



Studi Perbandingan Hukum Kedua Termodinamika dalam Sistem Terbuka dan Tertutup

Comparative Study of the Second Law of Thermodynamics in Open and Closed Systems

Adelyna Oktavia Nasution^{1*}, Nurfaiza Harahap², Chalista Dwi Putri³, Riska Arianti⁴, Desi Arni Syahfitri⁵, Indy Fuan Maharani Angkat⁶

¹⁻⁶ Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

*Corresponding Author: E-mail: nurfaiza0705221007@uinsu.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 04 Jan, 2025

Revised: 21 Feb, 2025

Accepted: 21 Feb, 2025

Kata Kunci:

Hukum Kedua
Termodinamika, Sistem
Terbuka, Sistem
Tertutup, Entropi

Keywords:

*The Second Law of
Thermodynamics, Open
Systems, Closed Systems,
Entropy*

DOI: [10.56338/jks.v8i2.6783](https://doi.org/10.56338/jks.v8i2.6783)

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perbandingan penerapan Hukum Kedua Termodinamika pada sistem terbuka dan tertutup dengan fokus pada perubahan entropi. Sistem terbuka memungkinkan pertukaran energi dan massa dengan lingkungan, sementara sistem tertutup hanya memungkinkan pertukaran energi tanpa adanya aliran massa. Metode penelitian menggunakan pendekatan teoritis dan analisis komparatif berdasarkan kajian literatur yang relevan. Pada sistem tertutup, seperti siklus Rankine, entropi meningkat selama proses ireversibel karena tidak ada aliran massa, yang membatasi efisiensi termodinamika. Sebaliknya, sistem terbuka, seperti turbin uap, dapat mempertahankan efisiensi yang lebih tinggi karena mampu memanfaatkan aliran massa dan energi dari lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam proses-proses tertentu, sistem terbuka lebih efektif dalam menghasilkan kerja mekanis dan mempertahankan kondisi steady-state. Namun, Hukum Kedua Termodinamika tetap berlaku pada kedua sistem: entropi total, termasuk lingkungan, selalu bertambah dalam setiap proses ireversibel. Perbandingan ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana efisiensi dan entropi berperan dalam menentukan kinerja kedua jenis sistem, serta aplikasinya dalam teknik dan industri. Penelitian ini menyimpulkan bahwa meskipun sistem terbuka lebih unggul dalam hal efisiensi, batasan-batasan dalam sistem tertutup tetap relevan dalam konteks di mana kendali terhadap lingkungan dibutuhkan.

ABSTRACT

This study discusses the comparative application of the Second Law of Thermodynamics to open and closed systems with a focus on changes in entropy. Open systems allow the exchange of energy and mass with the environment, while closed systems only allow the exchange of energy in the absence of mass flow. The research method uses a theoretical approach and comparative analysis based on relevant literature review. In closed systems, such as the Rankine cycle, entropy increases during irreversible processes because there is no mass flow, which limits the efficiency of thermodynamics. In contrast, open systems, such as steam turbines, can maintain higher efficiency because they are able to utilize the flow of mass and energy from the environment. The results show that in certain processes, open systems are more effective in producing mechanical work and maintaining steady-state conditions. However, the Second Law of Thermodynamics remains true to both systems: total entropy, including the environment, always increases in each irreversible process. This comparison provides important insights into how efficiency and entropy play a role in determining the performance of both types of systems, as well as their applications in engineering and industry. The study concludes that although open systems are superior in terms of efficiency, the limitations in closed systems remain relevant in contexts where environmental control is needed.

PENDAHULUAN

Termodinamika adalah ilmu tentang energi, yang secara spesifik membahas tentang hubungan antara energi panas dengan kerja (Ansyah & Ramadhan, n.d.). Termodinamika merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang kalor beserta dengan perpindahannya. Termodinamika mempelajari konsep pertukaran energi dalam bentuk kalor dan kerja, sistem pembatas dan lingkungan (Yolanda, 2021)

Termodinamika dalam bahasa Yunani adalah *thermos* yang artinya panas, sedangkan *dinamik* artinya perubahan titik. Jadi termodinamika adalah fisika energi, panas, kerja, entropi, dan ke spontanitas proses (Chusni et al., 2018).

Prinsip termodinamika tersebut sebenarnya telah terjadi secara alami dalam kehidupan sehari-hari. Bumi setiap hari menerima energi gelombang elektromagnetik dari matahari, dan di bumi energi tersebut berubah menjadi energi panas, energi angin, gelombang laut, proses pertumbuhan berbagai tumbuh-tumbuhan dan banyak proses alam lainnya (Warnana, D. D, 2021). Energi bisa diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya, baik secara alami atau buatan manusia. Termodinamika merupakan ilmu energi yang mendalami mengenai hubungan antara panas, kerja, entropi, dan kesespontanan proses (Fatiatun et al., 2022).

Hukum termodinamika adalah hukum yang menjelaskan hubungan antara energi panas dan proses kerja tekniknya, serta perpindahan panas dan usaha pada prosesnya. Hukum termodinamika mencakup hukum-hukum dasar tertentu seperti hukum nol termodinamika, hukum termodinamika pertama, hukum termodinamika kedua, serta hukum termodinamika ketiga. Kondisi ini hanya dapat dicapai jika suhu kedua benda tersebut sama, sebab perpindahan kalor terjadi karena adanya perbedaan suhu. Hukum pertama termodinamika merupakan hukum kekekalan energi yang diterapkan pada sistem. Segala sesuatu di luar sistem tersebut yang mempunyai pengaruh langsung kepada sifat sistem tersebut dinamakan lingkungan. Batas antara sistem dengan lingkungannya disebut batas sistem (*boundary*). Hukum termodinamika kedua menyatakan bahwa entropi dari sebuah sistem terisolasi yang berada dalam kesetimbangan termodinamika tidak akan pernah berkurang (Siagian et al., 2023).

Hukum ketiga termodinamika menyatakan bahwa entropi suatu sistem mendekati nilai konstan ketika suhu mendekati nol absolut. Perhatikan arah perubahan alami distribusi energi dan memperkenalkan prinsip peningkatan entropi (Lewerissa, 2018). Entropi sistem pada nol absolut biasanya nol, dan dalam semua kasus hanya ditentukan oleh jumlah kondisi dasar yang dimilikinya. Secara khusus, entropi zat kristal murni (urutan sempurna) pada suhu nol absolut adalah nol. Pengabstrakan dasar atas termodinamika adalah pembagian dunia menjadi sistem dibatasi oleh kenyataan atau ideal dari batasan. Sistem yang tidak termasuk dalam pertimbangan digolongkan sebagai lingkungan. Dan pembagian sistem menjadi subsistem masih mungkin terjadi, atau membentuk beberapa sistem menjadi sistem yang lebih besar.

Hukum II termodinamika menjelaskan bahwa kalor atau panas yang dimiliki oleh benda yang bersuhu tinggi akan mengalir secara langsung menuju benda dengan suhu yang lebih rendah (Eli Trisnowati et al., 2023). Hukum Kedua Termodinamika menjadi prinsip dasar yang penting dalam memahami sistem terbuka dan tertutup. Dalam sistem terbuka, massa dan energi dapat berpindah ke lingkungan dan dari lingkungan, sedangkan dalam sistem tertutup, hanya energi yang dapat bertukar tanpa adanya perpindahan massa. Perbedaan karakteristik ini memberikan implikasi yang berbeda dalam penerapan hukum kedua termodinamika. Dalam sistem tertutup, perubahan entropi dapat dianalisis melalui energi yang masuk dan keluar, sedangkan dalam sistem terbuka, entropi yang dihasilkan dari aliran massa juga harus dipertimbangkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hukum kedua termodinamika dalam sistem terbuka dan tertutup, dengan fokus pada bagaimana kedua sistem ini berperilaku dalam konteks entropi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang perbedaan ini, yang diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang penerapan hukum termodinamika kedua.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis teoritis dan komparatif untuk memahami penerapan hukum kedua termodinamika dalam sistem terbuka dan tertutup. Langkah pertama yang dilakukan adalah “pengumpulan literature” terkait hukum kedua termodinamika, yang meliputi buku-buku teks, jurnal ilmiah, dan artikel dari sumber tepercaya. Kajian literatur ini berfokus pada teori entropi, siklus termodinamika, serta prinsip-prinsip yang mengatur kedua jenis sistem, baik terbuka maupun tertutup.

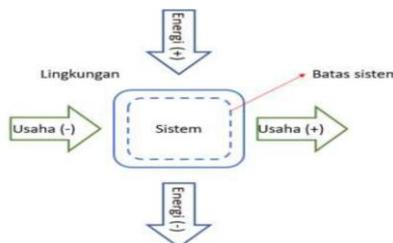
Selanjutnya, penelitian ini melakukan klasifikasi system menjadi dua kategori, yaitu sistem tertutup (yang hanya memungkinkan pertukaran energi dengan lingkungan tanpa pertukaran massa) dan sistem terbuka (yang memungkinkan pertukaran energi dan massa dengan lingkungan). Pada setiap jenis sistem, hukum kedua termodinamika diterapkan dengan analisis yang terpisah. Untuk sistem tertutup, penelitian berfokus pada perubahan entropi yang terjadi dalam proses-proses tanpa adanya aliran massa masuk atau keluar, sementara untuk sistem terbuka, analisis mencakup perubahan entropi dengan mempertimbangkan pertukaran massa dan energi.

Kemudian, penelitian ini melakukan perbandingan konsep antara kedua jenis sistem. Dalam perbandingan ini, dilihat bagaimana entropi, efisiensi termodinamika, serta arah alami dari setiap proses dipengaruhi oleh interaksi sistem dengan lingkungannya. Jika memungkinkan, dilakukan juga studi kasus pada sistem nyata yang mewakili kedua jenis sistem, misalnya turbin uap sebagai contoh sistem terbuka, dan siklus Rankine sebagai contoh sistem tertutup. Data dari studi kasus ini diambil dari literatur ilmiah yang sudah ada atau simulasi termodinamika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara energi panas dan kerja dibahas pada termodinamika. Komponen yang termasuk pada proses termodinamika ialah sistem, lingkungan, kerja, dan kalor (Intan Zahrani Mufidah et al., 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan penerapan hukum kedua termodinamika pada sistem terbuka dan tertutup. Berdasarkan analisis teoritis dapat dilihat melalui pembahasan dibawah ini:

Sistem merupakan suatu kondisi yang dihitung atau diperhatikan. Pada kondisi diluar sistem disebut dengan lingkungan (Subekti & Suropto, 2022). Sistem dan lingkungan dibatasi oleh boundary sistem (garis batas) (Dewadi & Lillahulhaq, n.d.).



Gambar 1. Energi dan usaha yang masuk keluar sistem

Energi dan usaha yang melintasi batas sistem dalam perhitungan thermodynamika, arah perpindahan energi keluar dan masuk dalam suatu sistem perlu dinyatakan dalam dengan tanda positif dan negatif. Secara matematis, hukum termodinamika kedua dapat dinyatakan sebagai:

$$dS > 0 \quad (1)$$

Boltzmann merumuskan entropi dengan merujuk pada jumlah total keadaan mikro yang dapat diakses oleh suatu sistem (Dharma et al., 2024)

PEMBAHASAN

Pada sistem tertutup, di mana tidak ada pertukaran massa dengan lingkungan, perubahan entropi hanya dipengaruhi oleh pertukaran energi dalam bentuk panas dan kerja. Dalam proses ireversibel, entropi sistem selalu bertambah, sesuai dengan hukum kedua termodinamika. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan entropi dalam sistem tertutup terutama terjadi selama proses seperti ekspansi gas tanpa adanya pertukaran massa. Siklus Rankine menjadi contoh ideal yang banyak dibahas dalam studi ini, karena siklus tersebut melibatkan sistem tertutup yang menjalani beberapa tahap pemanasan dan pendinginan, yang diatur oleh hukum kedua termodinamika. Contoh sistem tertutup: air di dalam panci yang dipanaskan di atas kompor.

Dalam sistem terbuka, pertukaran massa dengan lingkungan turut memengaruhi perubahan entropi. Hukum kedua termodinamika tetap berlaku, tetapi dengan tambahan faktor pertukaran massa, sehingga perhitungan perubahan entropi lebih kompleks. Sistem terbuka seperti turbin uap, yang memungkinkan adanya aliran massa dan energi keluar dan masuk sistem, mengalami penurunan entropi ketika energi kerja dihasilkan, meskipun secara total, termasuk lingkungan, entropi tetap bertambah. Studi ini menunjukkan bahwa sistem terbuka memiliki efisiensi yang lebih tinggi pada proses-proses tertentu dibandingkan sistem tertutup karena adanya kemampuan untuk mempertahankan kondisi steady-state sambil tetap melakukan kerja termodinamika. Contoh sistem terbuka: proses pembakaran api unggun di luar lingkungan.

Penelitian ini menemukan bahwa sistem terbuka cenderung lebih efisien dalam konteks kerja mekanis karena dapat memanfaatkan aliran massa dan energi dari lingkungan untuk mengoptimalkan proses termodinamika. Sebaliknya, sistem tertutup memiliki batasan dalam hal efisiensi karena terbatasnya sumber energi yang hanya berasal dari dalam sistem. Namun, efisiensi termodinamika keduanya tetap dipengaruhi oleh entropi, di mana proses yang lebih ireversibel menghasilkan peningkatan entropi yang lebih besar, yang pada akhirnya mengurangi efisiensi.

KESIMPULAN

Konsep termodinamika terkait perbandingan penerapan hukum kedua termodinamika dalam sistem tertutup hanya dipengaruhi oleh pertukaran energi (panas dan kerja) dengan lingkungan. Pada proses ireversibel, entropi selalu bertambah, seperti yang diamati pada siklus Rankine, yang merupakan contoh sistem tertutup. Sedangkan pada sistem terbuka penerapan hukum kedua termodinamika lebih efisien dalam konteks kerja mekanis karena bisa memanfaatkan aliran massa dan energi dari lingkungan. Sebaliknya, sistem tertutup memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi karena hanya bergantung pada energi dari dalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyah, P. R., & Ramadhan, M. N. (n.d.). *TERMODINAMIKA TEKNIK I HMKK208*.
- Chusni, M. M., Amelia, A., Azizah, D. S., Zafira, K. F., & Agustina, R. D. (2018). FENOMENA ENTROPI DILIHAT DARI PERSPEKTIF SAINS DAN AL-QUR'AN. *SPEKTRA : Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 4(2), 105. <https://doi.org/10.32699/spektra.v4i2.51>
- Dewadi, F. M., & Lillahulhaq, Z. (n.d.). *TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA*.
- Dharma, S., Pebralia, J., & Alrizal, A. (2024). SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: APAKAH ENTROPI MEMILIKI HUBUNGAN TERHADAP PANAH WAKTU? *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 9(3), 77–90. <https://doi.org/10.22437/jop.v9i3.35195>
- Eli Trisnowati, Desika Rosiana Putri, Sabilla Safa Annisa Qurrota, Filda Khoirun Nikmah, & Danysa Mulyaningrum. (2023). Analisis Konsep Termodinamika pada Produksi Kerupuk Sebagai Bentuk Kearifan Lokal di Magelang Jawa Tengah. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 13(1), 268–

273. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i1.795>

- Fatiatun, F., Pratiwi, A. D., Wirdati, A. C., & Avifatun, N. (2022). PENERAPAN TERMODINAMIKA HEATING DAN COLLING PADA DISPENSER. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 9(2), 146–150. <https://doi.org/10.32699/ppkm.v9i2.2658>
- Intan Zahrani Mufidah, Eli Trisnowati, Keisya Meifiyanti Salsabila, Choirul Muniroh, Fitri Dea Mawa Risqi, & Rizki Kurniawan. (2023). Analisis Hukum Termodinamika pada Pembuatan Batu Bata di Magelang, Jawa Tengah. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 13(3), 784–789. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i3.1053>
- Lewerissa, Y. J. (2018). ANALISIS ENERGI PADA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DENGAN CYCLE TEMPO. *Jurnal Voering*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.32531/jvoe.v3i1.85>
- Siagian, R. C., Alfaris, L., Nurahman, A., & Sumarto, E. P. (2023). TERMODINAMIKA LUBANG HITAM: HUKUM PERTAMA DAN KEDUA SERTA PERSAMAAN ENTROPI. *Jurnal Kumparan Fisika*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.1-10>
- Subekti, P., & Suropto, H. (2022). *Article Review: Konsep Dasar Termodinamika*. 1(2).
- Warnana, D. D. (2021). Keseimbangan Termal dan Hukum ke Nol Termodinamika (Modul 1, PEFI4208). Universitas Terbuka.
- Yolanda, Y. (2021). Pengembangan Modul Ajar Fisika Termodinamika Berbasis Kontekstual. *JURNAL JENDELA PENDIDIKAN*, 1(03), 80–95. <https://doi.org/10.57008/jjp.v1i03.12>