

Peltier System Performance Analysis on Portable Refrigeration Machines: 30 Minute Experimental Case Study

**S Chalimah¹, R Setyobudi¹, R B Anggoro¹, A Sadrina¹, C M Putri¹, M H B Satria¹,
E S Buana¹, A R Rizqullah¹**

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, 60294, Indonesia

*Corresponding E-mail: 21036010046@student.upnjatim.ac.id

Abstract: This study investigates the performance of Peltier modules, commonly used in portable refrigeration, through the lens of Coefficient of Performance (COP). A portable cooler is constructed using a Styrofoam box, a Peltier module, a heatsink, and a fan. The experiment involves powering the system and recording temperatures on both the cold and hot sides at specific intervals over a 30-minute period. The collected temperature data is then utilized to calculate the COP, a metric that quantifies the system's efficiency by comparing the cooling effect (heat removed) to the electrical energy consumption. This analysis provides valuable insights into the effectiveness of Peltier technology in portable refrigeration applications. The 30-minute timeframe offers a focused case study, allowing for a controlled investigation of the system's performance under steady-state conditions. The study can be further expanded by exploring COP variations at different ambient temperatures, offering a more comprehensive understanding of the system's capabilities in diverse environments. This research contributes to the ongoing exploration of Peltier technology in portable cooling, providing valuable data for optimizing efficiency and design considerations in this growing sector.

Keywords: Peltier, Efficiency, Performance, Engine Cooling

1. Pendahuluan

Di era ini, mesin pendingin memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Teknologi mesin pendingin ini sangat diperlukan untuk pengawetan bahan makanan dan proses kimia yang membutuhkan pendinginan. Dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat telah menghasilkan peralatan yang memiliki nilai efisiensi yang tinggi dan ramah lingkungan. Namun, hal ini juga menjadi masalah utama dalam bidang sistem refrigerasi karena dapat memiliki dampak negative yang signifikan terhadap lingkungan, seperti yaitu penipisan lapisan ozon dan pemanasan global (Faozan, 2015)

Saat ini mesin pendingin yang paling banyak diminati dan digunakan merupakan mesin pendingin siklus kompresi uap. Dengan komponen-komponen utama dari mesin pendingin siklus kompresi uap adalah evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Mesin pendingin dengan menggunakan siklus kompresi uap ini bekerja dengan memanfaatkan fluida kerja dalam bentuk refrigerant yang didinginkan (Siregar, Aziz and Mainil, 2016).

Refrigerant adalah bahan kimia yang digunakan dalam siklus kerja mesin pendingin yang dapat merusak lapisan ozon jika terurai di udara. Refrigeran yang banyak digunakan pada *freezer* adalah refrigeran kode R134a dan R22. Kedua jenis fluida kerja ini tidak ramah lingkungan, karena keduanya memiliki nilai GWP yang cukup tinggi. Hal ini sangat memprihatinkan karena dapat menjadi penyebab utama dalam pemanasan global (Devotta, Padalkar and Sane, 2005).

Namun kini medium pendinginan telah dikembangkan dengan gas refrigerant yang ramah lingkungan untuk mencegah kerusakan lingkungan, salah satu inovasi adalah sistem pendingin yang menggunakan prinsip termoelektrik. Thermoelectric generator adalah suatu alat konversi dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin/pemanas (Patil, Rajendra P., Suryawanshi, Pradhyuma, 2017).

Dari permasalahan diatas, untuk itu dilakukan penelitian tentang mesin pendingin menggunakan sistem termoelektrik menggunakan peltier.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Mesin Pendingin

Mesin pendingin merupakan sebuah mekansime siklus yang mengambil energi dari temperature rendah dan dibuang ke temoerature yang lebih tinggi (lingkungan). Beban sautu pendingin sangat berpengaruh terhadap prestasi mesin pendingin. Semakin besar beban mesin pendingin maka diperlukan daya mesin pendingin yang lebih besar juga.

Selain beban pendinginan, karakteristik dan jenis refrigerant juga memainkan peran penting dalam meningkatkan proses pendinginan. Refrigerant adalah fluida yang mengalami perubahan fase akibat tekanan dalam siklus panas. Refrigerant terdiri dari beberapa jenis, dan setiap jenisnya memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan jenis refrigerant dapat memengaruhi kemampuan dan kinerja mesin pendingin (Purwanto and Ridhuan, 2014).

2.2 Macam-Macam Mesin Pendingin

a. Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap

Sistem pendingin kompresi uap merupakan suatu sistem pendinginan yang memanfaatkan prinsip kompresi dan kondensasi fluida kerja (refrigeran) untuk menghasilkan efek

pendinginan. Sistem ini biasanya diterapkan pada perangkat seperti penyejuk udara (AC) dan pompa kalor (Heat Pump). Komponen utama dalam sistem ini terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Proses pendinginan dimulai dengan kompresor yang mengompres refrigeran menjadi gas bertekanan tinggi.

b. Mesin Pendingin Absorpsi

Mesin pendingin absorpsi adalah suatu sistem pendinginan yang menggunakan prinsip absorpsi untuk menghasilkan efek pendinginan. Dalam prosesnya, mesin ini memanfaatkan perbedaan tekanan parsial dan keberadaan suatu larutan absorben untuk menyerap dan melepaskan refrigeran, yang kemudian menciptakan efek pendinginan. Mesin pendingin absorpsi sering digunakan dalam berbagai aplikasi di mana sumber panas tambahan tersedia, seperti sistem pendinginan surya atau pemanfaatan panas samping dari proses industri.

2.3 Proses Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap

Proses mesin pendingin siklus kompresi uap mengikuti langkah-langkah umum dalam menciptakan efek pendinginan. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai proses tersebut:

1. Kompresi (Compression): Proses dimulai dengan kompresi gas refrigeran oleh kompresor. Pada tahap ini, gas refrigeran dikompresi menjadi tingkat tekanan dan suhu yang tinggi. Kompresi bertujuan untuk meningkatkan energi tekanan pada gas.
2. Kondensasi (Condensation): Gas bertekanan tinggi kemudian dialirkan ke kondensor, di mana panas yang dihasilkan selama proses kompresi dilepaskan ke lingkungan sekitar. Gas refrigeran mengalami kondensasi, berubah menjadi cairan pada suhu tinggi.
3. Ekspansi (Expansion): Cairan refrigeran yang dihasilkan dari kondensasi kemudian melewati katup ekspansi, di mana tekanan turun tajam. Hal ini menyebabkan penurunan suhu dan perubahan fase cairan refrigeran kembali menjadi gas.
4. Evaporasi (Evaporation): Gas refrigeran yang telah melewati katup ekspansi kemudian masuk ke evaporator. Di sini, refrigeran menyerap panas dari lingkungan sekitar, menguap menjadi gas, dan menciptakan efek pendinginan.

2.4 Coefficient of Performance (COP)

Nilai COP adalah parameter yang paling umum digunakan untuk menunjukkan kinerja pada mesin refrigerasi. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai COP, maka semakin efisien mesin refrigerasi tersebut. Untuk mengukur COP sistem pendingin ialah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem (kerja kompresi). Faktor-faktor pada mesin pendingin siklus kompresi uap yang mempengaruhi COP ialah dampak refrigerasi yang artinya nilai kalor saat keluar evaporator/ masuk kompresor (kJ/Kg) dikurangi nilai kalor saat masuk evaporator/ keluar ekspansi (kJ/Kg). Kemudian perubahan kerja kompresi yang artinya nilai kalor saat keluar kompresor/ masuk kondensor (kJ/Kg) dikurangi nilai kalor saat keluar evaporator/ masuk kompresor (kJ/Kg) (Stoecker, 1982).

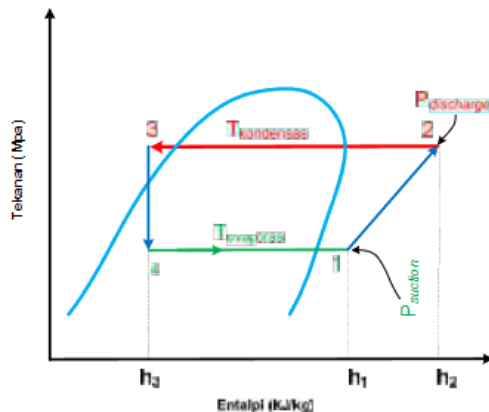
Persamaan untuk menentukan COP adalah dengan menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{Q_e}{W} \quad (2.1)$$

Untuk menentukan kapasitas sistem pendingin (Q_e) dapat menggunakan persamaan:

$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2.2)$$

dimana h_1 dan h_4 adalah entalpi pada keluaran dan masukan evaporator yang nilainya dicari dengan menggunakan diagram P-h (pressure-entalpi) berdasarkan data pengukuran, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Penggambaran siklus refrigerasi mesin pendingin pada diagram P-h
 Sedangkan untuk menentukan daya input kompresor (W) dapat menggunakan persamaan:

$$W = V \cdot I \quad (2.3)$$

dimana V adalah tegangan listrik dan I adalah arus listrik. Dan untuk menentukan konsumsi energi listrik dapat menggunakan persamaan berikut:

$$kWh = W \cdot t \quad (2.4)$$

dimana t adalah lamanya mesin pendingin beroperasi dalam satuan jam.

3. Metode Penelitian

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang Analisis Performa Sistem Peltier pada Mesin Pendingin Portabel: Studi Kasus Eksperimen 30 Menit dilaksanakan di Laboratorium Ergonomi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah tinjauan lapangan, kajian Pustaka, dan data eksperimen dalam pengujian alat.

3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

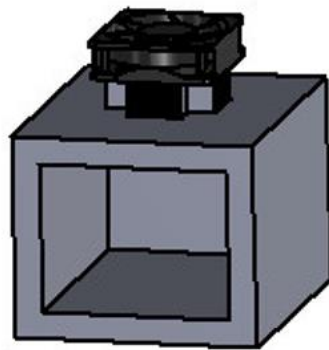
- a. Peltier
- b. Heatsink
- c. Kipas DC
- d. Power supply
- e. Thermocouple
- f. Sterofoam
- g. Stopwatch

3.4 Skema Alat Uji

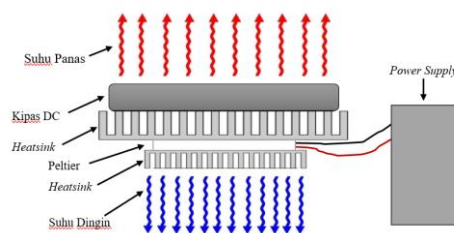
Pada penelitian kali ini menggunakan power supply sebagai komponen utama yang digunakan untuk memasok daya listrik ke komponen atau perangkat listrik yang lain. Power supply memiliki peran krusial dalam memastikan pasokan energi yang stabil dan memadai untuk mendukung operasional perangkat elektronik. Dalam konteks ini, daya listrik yang diberikan oleh power supply disalurkan secara efisien ke peltier dan kipas DC. Peltier digunakan sebagai bagian integral dari sistem pendingin untuk menciptakan perbedaan suhu yang diperlukan guna mendinginkan perangkat atau area tertentu.

Selanjutnya, kipas DC juga menjadi bagian penting dalam menyeimbangkan suhu dan memastikan distribusi udara yang optimal di sekitar perangkat. Dengan cara ini, kipas DC berkontribusi dalam menjaga suhu operasional perangkat tetap dalam kisaran yang aman. Agar kedua perangkat, yaitu peltier dan kipas DC, dapat berfungsi dengan baik, penyaluran daya listrik harus diatur dengan cermat dan efisien. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan heatsink sebagai komponen tambahan yang berperan dalam menyerap panas yang dihasilkan oleh kerja mesin pendingin. Heatsink berfungsi untuk membuang panas berlebih sehingga dapat menjaga suhu sistem agar tetap stabil dan optimal dalam jangka waktu yang lama. Dengan integrasi power supply, peltier, kipas DC, dan heatsink, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem pendingin yang efisien dan handal dalam mengelola panas pada perangkat listrik.

Berikut gambar di bawah ini merupakan gambar dari skema alat uji mesin pendingin dalam penelitian Analisis Performa Sistem Peltier pada Mesin Pendingin Portabel: Studi Kasus Eksperimen 30 Menit



Gambar 3. 1 Desain Alat Uji



Gambar 3. 2 Skema Alat Uji

3.5 Tahap Pengujian Alat

Dalam pengujian alat, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat uji yaitu *thermocouple*. *Thermocouple* diposisikan di dalam mesin pendingin pada 5 titik yang berbeda untuk memperoleh pemahaman yang holistic mengenai distribusi suhu di dalam sistem. Pengaturan titik pengukuran yang berbeda memungkinkan bagaimana efektivitas pendinginan dapat bervariasi di berbagai area mesin pendingin.

Pengujian dilakukan dengan mengamati penurunan suhu selama interval waktu tertentu, yaitu pada interval 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Informasi ini sangat penting untuk mengevaluasi sejauh mana mesin pendingin mampu menjaga suhu dalam batas yang diinginkan dan efisien dalam menurunkan suhu dalam jangka waktu tertentu. Data yang

dihasilkan dari termokouple memberikan pemahaman yang mendalam mengenai performa mesin pendingin pada setiap titik pengukuran selama periode waktu yang ditentukan.

Setelah berhasil mengumpulkan data dari pengujian, langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut untuk mencari nilai Coefficient of Performance (COP). Nilai COP adalah parameter kritis yang mencerminkan efisiensi sistem pendingin dalam mentransfer panas dari satu tempat ke tempat lain. Proses pengolahan data melibatkan analisis terhadap perubahan suhu pada setiap titik pengukuran sepanjang waktu yang telah ditentukan. Dengan demikian, pengujian dan analisis data termokouple menjadi langkah krusial dalam memahami kinerja sistem pendingin ini secara keseluruhan dan mengoptimalkan efisiensinya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Data

Di bawah ini merupakan data yang telah diperoleh dari pengujian mesin pendingin

Tabel 4. 1 Hasil Data

Waktu (menit)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Rata-Rata
5	25,20	27,50	25,20	25,90	23,00	25,36
10	23,50	24,60	23,60	23,90	20,50	23,22
15	22,50	23,30	22,50	22,80	19,10	22,04
20	22,80	22,70	22,70	22,90	19,60	22,14
25	23,00	23,30	23,10	23,50	20,80	22,74
30	21,80	22,10	21,80	22,10	19,10	21,38

Dengan perhitungan COP di bawah ini,

$$COP_{(maksimal)} = \frac{Q_L}{Q_h - Q_L} = \frac{T_L}{T_h - T_L}$$

Keterangan :

T_L = Temperature dalam refrigerator

T_h = Temperature lingkungan

$$COP_{(maksimal)} = \frac{19,10^{\circ}C}{26,5^{\circ}C - 19,10^{\circ}C} = 2,5^{\circ}C$$

Lalu mencari $COP_{(aktual)}$

$$COP_{(aktual)} = \frac{Q_L}{W}$$

Keterangan :

Q_L = Beban pendingin

W = Daya masuk yang digunakan

$$Q_L = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Keterangan :

m = Laju aliran massa udara atau fluida pendingin

C_p = Kapasitas kalor spesifik fluida pendingin

ΔT = Selisih suhu masuk dan keluar

$$m = v \cdot \rho$$

$$m = (p \cdot l \cdot t) \cdot \rho_{udara}$$

$$m = (0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,31) \times 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0,0075 \text{ m}^3 \times 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0,0099975 \text{ kg}$$

Maka

$$Q_L = m \cdot C_{p(\text{udara})} \cdot \Delta T$$

$$Q_L = 0,0099975 \text{ kg} \times 1,006 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \times (26,5^\circ\text{C} - 19,10^\circ\text{C})$$

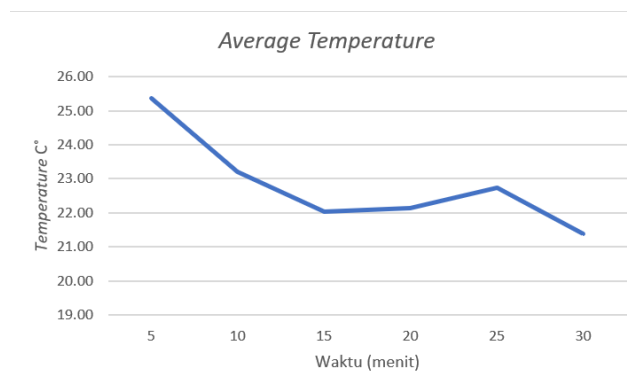
$$Q_L = 0,074425389$$

Lalu mencari $COP_{(\text{aktual})}$

$$COP_{(\text{aktual})} = \frac{Q_L}{W}$$

$$COP_{(\text{aktual})} = \frac{0,0744}{72W} = 0,001033$$

4.2 Pembahasan



Gambar 4. 1 Rata-Rata Suhu yang Didapat

Eksperimen dilakukan selama 30 menit dengan pengamatan suhu rata-rata setiap interval 5 menit. Suhu awal rata-rata adalah $27,28^\circ\text{C}$, dan hasil pengamatan menunjukkan penurunan suhu pada menit ke-5 sebesar $25,36^\circ\text{C}$, menit ke-10 sebesar $23,22^\circ\text{C}$, menit ke-15 sebesar $22,04^\circ\text{C}$, menit ke-20 sebesar $22,14^\circ\text{C}$, menit ke-25 sebesar $22,74^\circ\text{C}$, dan menit ke-30 sebesar $21,38^\circ\text{C}$. Prinsip dasar kerja mesin pendingin portabel ini mengandalkan efek Seebeck dan efek Peltier, di mana Peltier menciptakan aliran kalor dengan arus listrik, menghasilkan perbedaan suhu pada kedua sisi Peltier. Namun, efisiensi termoelektrik dipengaruhi oleh daya input, yang pada eksperimen ini menyebabkan kinerja alat melambat setelah menit ke-10.

Pada lima menit pertama, rangkaian alat menunjukkan kinerja yang cepat dengan penurunan suhu yang signifikan. Namun, seiring berjalannya waktu, kinerja alat mulai melambat karena optimalitas daya yang digunakan menurun. Efisiensi termoelektrik dalam menurunkan suhu dipengaruhi oleh daya input, di mana semakin besar daya yang diterima, penurunan suhu akan mencapai tingkat yang lebih rendah dengan kecepatan yang lebih lambat. Dengan hasil perhitungan COP maksimal adalah $2,5^\circ\text{C}$ dan COP actual adalah $0,001033$.

5. Kesimpulan

Performa mesin pendingin menunjukkan hasil yang memuaskan dalam menjaga suhu optimal, terbukti dari data yang diambil selama eksperimen. Terdapat penurunan suhu yang signifikan setiap interval 5 menit, mencerminkan kemampuan mesin dalam memberikan efek

pendinginan yang cepat dan efisien. Pengamatan pada menit ke-5, ke-10, ke-15, ke-20, ke-25, dan ke-30 menunjukkan adanya penurunan suhu secara bertahap. Ini mengindikasikan bahwa mesin pendingin mampu bekerja secara efektif dalam menghilangkan panas dari lingkungan sekitarnya.

Grafik data penurunan suhu memberikan gambaran visual yang mengonfirmasi performa yang baik pada awal eksperimen. Meskipun terjadi perlambatan kinerja setelah menit ke-10, hal ini masih dapat dianggap sebagai indikasi bahwa mesin pendingin berhasil menjaga suhu dalam batas optimal. Analisis lebih lanjut terhadap faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi termoelektrik, seperti daya input, dapat memberikan wawasan tambahan tentang cara meningkatkan dan mempertahankan performa mesin pendingin ini dalam jangka waktu yang lebih lama

DAFTAR PUSTAKA

- Devotta, S., Padalkar, A.S. and Sane, N.K. (2005) 'Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner', *International Journal of Refrigeration*, 28(4), pp. 594–604.
- Faozan, I. (2015) 'Analisis Perbandingan Evaporator Kulkas (Lemari ES) Dengan Menggunakan Refrigerant R-22 dan R-134a', 04, p. 7.
- Patil, Rajendra P., Suryawanshi, Pradhyuma, E. a. (2017) 'International journal of engineering sciences & research technology thermoelectric refrigeration using peltier effect *', *Ijesrt*, 6(5), pp. 614–618.
- Purwanto, E. and Ridhuan, K. (2014) 'Pengaruh Jenis Refrigerant Dan Beban Pendinginan Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin', *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(1), pp. 11–16.
- Siregar, I.A.R., Aziz, A. and Mainil, R.I. (2016) 'Pengaruh Katup Ekspansi Termostatik Dan Pipa Kapiler Terhadap temperatur Dan Tekanan Pada Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hcr-134a', *Jom FTEKNIK*, 3(2), pp. 3–7.
- Stoecker, W. F., Jones, J. W., & Hara, S. (1982). Refrigerasi dan pengkondisian udara, Edisi kedua. *Jakarta, Indonesia, Erlangga*.