



Kajian Teoritis Termodinamika pada Proses Ekspansi Gas Ideal

Theoretical Study of Thermodynamics on Ideal Gas Expansion Process

Adelyna Oktavia Nasution^{1*}, Salsa Billah Batubara², Widayani Darkia³, Sabrina Tamara Balqis⁴, Jihan Aprillia⁵, Thania Sri Adristi⁶

¹⁻⁶Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

*Corresponding Author: E-mail: adelyna1100000198@uinsu.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 6 Jan, 2025

Revised: 21 Feb, 2025

Accepted: 28 Feb, 2025

Kata Kunci:

Termodinamika, Ekspansi Gas Ideal, Isotermal, Adiabatik, Hukum Pertama Termodinamika, Hukum Kedua Termodinamika

Keywords:

Thermodynamics, Ideal Gas Expansion, Isothermal, Adiabatic, First Law of Thermodynamics, Second Law of Thermodynamics

DOI: [10.56338/jks.v8i2.6838](https://doi.org/10.56338/jks.v8i2.6838)

ABSTRAK

Penelitian ini membahas penerapan hukum pertama dan kedua termodinamika dalam proses ekspansi gas ideal, dengan fokus pada proses isotermal dan adiabatik. Ekspansi isotermal terjadi pada suhu konstan, di mana energi dalam gas tetap, dan seluruh perubahan energi dialihkan sebagai kerja atau panas. Sebaliknya, pada ekspansi adiabatik, tidak ada pertukaran panas antara gas dan lingkungan, sehingga perubahan energi internal menyebabkan perubahan suhu. Penelitian ini memberikan analisis teoretis mengenai perubahan parameter seperti tekanan, volume, dan suhu, serta implikasinya pada pengembangan teknologi efisien seperti mesin kalor dan sistem pendinginan. Studi ini juga membahas relevansi model gas ideal dalam konteks teknologi industri serta peluang untuk penelitian lebih lanjut, khususnya dalam mempelajari gas non-ideal melalui simulasi dan eksperimen.

ABSTRACT

This study discusses the application of the first and second laws of thermodynamics in the ideal gas expansion process, with a focus on isothermal and adiabatic processes. Isothermal expansion occurs at a constant temperature, where the energy in the gas is fixed, and the entire energy change is diverted as work or heat. In contrast, in adiabatic expansion, there is no heat exchange between the gas and the environment, so internal energy changes cause temperature changes. This study provides a theoretical analysis of changes in parameters such as pressure, volume, and temperature, as well as their implications for the development of efficient technologies such as heat engines and cooling systems. The study also discusses the relevance of the ideal gas model in the context of industrial technology as well as opportunities for further research, particularly in studying non-ideal gases through simulations and experiments.

PENDAHULUAN

Ilmu yang mempelajari panas dan cara perpindahannya disebut termodinamika. Termodinamika membahas hubungan antara usaha dan energi panas. Sistem, lingkungan, kerja, dan panas merupakan unsur-unsur yang membentuk proses termodinamika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan bagaimana aturan termodinamika digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Termodinamika, studi tentang energi dan transmisinya, khususnya hubungan antara panas dan kerja, adalah salah satu gagasan mendasar dalam fisika. Salah satu prinsip dasar termodinamika adalah hukum kekekalan energi yang merupakan gagasan hukum termodinamika. Menurut hukum ini, energi total suatu sistem terisolasi tidak akan berubah. Dengan kata lain, energi hanya dapat diubah atau dipindahkan dari satu bentuk ke bentuk lainnya; itu tidak dapat dihasilkan atau dimusnahkan. Di antara model yang sering digunakan untuk analisis perilaku gas adalah gas ideal, di mana interaksi antar molekul diabaikan dan gas dianggap memenuhi hukum-hukum dasar termodinamika, seperti hukum pertama dan kedua. Gagasan fitur zat murni, gas ideal, hukum kedua termodinamika, energi dan hukum pertama termodinamika, siklus Carnot, dan dasar-dasar termodinamika semuanya termasuk dalam bidang fisika yang disebut termodinamika.

Proses ekspansi gas ideal adalah contoh sederhana namun penting yang ditemukan dalam banyak aplikasi industri dan teknologi, seperti pada mesin pembakaran dan sistem pendinginan. Ekspansi gas ideal melibatkan perubahan parameter seperti suhu, tekanan, dan volume yang diatur oleh hukum-hukum termodinamika. Pemahaman yang mendalam tentang proses ini tidak hanya penting secara teoretis, tetapi juga memiliki dampak langsung pada pengembangan teknologi yang lebih efisien. Beberapa penelitian telah mengkaji aspek-aspek termodinamika pada gas ideal dan non-ideal. Meskipun hukum gas ideal, termasuk hukum Gay-Lussac dan Boyle, telah banyak dipelajari, masih ada keterbatasan dalam memahami penerapan teoritisnya secara mendalam pada kondisi tekanan tinggi atau suhu rendah. Oleh karena itu, studi yang memfokuskan diri pada proses ekspansi gas ideal dalam kondisi kesetimbangan sangat penting untuk memperdalam pemahaman mengenai interaksi antara parameter suhu, tekanan, dan volume dalam proses ekspansi isothermal dan adiabatik.

Penelitian ini berfokus pada prinsip-prinsip dasar termodinamika untuk mempelajari proses ekspansi gas ideal secara teoretis, khususnya bagaimana hukum pertama dan kedua termodinamika diterapkan dalam proses ekspansi isothermal dan adiabatik. Penjelasan mengenai perubahan volume, tekanan, dan suhu selama ekspansi, serta hubungan di antara parameter-parameter ini, menjadi inti analisis.

Jurnal ini akan dibagi menjadi beberapa bagian utama. Bagian pertama akan membahas teori dasar mengenai hukum pertama dan kedua termodinamika, yang menjadi fondasi analisis proses ekspansi gas ideal. Bagian berikutnya akan menguraikan proses isothermal dan adiabatik, dengan fokus pada penerapan persamaan gas ideal dan hubungan antar parameter termodinamika. Di bagian akhir, jurnal ini akan membahas implikasi teoretis dari analisis yang dilakukan serta memberikan rekomendasi untuk penelitian lanjutan yang dapat melibatkan simulasi atau eksperimen untuk memvalidasi temuan yang dijabarkan.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan teoretis untuk memahami proses ekspansi gas ideal melalui dua jenis proses, yaitu isothermal dan adiabatik. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis prinsip-prinsip dasar termodinamika untuk mempelajari proses ekspansi gas ideal secara teoretis menganalisis perubahan yang terjadi pada tekanan, volume, dan suhu gas selama proses ekspansi gas ideal berlangsung. Beberapa parameter penting seperti kondisi awal dan akhir gas dijadikan acuan untuk melihat pola perubahan energi dan usaha. Analisis dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap proses diperhitungkan dengan cermat. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang proses ekspansi gas ideal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses ekspansi gas ideal merupakan salah satu contoh sederhana namun fundamental dalam mempelajari termodinamika. Pada proses ini, gas diasumsikan sebagai gas ideal, yang berarti bahwa interaksi antar molekul gas diabaikan dan sifat gas dianggap mengikuti hukum-hukum dasar termodinamika. Dua jenis ekspansi yang umum dibahas adalah ekspansi isotermal dan adiabatik.

Ekspansi Adiabatik

Dalam pemuai adiabatik bebas, gas ideal memuai dalam ruang hampa dan berada dalam tabung berinsulasi. Sistem tidak bekerja karena tidak ada tekanan eksternal pada gas. Pada proses adiabatik, sistem dan lingkungan tidak bertukar kalor. Seluruh perubahan energi dalam gas diubah menjadi kerja, sehingga selama proses ini, suhu gas tidak lagi konstan. Berdasarkan hukum pertama termodinamika, perubahan energi internal gas (yang berkaitan dengan perubahan suhu) sebanding dengan sistem dan lingkungan tidak bertukar kalor atau terhadap gas. Dalam ekspansi adiabatik, volume gas bertambah dan suhu gas menurun karena energi internal digunakan untuk melakukan kerja ekspansi.

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa tidak ada perubahan energi internal karena panas dan kerja tidak berubah.

$$dU + dW = dQ = 0 \tag{1}$$

Karena energi gas ideal semata-mata bergantung pada suhu untuk operasi ini, suhunya tetap konstan. Karena entropi dan volume berhubungan langsung pada suhu konstan, entropi akan meningkat. Oleh karena itu, prosedur ini dikategorikan sebagai prosedur yang tidak dapat diubah. Analisis teoretis dari proses adiabatik memberikan wawasan mendalam tentang pentingnya kontrol suhu dan energi dalam sistem gas tertutup. Pemahaman tentang proses adiabatik ini sangat relevan dalam mengembangkan teknologi efisien yang membutuhkan perpindahan energi cepat, seperti pada sistem kompresor dan turbin gas. Dengan mengetahui bagaimana suhu, tekanan, dan volume berinteraksi selama proses adiabatik, insinyur dapat merancang sistem yang lebih efisien dalam hal penggunaan energi dan waktu siklus termal.

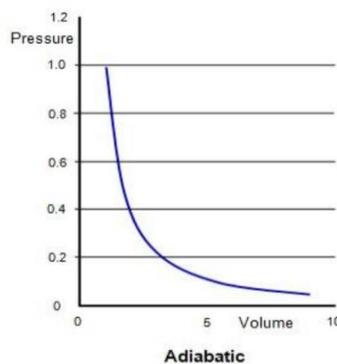
Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menyatakan bagaimana tekanan dan volume berhubungan satu sama lain dalam proses adiabatik berikut:

$$P \cdot v^k = \text{konstan}$$

Atau;

$$P_1 \cdot v_1^k = P_2 \cdot v_2^k = \text{konstan} \tag{2}$$

Dimana,
K adalah C_p / C_v



Gambar 1. Grafik adiabatik

Dalam kompresor, kompresi bukanlah proses adiabatik karena kalor dilepaskan, tetapi juga bukan proses isotermal karena suhunya naik. Dengan demikian, kompresi politropik adalah proses kompresi aktual yang terjadi di antara keduanya.

Hubungan Volume Pada Proses Ekspansi Gas Ideal Termodinamika

Uji coba ini melihat hubungan termodinamika antara tekanan, volume, dan suhu gas (P-V-T) dan menunjukkan perbedaannya dari kondisi ideal. Hal ini karena, khususnya pada tekanan tinggi, gaya tarik antarmolekul ada dan volume molekul tidak dapat diabaikan. Persamaan keadaan jenis Van Der Waals, Song Mason, dan Beattie Bridgeman dapat diterapkan pada analisis skenario gas nyata (non-ideal). Ketiga persamaan keadaan nonlinier ini diwujudkan dengan cara yang kurang ideal melalui pemodelan matematika.

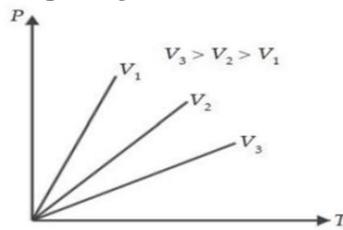
Hukum gas eksperimental yang dikenal sebagai Hukum Boyle menjelaskan bagaimana tekanan gas cenderung naik saat volume wadah turun. Pada tahun 1662, Robert Boyle pertama kali merujuknya. Hukum Boyle saat ini dinyatakan sebagai berikut:

“Tekanan absolut yang diberikan oleh massa gas ideal berbanding terbalik dengan volume yang ditempatinya dalam sistem tertutup jika suhu dan volume gas ideal tetap konstan”.

Hukum Menurut Hukum Boyle, ketika tekanan gas turun, volumenya meningkat dan sebaliknya. Meskipun analisis ini didasarkan pada model gas ideal, pemahaman tentang ekspansi isotermal dan adiabatik memberikan landasan penting untuk memahami sistem termodinamika yang lebih kompleks. Banyak sistem fisik yang sebenarnya tidak ideal, namun dengan mendekati perilaku gas ideal, proses-proses ini dapat memberikan perkiraan yang cukup baik dalam berbagai situasi praktis.

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} \text{ atau } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (3)$$

Hukum Gay-Lussac adalah proses isokhorik yang dijelaskan oleh persamaan ini. Hubungan antara tekanan dan volume ditunjukkan secara grafis pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Isokhorik

Ekspansi Isotermal Pada Perubahan Suhu Gas Ideal

Pada proses isotermal, suhu gas dijaga konstan sepanjang proses ekspansi. Berdasarkan hukum pertama termodinamika, energi dalam gas yang ditentukan oleh suhu tidak berubah karena tidak ada perubahan energi internal. Oleh karena itu, segala bentuk perubahan energi yang terjadi selama proses ini harus berupa energi yang ditransfer sebagai kerja atau panas. Dalam proses ini, hukum Boyle, yang menyatakan bahwa tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya pada suhu konstan, mengatur hubungan antara tekanan dan volume gas ($P_1V_1 = P_2V_2$).

Ekspansi isotermal seringkali dikaitkan dengan sistem ideal di mana gas ditempatkan dalam ruang tertutup dan menerima atau melepaskan panas secara perlahan sehingga suhu tetap konstan. Pada banyak aplikasi industri, prinsip ini digunakan dalam pengoperasian mesin seperti mesin uap, di mana gas bekerja pada piston sambil mempertahankan suhu konstan. Menurut konsep gas ideal, setiap gas dengan susunan kimia apa pun di bawah tekanan dan suhu tinggi biasanya rendah menunjukkan hubungan beberapa karakteristik dasar makroskopisnya, seperti volume (V), tekanan (P), dan suhu (T). Kenyaringan gas yang ditempati pada suhu dan tekanan yang diberikan sebanding dengan volume gasnya. Tetapan tetap akan ditentukan dengan mengalikan jumlah mol gas (n) dengan konstanta gas universal, akan menjadi hasil kali konstanta gas universal ($R = 8,34 \text{ J/mol.K}$) dan jumlah mol gas (n). Berikut ini adalah cara hubungan tersebut dapat dinyatakan menggunakan Hukum Boyle-Gay Lussac:

$$P.V = m.R.T \tag{4}$$

Dimana T adalah suhu absolut ($^{\circ}K$) = $273 + t$ ($^{\circ}C$) [7], P adalah tekanan absolut Pascal (N/m^2), V adalah volume (m^3), m adalah massa udara (Kg), dan R adalah konstanta udara ($KJ/kg^{\circ}K$) = $29,27$ m/K (pada $t = 0^{\circ}C$ dan $P = 760$ mmHg).

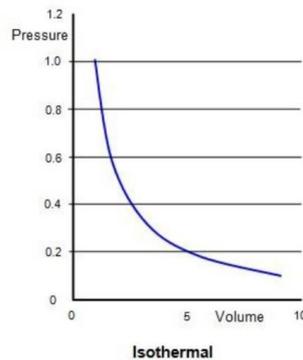
Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa untuk mempertahankan suhu konstan selama ekspansi isotermal, diperlukan transfer panas yang seimbang antara sistem gas dan lingkungannya. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan erat antara termodinamika dan perpindahan panas, yang berimplikasi pada desain dan pengembangan teknologi pengendalian suhu dalam aplikasi industri seperti sistem pendinginan dan pembangkit tenaga.

Persamaan (5) menjadi berikut jika volume spesifik (m^3/kg) adalah $v = V/m$:

$$P.v = R.T \tag{5}$$

Persamaan (5) menjadi berikut ketika T adalah konstanta:

$$P.v = \text{konstan} \tag{5}$$



Gambar 3. Grafik Isotermal

Meskipun kompresi isotermal merupakan prosedur yang sangat membantu untuk penelitian teoritis, prosedur ini tidak terlalu membantu untuk perhitungan kompresor. Sulit untuk menjaga udara di dalam kompresor asli pada suhu yang konsisten, bahkan ketika silinder didinginkan sepenuhnya. Hal ini disebabkan oleh proses kompresi cepat pada silinder, yang terjadi ratusan hingga ribuan kali setiap menit.

Menurut hukum Charles, gas ideal dengan massa tertentu mempunyai volume yang sebanding dengan suhunya pada tekanan konstan. Hukum Charles menjaga tekanan tetap konstan dan menghubungkan suhu gas dengan volumenya. Karena persamaan tersebut mendekati termodinamika gas nyata menggunakan persamaan gas ideal pada berbagai tekanan dan suhu tertentu, aturan ini dikenal sebagai hukum gas ideal. Menurut Hukum Charles:

$$\frac{V_{t1}}{T_{t1}} = \frac{V_{t2}}{T_{t2}} \tag{6}$$

Pertimbangkan balon karet tertutup yang dapat memberikan tekanan yang hampir sama pada gas dengan suhu dan laju inflasi yang bervariasi untuk memanaskan atau mendinginkan udara. Hukum Charles menjelaskan bagaimana perubahan suhu memengaruhi massa gas pada tekanan konstan. Hukum ini diciptakan oleh Jacques Charles:

"Volume gas ideal berbanding lurus dengan suhu absolutnya untuk massa tertentu pada tekanan konstan,"

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan wawasan yang mendalam tentang penerapan hukum pertama dan kedua termodinamika dalam proses ekspansi gas ideal, dengan fokus pada proses isothermal dan adiabatik. Dalam proses isothermal, suhu gas tetap konstan, dan seluruh perubahan energi terjadi melalui kerja atau panas. Sebaliknya, pada proses adiabatik, tidak ada pertukaran panas, sehingga perubahan energi internal digunakan untuk melakukan kerja, yang menyebabkan penurunan suhu. Kedua proses ini memiliki relevansi yang signifikan dalam pengembangan teknologi, seperti mesin kalor dan sistem pendinginan, yang bergantung pada hubungan antara tekanan, volume, dan suhu. Meskipun analisis ini didasarkan pada model gas ideal, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami perilaku gas dalam kondisi non-ideal, terutama dalam aplikasi industri yang lebih kompleks. Penggunaan simulasi dan eksperimen akan membantu memperdalam pemahaman ini dan berkontribusi pada pengembangan teknologi yang lebih efisien.

REFERENSI

- Trisnowati, E., Putri, D. R., Qurrota, S. S. A., Nikmah, F. K., & Mulyaningrum, D. (2023). Analisis Konsep Termodinamika pada Produksi Kerupuk Sebagai Bentuk Kearifan Lokal di Magelang Jawa Tengah. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 13(1), 268-273.
- Andriadi, F. M., Alatas, F., & Solehat, D. (2024, July). Studi Literatur Miskonsepsi Pembelajaran Hukum I Termodinamika: Identifikasi Dan Solusi. In *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Syarif Hidayatullah Jakarta* (Vol. 1, No. 1, pp. 170-180).
- Barokah, A., Sugianto, S., & Astuti, B. (2021). Analisis Perencanaan Pengembangan Instrumen Evaluasi Berbasis Higher Order Thinking Skills (Hots) Materi Hukum Termodinamika. *Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA*, 11(1), 75-86.
- Zakaria, Z., Handayani, R. N., Mariska, R., Sari, S. P., & Trisnowati, E. (2024). ANALISIS KONSEP TERMODINAMIKA BERBASIS ETNOSAINS DALAM PROSES PEMBUATAN GENTENG DI MAGELANG. *JURNAL REDOKS: JURNAL PENDIDIKAN KIMIA DAN ILMU KIMIA*, 7(1), 43-51.
- Sukmawati, L., Latifah, E., & Wisodo, H. (2023). Mesin lenoir kuantum sistem 5 fermion dalam kotak 1d. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya (JMIPAP)*, 3(4), 163-172.
- Putri, K. D., Warsito, A., & Louk, A. C. (2023). Kajian Keadaan Termodinamik Gas Argon Model Gas Ideal, Van Der Waals, Song Mason, dan Beatite Bridgeman Berdasarkan Komputasi Newton Raphson. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 8(2), 1-8.
- Kua, M. Y., & Bakti, S. C. (2021). Tabung Suntik untuk Hukum Boyle, Simulasi Pengukuran Tekanan Udara dengan Real World Problem sebagai Alternatif Pemecahan Masalah. *JURNAL IMEDTECH (Instructional Media, Design and Technology)*, 4(2), 43-53.
- Riana, M., & Anggini, A. (2024). Hukum-Hukum Gas Ideal. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(3)