen kecepatan molekul untuk berbagai variasi temperatur dan jenis gas, 2). Menyelidiki karakteristik fungsi distribusi laju terhadap laju molekul untuk berbagai variasi temperatur dan jenis gas, 3). Menyelidiki karakteristik fungsi distribusi momentum terhadap momentum molekul untuk berbagai variasi temperatur dan jenis gas, dan 4). Menyelidiki karakteristik fungsi distribusi energi terhadap energi dari molekul untuk berbagai variasi temperatur

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dapat digolongkan kedalam penelitian teoritis yang dikembangkan melalui simulasi menggunakan komputer. Sebagai variabel bebas dalam penelitian ini adalah temperatur dalam $^{\circ}K$, jenis molekul yang terkait dengan massa, komponen kecepatan, kecepatan, laju, momentum, dan energi kinetik translasi dari molekul. Disisi lain sebagai variabel terikat adalah berbagai variasi fungsi distribusi dari molekul meliputi fungsi distribusi komponen kecepatan tunggal, fungsi distribusi kecepatan dan laju, fungsi distribusi momentum, dan fungsi distribusi energi. Berdasarkan persamaan fungsi distribusi dapat diplot hubungan antara suatu variabel terhadap variabel lain. Sebagai variabel bebas ditempatkan pada sumbu x sedangkan variabel terikat ditempatkan pada sumbu y dalam sistem koordinat xy .

Untuk mencapai tujuan dalam menentukan karakteristik seperti fungsi

distribusi terhadap laju molekul ditempuh langkah-langkah berikut:

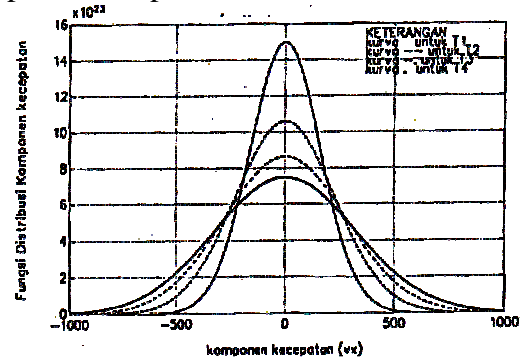
- Merumuskan fraksi dari molekul dalam satu dimensi, dua dimensi, dan tiga dimensi dalam koordinat kartesian
- Merumuskan jumlah molekul dalam komponen x,y,z dalam elemen volume pada koordinat kartesian dan dalam elemen koordinat bola tipis dalam ruang kecepatan, momentum, dan energi
- Merumuskan bentuk-bentuk fungsi distribusi untuk komponen kecepatan tunggal, kecepatan, laju, momentum, dan energi
- Menentukan nilai-nilai konstanta, jumlah molekul, dan variabel-variabel yang berpengaruh terhadap fungsi distribusi dari molekul
- Membuat algoritma pemograman komputer menggunakan matlab
- Menyelidiki karakteristik berbagai fungsi distribusi molekul terhadap variabel fisika yang bersesuaian untuk berbagai variasi temperatur dan jenis molekul
- Melakukan analisis terhadap kurva karakteristik berbagai fungsi distribusi molekul terhadap variabel fisika yang bersesuaian untuk berbagai variasi temperatur dan jenis molekul

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kajian teoritis yang telah dilakukan terhadap berbagai macam variasi fungsi distribusi molekul. Dari hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas diperoleh hasil penelitian dalam bentuk : kurva karakteristik fungsi distribusi komponen kecepatan tunggal terhadap komponen kecepatan, kurva fungsi distribusi laju terhadap laju dari molekul, kurva fungsi distribusi momentum terhadap momentum molekul, dan kurva fungsi distribusi energi terhadap energi kinetik translasi dari molekul.

Melalui persamaan 1 dapat diplot hubungan antara fungsi distribusi

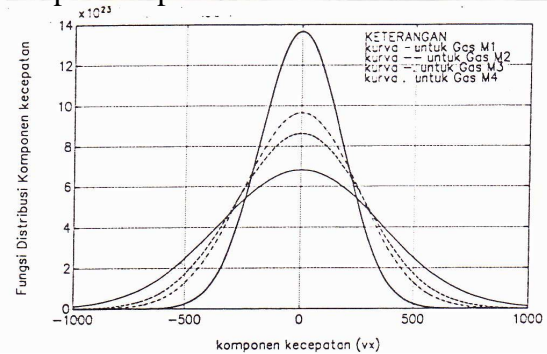
komponen kecepatan dalam arah x. Kurva karakteristik fungsi distribusi komponen kecepatan terhadap komponen kecepatan untuk berbagai variasi temperatur dapat diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Komponen Kecepatan Terhadap Komponen Kecepatan untuk Berbagai Variasi Temperatur

Perhitungan dilakukan pada temperatur 100 °K, 200 °K, 300 °K, dan 400 °K serta untuk gas oksigen dengan nomor massa 32. Ternyata semakin rendah temperatur gas semakin tinggi puncak kurva dan bentuk kurva semakin tajam. Disamping itu nilai maksimum dari fungsi distribusi komponen kecepatan terletak pada kecepatan $v_x=0$. Pada daerah kiri dan kanan $v_x=0$ kurva akan menuju nol tetapi tidak pernah mencapai nol sehingga dalam penerapan batas integrasi dalam kasus ini dapat digunakan dari $-\infty$ sampai ∞ .

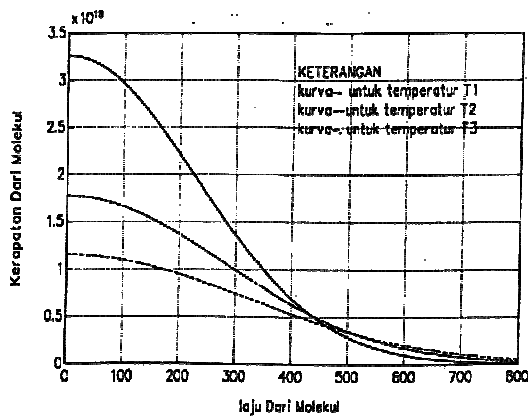
Untuk suatu temperatur dan beberapa jenis gas dapat pula diselidiki pengaruh jenis gas yang ditandai dengan nomor massa terhadap fungsi distribusi komponen kecepatan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Komponen Kecepatan Terhadap Komponen Kecepatan Untuk Berbagai Jenis Gas

Berdasarkan hasil perhitungan ternyata semakin besar nomor massa gas kelihatan puncak dari fungsi distribusi komponen kecepatan semakin tinggi dan sempit. Sebaliknya dengan nomor massa yang rendah kurva semakin lebar dengan puncak yang lebih rendah.

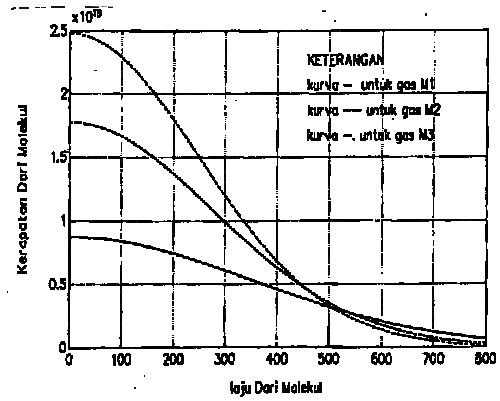
Fungsi distribusi kecepatan ditentukan melalui persamaan 2. Bila diplot fungsi distribusi kecepatan terhadap kecepatan molekul untuk beberapa variasi temperatur akan diperoleh kurva seperti Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Kecepatan Terhadap Kecepatan untuk Berbagai Variasi Temperatur: $T_1=100^0\text{K}$, $T_2=200^0\text{K}$, $T_3=300^0\text{K}$, $T_4=400^0\text{K}$, $M=32$

Dari kurva dapat dikemukakan bahwa puncak dari fungsi distribusi terdapat pada kecepatan $v=0$, dan menurun secara eksponensial dengan pertambahan kecepatan molekul. Pada kecepatan lebih besar dapat diperhatikan fungsi distribusi menuju nol tetapi tidak mencapai nol. Semakin tinggi temperatur gas menyebabkan kurva semakin rendah. Berdasarkan Gambar 3 diatas maka untuk fungsi distribusi kecepatan digunakan batas integrasi untuk kecepatan adalah dari 0 sampai ∞ .

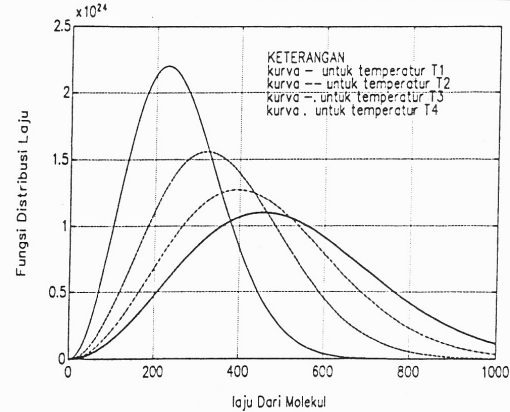
Sementara itu dapat pula diplot hubungan antara fungsi distribusi kecepatan terhadap kecepatan dari molekul untuk suatu temperatur dan berbagai macam variasi dari jenis gas dapat diperhatikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Kecepatan Terhadap Kecepatan untuk Berbagai Jenis Gas; $M_1=20$, $M_2=32$, $M_3=40$, $M_4=80$, $T=300^0\text{K}$

Dari kurva dapat dijelaskan bahwa dengan nomor massa yang besar kelihatan kurva semakin tinggi untuk kecepatan yang lebih rendah. Untuk suatu jenis gas kurva akan menurun secara eksponensial menuju nol pada daerah kecepatan yang lebih besar.

Kurva fungsi distribusi laju dari molekul terhadap laju ditentukan berdasarkan persamaan 3. Untuk satu jenis gas dan berbagai variasi temperatur plot fungsi distribusi laju terhadap laju dari molekul dapat diperhatikan Gambar 5.

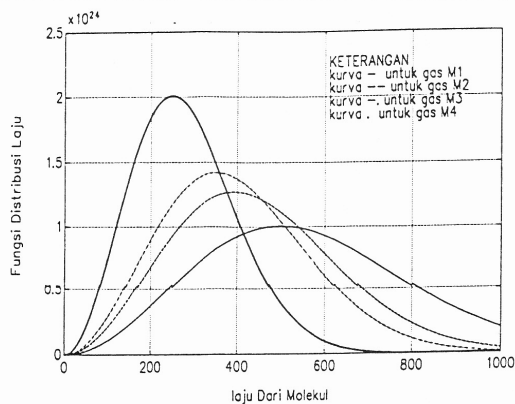


Gambar 5. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Laju Terhadap Laju Molekul untuk Berbagai Variasi Temperatur: $T_1=100^0\text{K}$, $T_2=200^0\text{K}$, $T_3=300^0\text{K}$, $T_4=400^0\text{K}$, $M=32$

Ternyata semakin rendah temperatur gas kelihatan puncak dari fungsi distribusi laju semakin tinggi dan semakin sempit. Disamping itu semakin rendah temperatur

gas maka fungsi distribusi laju semakin menggeser ke arah laju yang lebih kecil. Fungsi distribusi laju akan semakin naik sampai mencapai nilai maksimum pada suatu laju tertentu dan turun secara eksponensial menuju nilai nol pada laju yang lebih besar. Karena itu untuk kasus seperti ini secara pendekatan dapat digunakan batas integrasi untuk laju dari 0 sampai ∞ .

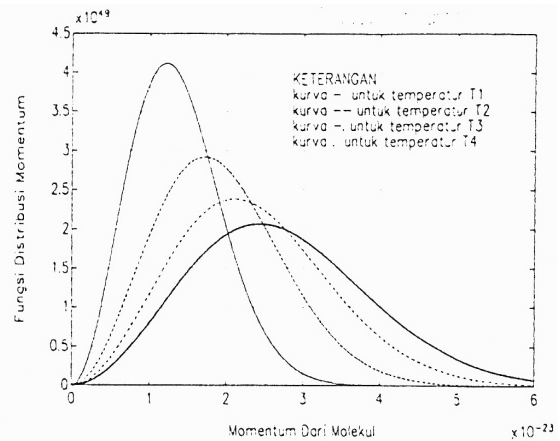
Disisi lain untuk suatu temperatur dan berbagai jenis gas dapat pula diplot hubungan fungsi distribusi laju terhadap laju laju dari molekul seperti Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Laju Terhadap Laju Molekul untuk Berbagai Jenis Gas: $M_1=20$, $M_2=32$, $M_3=40$, $M_4=80$, $T=300^0\text{K}$

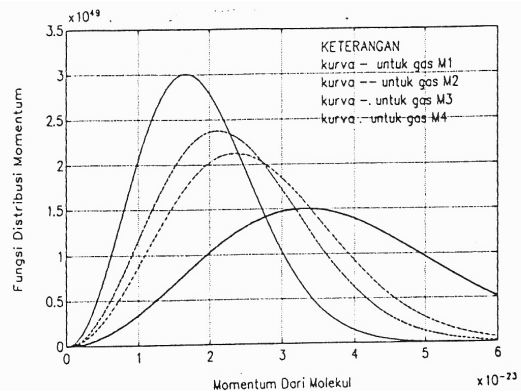
Berdasarkan Gambar 6 dapat dikemukakan bahwa semakin besar nomor massa gas menyebabkan puncak dari fungsi distribusi semakin rendah dan semakin lebar. Disamping itu dengan nomor massa yang lebih besar puncak dari fungsi distribusi semakin bergeser ke arah laju yang lebih besar.

Fungsi distribusi momentum dapat diperoleh dengan mentransfer laju kedalam bentuk momentum. Melalui persamaan 4 dapat diplot hubungan antara fungsi distribusi momentum terhadap momentum dari molekul untuk berbagai variasi temperatur seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Momentum Terhadap Momentum Molekul untuk Berbagai Variasi Temperatur: $T_1=100^0\text{K}$, $T_2=200^0\text{K}$, $T_3=300^0\text{K}$, $T_4=400^0\text{K}$, $M=32$

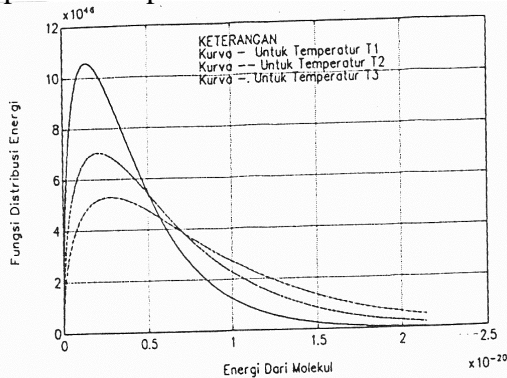
Dari Gambar 7 dapat dikemukakan bahwa dengan semakin rendah temperatur gas menyebabkan kurva puncak fungsi distribusi momentum semakin tinggi dan sempit. Dengan temperatur yang rendah akan menggeser puncak kurva ke arah momentum yang lebih rendah. Sementara itu kurva untuk satu temperatur dan berbagai variasi jenis gas dapat diperhatikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Momentum Terhadap Momentum Dari Molekul untuk Berbagai Jenis Gas: $M_1=20$, $M_2=32$, $M_3=40$, $M_4=80$, $T=300^0\text{K}$

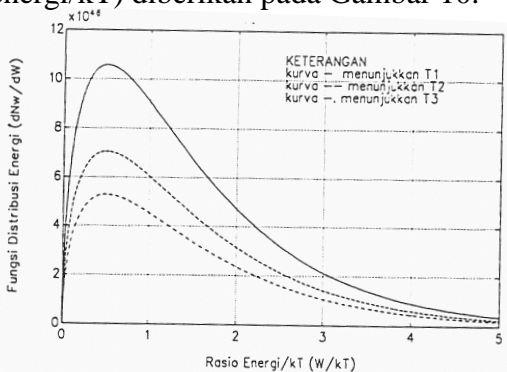
Dengan nomor massa yang tinggi menyebabkan puncak dari fungsi distribusi momentum semakin rendah dan melebar. Disisi lain dapat pula diperhatikan puncak dari kurva akan menggeser ke arah momentum yang lebih besar.

Kurva karakteristik fungsi distribusi energi kinetik translasi molekul untuk berbagai variasi temperatur dapat diperhatikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Energi Terhadap Energi Molekul untuk Berbagai Variasi Temperatur: $T_1=200^{\circ}\text{K}$, $T_2=300^{\circ}\text{K}$, $T_3=400^{\circ}\text{K}$, $M=32$

Berdasarkan Gambar dapat dijelaskan pada energi yang rendah fungsi distribusi energi akan naik secara cepat mencapai nilai maksimum. Pada energi tertentu fungsi distribusi energi akan menurun setelah mencapai puncak dan akan menuju nol pada energi yang lebih besar. Semakin rendah temperatur gas menyebabkan puncak dari fungsi distribusi semakin tinggi dan sempit. Karena itu dalam kasus ini secara pendekatan dapat digunakan batas integrasi untuk energi 0 sampai ∞ . Model lain dari kurva karakteristik fungsi distribusi energi terhadap perbandingan (energi/kT) diberikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva Karakteristik Fungsi Distribusi Energi Terhadap Waktu (w/kt) untuk Satu Jenis Gas dan Berbagai Variasi Temperatur: $T_1=200^{\circ}\text{K}$, $T_2=300^{\circ}\text{K}$, $T_3=400^{\circ}\text{K}$, $M=32$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat dikemukakan hasil utama dari penelitian ini. Pertama, Semakin besar nomor massa molekul suatu gas puncak dari fungsi distribusi semakin tinggi dan tajam. Semakin tinggi temperatur gas menyebabkan kurva semakin rendah. Kedua, semakin rendah temperatur suatu gas puncak dari fungsi distribusi semakin tinggi dan tajam. Dengan nomor massa yang lebih tinggi puncak fungsi distribusi laju semakin rendah dan lebar. Ketiga, Semakin rendah temperatur suatu gas menyebabkan puncak kurva fungsi distribusi momentum semakin tinggi dan tajam. Dengan nomor massa yang lebih tinggi puncak fungsi distribusi momentum semakin rendah dan lebar. Keempat, semakin rendah temperatur gas menyebabkan puncak dari fungsi distribusi semakin tinggi dan sempit

DAFTAR PUSTAKA

- Boas, M. L. (1983). **Mathematical Methods in Physical Sciences**. New York: John Wiley & Sons.
- Haat, D. J. (1954). **Element of Statistical Mechanics**. New York: Rinehart & Company, INC.
- Galperin, Y and Feder, J. (2012). **Statistical Physics**. Department of Physics. University of Oslo, <http://folk.uio.no/yurig/fys203/fys203.pdf>
- I Wayan Sudiarta, (2012). **Fisika Statistik**. Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram
- Kubo, R. (1964). **Statistical Mechanics**. Amsterdam, London : North-Holland Publishing Company.
- Pointon, A. J. (1978). **An Introduction to Statistical Physics for Students**. Longman, London, and New York.

- Sear, F. W. (1953). **An Introduction to Thermodynamics, The Kinetic Theory of Gases and Statistical Mechanics.** Second edition, Addison-Wesley Publishing Company, INC
- Sears, F. W, and G.L. Salinger. (1975). **Thermodynamics, Kinetic Theory, and Statistical Thermodynamics.** Third edition, Addison-Wesley Publishing Company, INC.
- Soetjipto dan Mosik. (1990). **Konsep Dasar Fisika Statistik dan Aplikasinya.**
- Septiko Aji, (2012). **Aplikasi Statistik Maxwell Boltzmann.** Lembayung Pagi
- Sudaryatno Sudirham dan Ning Utari, (2010). **Mengenal Sifat-Sifat Material.** Darpublik Bandung. ITB Bandung
- Young, Hugh D, (2002). **Fisika Universitas.** Erlangga, Jakarta.