

Analisis Pemanas Air pada Kompor–Panci Listrik sebagai Model Acuan Efisiensi Mesin Carnot Berdasarkan Pernyataan Hukum Kelvin–Planck

Adelyna Oktavia Nasution¹ M Reza Rafiqi Nasution² Arif Nurniat Gulo³ Ica Agustriani Ge'e⁴ Afriza Riyanti⁵ Zakya Maulida⁶ Lima Sukria Muktar Dalimunthe⁷ Marito⁸ Suci Rahmawati⁹ Suci Rahmawati¹⁰ Maijiah Sirait¹¹ Amara Anastasya¹² Syakila Maharani¹³
Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13}

Email: adelyna1100000198@uinsu.ac.id¹ rafreza94@gmail.com²
arifnurniatgulo07@gmail.com³ geeica345@gmail.com⁴ afrizariyanti16@gmail.com⁵
zakya0705231013@uinsu.ac.id⁶ limasukriamuktar14@gmail.com⁷
Maritohasibuan25@gmail.com⁸ scirahmawatiiiii@gmail.com⁹
rahmawatisuci942@gmail.com¹⁰ maiijahsirait156@gmail.com¹¹ amranstysya@gmail.com¹²
syakilamaharani53@gmail.com¹³

Abstrak

Perkembangan kompor listrik sebagai alat pemanas modern mendorong perlunya pemahaman tentang seberapa efisien alat ini mengubah energi listrik menjadi panas. Penelitian ini bertujuan mengukur energi listrik yang digunakan kompor listrik, menghitung panas yang diserap air, serta membandingkan efisiensi nyata sistem dengan efisiensi ideal Mesin Carnot sebagai acuan teoritis. Dari hasil percobaan, energi listrik masuk sebesar 81.000 J, sedangkan energi yang terserap air mencapai 71.615 J, menghasilkan efisiensi nyata sekitar 88%. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan efisiensi Carnot yang hanya sekitar 19%. Perbedaan tersebut sesuai dengan Hukum Kelvin–Planck yang menyatakan bahwa tidak ada mesin kalor yang dapat mencapai efisiensi 100%, dan kompor listrik memang bukan mesin kalor, melainkan alat yang langsung mengubah listrik menjadi panas. Temuan ini menunjukkan bahwa kompor listrik memiliki kinerja pemanasan yang sangat efektif, meskipun tetap terdapat sebagian energi yang hilang ke lingkungan.

Kata Kunci: Kompor Listrik, Efisiensi, Mesin Carnot, Kelvin–Planck, Energi Masuk–Keluar, Pemanasan Air



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Kompor merupakan salah satu alat memasak yang dapat menghasilkan panas tinggi. Alat ini bekerja dengan sistem tertutup atau terisolasi, di mana bahan bakar diproses untuk menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk memasak makanan di atasnya. Dalam kehidupan sehari-hari, kompor menjadi perangkat penting dan terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Awalnya, manusia menggunakan tungku atau kayu bakar sebagai sumber panas. Selanjutnya, kompor berkembang menggunakan bahan bakar minyak tanah, kemudian bergeser ke gas yang lebih praktis. Memasuki era modern, inovasi kompor semakin maju dengan hadirnya kompor listrik. Penggunaannya jauh lebih mudah karena hanya perlu disambungkan ke sumber listrik tanpa perlu mencari kayu bakar atau memasang tabung gas. Dengan adanya kompor listrik, kegiatan memasak menjadi lebih cepat, praktis, dan efisien (Efendi et al., 2023). Pemanas air merupakan perangkat penting yang banyak digunakan. Cara kerja pemanas air listrik yaitu dengan mengalirkan air ke dalam tangki berisolasi yang berisi elemen pemanas, elemen tersebut akan menghasilkan panas ketika dialiri arus listrik. Pada sistem ini juga terdapat thermostat yang berfungsi untuk mengatur suhu secara otomatis, sehingga pemanas dapat menyala dan mati sesuai kebutuhan. Ketika air panas

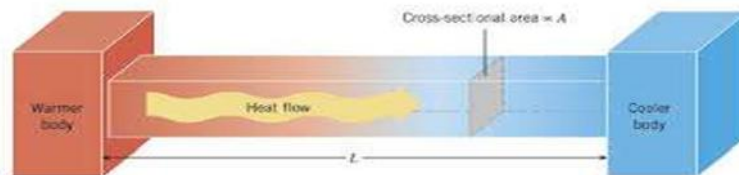
digunakan, tangki akan kembali terisi air dingin sehingga suhu air akan menurun sebelum dipanaskan kembali. Namun, salah satu kelemahan pemanas air listrik adalah kebutuhan daya listrik yang cukup besar untuk menghasilkan panas. Saat ini, pemanas air tersedia dalam berbagai pilihan sumber energi seperti gas, listrik, dan tenaga surya. Pemanas air tenaga surya memiliki harga awal yang lebih tinggi dibandingkan pemanas air gas maupun listrik, namun biaya operasionalnya sangat rendah karena memanfaatkan energi matahari. Sementara itu, pemanas air listrik lebih praktis digunakan, tetapi biaya operasionalnya cenderung lebih tinggi dibanding pemanas air berbahan bakar gas. Karena pertimbangan biaya awal, sebagian besar pengguna rumah tangga di Indonesia cenderung memilih pemanas air listrik atau gas. (Fauzie et al., 2023).

Untuk memahami bagaimana meningkatkan efisiensi mesin kalor, seorang ilmuwan Prancis bernama Sadi Carnot (1796–1832) melakukan pengujian terhadap karakteristik mesin ideal yang kemudian dikenal sebagai mesin Carnot. Pada desain ini, setiap proses penyerapan dan pembuangan kalor, baik selama ekspansi maupun kompresi gas, dirancang agar dapat berlangsung secara terbalik. Proses tersebut dilakukan sangat perlahan sehingga gas berada dalam serangkaian keadaan setimbang, atau disebut proses reversibel, yang memungkinkan seluruh siklus dapat dibalik tanpa perubahan besar pada kerja yang dilakukan ataupun jumlah kalor yang terlibat. Namun, pada kenyataannya, proses yang terjadi pada mesin nyata berlangsung jauh lebih cepat. Hal ini menyebabkan munculnya turbulensi, gesekan, dan berbagai ketidaksempurnaan lainnya. Karena faktor-faktor tersebut, proses nyata tidak dapat dibalik secara sempurna, sebab kondisi turbulensi tidak akan sama ketika dibalik dan kalor yang hilang akibat gesekan tidak dapat dipulihkan. Oleh karena itu, proses nyata disebut irreversibel atau tidak dapat dibalik. Menurut pernyataan Kelvin–Planck pada Hukum Kedua Termodinamika, "Tidak ada alat yang dapat bekerja dengan efek tunggal mengubah seluruh kalor yang diterima menjadi kerja secara sempurna." Artinya, tidak ada mesin kalor yang memiliki efisiensi 100% atau benar-benar sempurna. Sebagai contoh, jika mesin kapal tidak memerlukan reservoir suhu rendah untuk membuang panas yang diterima, maka secara teori kapal dapat beroperasi hanya dengan memanfaatkan energi panas dari air laut yang jumlahnya sangat besar. Namun kondisi tersebut tidak mungkin terjadi pada praktik nyata. (Yaqin, 2017). Penelitian ini bertujuan menganalisis proses pemanasan air oleh kompor listrik dengan mengukur energi listrik yang digunakan dan panas yang diterima air, kemudian menghitung efisiensi nyata sistem. Hasilnya dibandingkan dengan efisiensi ideal Mesin Carnot untuk melihat sejauh mana kinerja pemanas air mendekati batas teoritis. Selain itu, penelitian meninjau perbedaan kedua efisiensi tersebut berdasarkan pernyataan Hukum Kelvin–Planck yang menegaskan bahwa tidak ada mesin kalor yang dapat bekerja dengan efisiensi sempurna.

Tinjauan Pustaka

Hukum II termodinamika menyatakan bahwa energi panas dari suatu benda bersuhu lebih tinggi akan berpindah secara alami menuju benda yang bersuhu lebih rendah. Hukum Kedua Termodinamika menjadi prinsip dasar yang penting untuk memahami sistem terbuka maupun tertutup. Pada sistem terbuka, energi dan massa dapat keluar masuk berinteraksi dengan lingkungan, sebaliknya pada sistem tertutup, tidak ada perpindahan massa, namun perpindahan energi tetap terjadi. Perbedaan karakteristik ini menimbulkan implikasi yang berbeda dalam penerapan hukum kedua termodinamika. Sistem yang tertutup, perubahan pada entropi dapat ditelusuri melalui energi yang mengalir ke dalam atau keluar, sebaliknya pada sistem terbuka, perlu memperhitungkan tambahan entropi yang dibawa oleh aliran massa (Nasution et al., 2025). Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses mengalirnya energi panas dari daerah bersuhu lebih tinggi menuju daerah bersuhu lebih rendah melalui

suatu medium seperti padat, cair, atau gas. Proses ini terjadi karena adanya kontak langsung antar molekul tanpa perpindahan massa yang signifikan, sesuai dengan teori kinetik. Dengan kata lain, konduksi adalah mekanisme perpindahan panas dari bagian yang memiliki temperatur tinggi ke bagian lain yang temperaturnya lebih rendah melalui material, tanpa diikuti perpindahan material itu sendiri. Ketika salah satu ujung batang logam dipanaskan, panas akan bergerak menuju ujung lainnya yang lebih dingin. Hal ini terjadi karena energi dari molekul yang lebih panas berpindah ke molekul di sekitarnya yang memiliki energi lebih rendah.



Gambar 1. Aliran Panas Yang Terjadi Pada Saat Konduksi

Perpindahan panas konveksi merupakan mekanisme perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya aliran energi panas antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak di atasnya. Proses ini berlangsung karena gerakan molekul secara acak (random) maupun karena adanya pergerakan fluida secara keseluruhan pada tingkat mikroskopis. (Fauzie et al., 2023).



Gambar 2. Perpindahan Panas Konveksi

Konsep Mesin Carnot dan Efisiensinya diperkenalkan oleh Sadi Carnot pada tahun 1824, yang menggambarkan sebuah mesin kalor ideal dalam bentuk siklus termodinamika tertutup. Mesin ini beroperasi diantara dua reservoir panas, satu bersuhu tinggi dan satu bersuhu rendah, sehingga memungkinkan analisis efisiensi maksimum yang dapat dicapai suatu mesin kalor. Siklus tersebut terdiri atas empat reversible, yaitu dua proses isothermal dan dua proses adiabatik yang bersama-sama membentuk gambaran teoritis mengenai performa mesin kalor paling efisien. Mesin Carnot memiliki efisiensi yang hanya bergantung pada suhu reservoir panas (T_{HT}) dan suhu reservoir dingin (T_{LT}), dengan efisiensi teoritis dinyatakan sebagai: $\eta = 1 - (T_{LT}/T_{HT})$

Efisiensi ini menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan suhu antara reservoir, semakin tinggi efisiensi yang dapat dicapai. Studi oleh Clausius dan Kelvin memperkuat prinsip bahwa tidak ada mesin yang dapat memiliki performa yang tinggi antara dua reservoir suhu yang sama dari mesin Carnot saat bekerja (Halawa et al., 2024). Menurut pernyataan Kelvin-Planck pada Hukum Kedua Termodinamika, "Tidak ada alat yang dapat bekerja dengan efek tunggal mengubah seluruh kalor yang diterima menjadi kerja secara sempurna." Artinya, tidak ada mesin kalor yang memiliki efisiensi 100% atau benar-benar sempurna. Sebagai contoh, jika mesin kapal tidak memerlukan reservoir suhu rendah untuk membuang panas yang diterima, maka secara teori kapal dapat beroperasi hanya dengan memanfaatkan energi panas dari air laut yang jumlahnya sangat besar. Namun kondisi tersebut tidak mungkin terjadi pada praktik nyata (Yaqin, 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui percobaan sederhana untuk menganalisis proses pemanasan air pada kompor-panci listrik sebagai model praktis yang dibandingkan dengan efisiensi ideal Mesin Carnot, sehingga dapat dilihat bagaimana proses nyata tersebut memenuhi atau menyimpang dari batas teoritis yang ditetapkan oleh pernyataan Hukum Kelvin–Planck mengenai keterbatasan konversi energi. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Panci Listrik
2. Panci Aluminium
3. Gelas Ukur
4. Termometer Digital
5. Stopwatch
6. Timbangan
7. Air

Adapun prosedur percobaan pada penelitian ini yaitu:

Mengukur energi listrik yang digunakan pada Kompor Listrik

1. Masukkan air kedalam gelas ukur catat suhu awal T_1 ($^{\circ}\text{C}$)
2. Timbang masa air m (kg), Anggap ini sebagai suhu reservoir dingin T_L
3. Catat daya Komporlistrik nyata T (W)
4. Masukkan air yang sudah ditimbang kedalam kompor Listrik
5. Hidupkan kompor listrik sampai panas maksimal dan catat waktu yang dibutuhkan Lalu menghitung energi Listrik masuk :

$$W = P \times t$$



Gambar 3. Proses Pemanasan Air

Mengukur perubahan suhu

1. Catat suhu akhir Air yang telah dipanaskan T_2 ($^{\circ}\text{C}$)
Lalu menghitung energi panas yang diterima air

$$Q = m \times c (T_2 - T_1)$$

Menghitung efisiensi nyata kompor-panci Listrik

Efisiensinya dihitung dengan :

$$\eta_{\text{nyata}} = \frac{Q}{W} \times 100\%$$

ini menunjukkan berapa persen energi listrik berubah menjadi panas yang berguna.

Menentukan efisiensi carnot sebagai batas ideal

1. Tentukan temperature reservoir dingin T_L = suhu awal air T_1 ($^{\circ}\text{C}$ diubah ke K : $T (\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273$)
2. Tentukan temperature reservoir panas T_H = suhu akhir air T_2 Lalu menghitung efisiensi carnot :

$$\eta_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Membandingkan efisiensi nyata kompor dengan efisiensi carnot

Jika efisiensi nyata jauh lebih kecil, berarti banyak energi hilang ke lingkungan. Perbandingan ini menunjukkan seberapa tidak ideal pemanas air tersebut.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Mengukur energi listrik yang masuk pada kompor Listrik

Dengan: $P = 450 \text{ watt}$

$t = 180 \text{ detik}$

$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ &= 450 \times 180 \\ &= 81.000 \text{ J} \\ &= 81,0 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Mengukur Perubahan suhu

Dengan: $m = 0,25261 \text{ Kg}$

$C = 4200 \text{ J/kg}$

$T_1 = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_2 = 88,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q &= m \times c (T_2 - T_1) \\ &= 0,25261 \times 4200 (88,6 - 21,1) \\ &= 0,25261 \times 4200 \times 67,5 \\ &= 71.615 \text{ J} \\ &= 71,6 \text{ k} \end{aligned}$$

Menghitung efisiensi nyata kompor Listrik

Dengan: $Q = 71.615$

$W = 81.000$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{nyata}} &= \frac{Q}{W} \times 100\% \\ &= \frac{71.615}{81.000} \times 100\% \\ &= 0,88 \times 100\% \\ &= 88\% \end{aligned}$$

Menentukan efisiensi carnot sebagai batas ideal

Dengan: T_L = suhu awal air (T_1)

$T_1 = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_L = 21,1 + 273 = 294,1 \text{ K}$

T_H = suhu akhir air (T_2)

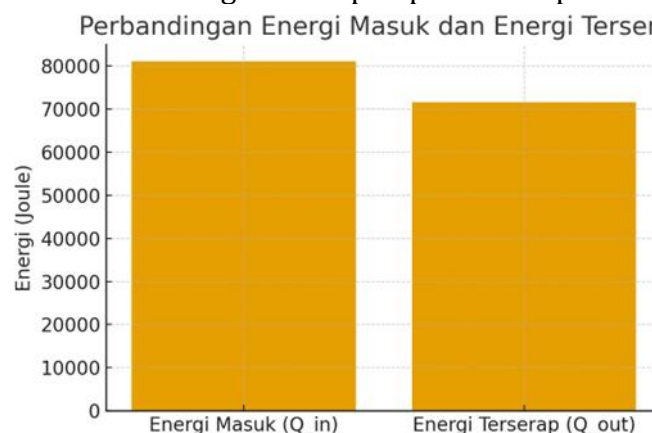
$T_2 = 88,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_H = 88,6 + 273 = 361,6 \text{ K}$

$$\begin{aligned}\eta_{\text{carnot}} &= 1 - \frac{T_L}{T_H} \\ &= 1 - \frac{294,1}{361,6} \\ &= 1 - 0,81 \\ &= 0,19\%\end{aligned}$$

Membandingkan efesiensi nyata kompor dengan efesiensi carnot

Efesiensi nyata (88%) jauh lebih tinggi dari pada efesiensi Carnot (19%). Perbedaan besar ini tidak menunjukkan pelanggaran hukum termodinamika, karena Kompor listrik bukan mesin kalor. Carnot berlaku untuk mesin kalor yang mengubah panas kerja, bukan alat pemanas listrik yang mengubah listrik panas secara langsung. Kompor listrik justru mendekati proses 100% konversi energi listrik menjadi panas, sehingga efisiensinya wajar jauh lebih tinggi dari Carnot. Berdasarkan pernyataan Hukum Kelvin-Planck dalam Hukum kedua Termodinamika yang dirumuskan oleh Lord Kelvin dan Max Planck yang menyatakan bahwa "Tidak ada alat yang dapat bekerja dengan efek tunggal mengubah seluruh kalor yang diterima menjadi kerja secara sempurna" (Yaqin, 2017). Hasil percobaan menunjukkan bahwa kompor listrik memiliki efesiensi nyata sebesar 88%, yang berasal dari perbandingan antara energi panas yang berhasil diserap air dengan energi listrik yang diberikan selama proses pemanasan. Sementara itu, perhitungan menggunakan efesiensi Carnot dengan batas suhu dan menghasilkan nilai efesiensi ideal sebesar 19%. Perbedaan besar antara kedua nilai ini bukan berarti kompor listrik lebih efisien daripada mesin kalor ideal, melainkan karena kedua sistem bekerja dengan prinsip yang berbeda. Carnot mengatur batas efesiensi mesin kalor yang mengubah panas menjadi kerja mekanik, sedangkan kompor listrik mengubah energi listrik langsung menjadi panas, sehingga wajar memiliki efesiensi mendekati 100%. Dengan demikian, perbandingan ini menegaskan bahwa efesiensi Carnot tidak digunakan untuk menilai kinerja alat pemanas listrik, tetapi sebagai acuan teoretis dalam memahami batas maksimal efesiensi konversi panas pada mesin kalor. Berdasarkan dari hasil perhitungan diatas nilai energi yang masuk mencapai 81.000 Joule, sedangkan energi yang terserap oleh air sekitar 71.615 Joule. Perbandingan energi masuk dan energi terserap dapat dilihat pada Grafik 1.



Grafik 1. Perbandingan Energi Masuk dan Energi Terserap

Berdasarkan Grafik 1. Perbandingan antara energi masuk (Q_{in}) dari kompor listrik dan energi yang benar-benar diserap air (Q_{out}) selama proses pemanasan. Nilai energi masuk

sekitar 81.000 Joule, sedangkan energi yang terserap air sekitar 71.615 Joule. Perbedaan kedua nilai ini terlihat pada tinggi batang: batang Qin lebih tinggi daripada batang Qout. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa energi listrik yang masuk ke kompor tidak seluruhnya berubah menjadi energi panas yang terserap oleh air. Sebagian energi hilang dalam bentuk panas yang tersalur ke lingkungan, permukaan kompor, dan wadah air. Meskipun demikian, selisih yang tidak terlalu besar menggambarkan bahwa kompor listrik memiliki efisiensi nyata yang cukup tinggi, yaitu sekitar 88%, karena sebagian besar energi listrik tetap berhasil digunakan untuk menaikkan suhu air.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanasan air dengan menggunakan kompor listrik menunjukkan efisiensi nyata yang cukup tinggi, yaitu sekitar 88%. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan antara energi listrik yang masuk dengan energi panas yang benar-benar terserap oleh air. Tingginya efisiensi ini wajar terjadi karena kompor listrik bekerja dengan cara mengubah energi listrik secara langsung menjadi panas, sehingga prosesnya relatif minim kehilangan energi. Ketika dibandingkan dengan efisiensi Carnot, yang hanya mencapai sekitar 19%, terlihat perbedaan yang sangat besar. Namun perbedaan ini bukanlah bentuk pelanggaran terhadap hukum termodinamika, sebab efisiensi Carnot berlaku untuk mesin kalor yang mengubah panas menjadi kerja mekanik, bukan untuk alat pemanas seperti kompor listrik. Perbandingan ini justru memperjelas bahwa efisiensi Carnot hanyalah batas teoritis dalam mesin kalor, sedangkan pemanas listrik memiliki mekanisme kerja yang berbeda. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kompor listrik merupakan perangkat pemanas yang sangat efisien, dan hasil percobaan ini sekaligus memperkuat pemahaman bahwa setiap sistem energi memiliki batasan, karakteristik, dan cara kerja yang tidak dapat disamakan satu sama lain menurut hukum Kelvin-Planck dalam termodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

- Efendi, I. N., Isma, N. M., Silvia, M. K., (2023). Analisis Konsep Ipa Dalam Cara Kerja Kompor Listrik. Jurnal Pendidikan Sultan Agung JP-SA. 3(005).
- Fauzie, M. A., Muin, A., Kohar, R., & V, R. M. (2023). Kaji Eksperimental Penggunaan Heater Listrik. Jurnal Desiminasi Teknologi. 11, 135–142.
- Halawa, C., Bulan, H., Halawa, S., Informasi, T., Nias, U., Informasi, T., & Nias, U. (2024). Analisis Efisiensi Mesin Carnot Dalam Sistem. Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan Dan Teknik. 01(November), 44–49.
- Nasution, A. O., Harahap, N., Putri, C. D., Arianti, R., & Arni, D. (2025). Studi Perbandingan Hukum Kedua Termodinamika Dalam Sistem Terbuka Dan Tertutup Comparative Study Of The Second Law Of Thermodynamics In Open And Closed Systems. 8(2), 1135– 1139. <https://doi.org/10.56338/jks.v8i2.6783>
- Yaqin, M. K., (2017). Identifikasi Pemahaman Konsep Termodinamika Siswa Sma Di Kabupaten Jember. Jember.