

Pengaruh Pergantian Refrigeran R134a Menjadi R600a Terhadap Nilai Tekanan, COP dan Arus Listrik pada Sistem Boks Pendingin

Yaumi Putri Maulani^{1*}, Triaji Pangripto Pramudantoro¹, Parisya Premiera Rosulindo¹.

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559
E-mail : ^{1*} yaumi.putri.tptu21@polban.ac.id

ABSTRAK

Boks pendingin merupakan sebuah alat yang biasa digunakan untuk menyimpan bahan yang memerlukan kondisi dingin seperti buah-buahan, sayuran, minuman, dan sebagainya. Refrigeran yang biasa dipakai adalah *hydrofluorocarbon* (HFC) jenis R134a, yang dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan sekitar. Oleh karena itu, alternatifnya adalah menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan seperti R600a yang termasuk dalam jenis hidrokarbon menjadi pilihan yang menarik. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kinerja sistem boks pendingin ketika refrigeran R-134a diganti dengan refrigeran hidrokarbon R600a. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pengumpulan data saat sistem mencapai kestabilan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada saat menggunakan R134a memiliki nilai tekanan *suction* sebesar 1,2 Bar *absolute* tekanan *discharge* 10,8 Bar *absolute*, untuk COP_{actual} sebesar 2,44 dan COP_{Carnot} sebesar 4,03 serta arus listrik 0,9 ampere sedangkan menggunakan R600a memiliki nilai tekanan *suction* sebesar 1,1 Bar *absolute* tekanan *discharge* 6 Bar *absolute*, untuk COP_{actual} sebesar 3,34 dan COP_{Carnot} sebesar 4,93 serta arus listrik 0,8 ampere. Refrigeran R600a bisa dijadikan alternatif untuk R134a.

Kata Kunci

Cool Box, Hidrokarbon, COP, R134a, R600a

ABSTRACT

A cooling box typically stores ingredients requiring cold conditions, such as fruits, vegetables, and drinks. The commonly used refrigerant is the hydrofluorocarbon (HFC) type R134a, which can have negative environmental impacts. Therefore, an alternative is to use environmentally friendly refrigerants such as R600a, which belongs to the hydrocarbon type, making it an attractive option. This study aims to assess the performance of the cool box system when replacing the R-134a refrigerant with the hydrocarbon refrigerant R600a. The research method used is experimentation with data collection when the system reaches stability. Based on the test results carried out when using R134a, the suction pressure value is 1.2 Bar absolute, the discharge pressure is 10.8 Bar absolute, for COP_{actual} it is 2.44 and COP_{Carnot} it is 4.03 and the electric current is 0.9 ampere, while using R600a, the suction pressure value is 1.1 Bar absolute, the discharge pressure is 6 Bar absolute, for COP_{actual} it is 3.34 and COP_{Carnot} it is 4.93 and the electric current is 0.8 ampere. Refrigerant R600a can be used as an alternative to R134a.

Keywords

Cool Box, Hydrocarbon, COP, R134a, R600a

1. PENDAHULUAN

Sistem pendinginan telah berkembang di berbagai sektor, termasuk komersial, rumah tangga, dan industri. Salah satu teknologi pendingin yang umum digunakan adalah pendinginan kompresi uap, yang sangat efektif untuk menyimpan

makanan dan minuman dengan menciptakan suhu rendah dan stabil. Contohnya, sistem ini digunakan untuk menjaga kesegaran makanan seperti sayuran, daging, ikan, dan buah-buahan.

Pentingnya sistem pendinginan ini terutama terlihat dalam penyimpanan kubis, yang merupakan sayuran tahan lama jika disimpan dengan benar. Idealnya, kubis harus disimpan

pada suhu antara 0°C hingga 4°C untuk mempertahankan kualitasnya. Salah satu metode penyimpanan yang efektif adalah menggunakan boks pendingin, yang mampu menjaga suhu secara statis tanpa memerlukan ruang besar.

Refrigeran merupakan fluida kerja di dalam mesin refrigerasi yang digunakan sebagai untuk penukar kalor yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi [1]. Salah satu contoh adalah R-134a, yang meskipun umum digunakan, memiliki dampak negatif terhadap pemanasan global. Untuk mengatasi hal ini, penelitian mencari alternatif seperti R600a, yang memiliki *Ozone Depletion Potential* dan *Global Warming Potential* lebih rendah. R600a dapat digunakan sebagai pengganti langsung untuk R134a tanpa memerlukan modifikasi signifikan pada sistem yang ada.

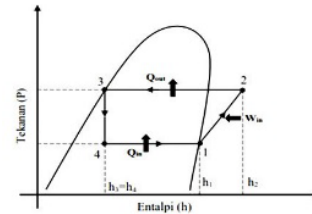
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem pendinginan menggunakan dua jenis refrigeran berbeda, R-134a dan R600a, pada satu boks pendingin yang sama. Diharapkan hasilnya dapat memberikan wawasan tentang opsi refrigeran yang lebih ramah lingkungan tanpa mengorbankan kinerja sistem pendingin. Selanjutnya karakteristik dari refrigeran yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Refrigeran Perbedaan Refrigeran

Refrigeran	R134a	R600a
Jenis	Hidroflukarbon (HFC)	Hidrokarbon (HC)
Temperatur Kritis	101,1 °C	134,7 °C
Tekanan Kritis	40,59 Bar	36,29 Bar
ODP	0	0
GWP	1400	8
Boiling Point 1 atm	-26,07 °C	-11,75 °C

2. TINJAUAN PUSTAKA

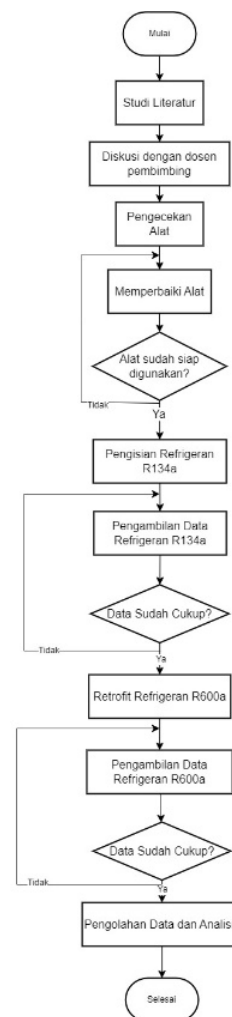
Sistem refrigerasi yang paling sederhana digunakan adalah kompresi uap. Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan sistem pendingin yang paling umum digunakan. Disebut sebagai sistem kompresi uap karena refrigeran masuk kedalam kompresor berfasa uap [2]. Komponen utama dari sistem ini terdiri dari refrigeran, kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator, yang saling terkait dalam membentuk siklus refrigerasi. Siklus kompresi uap yang sederhana melibatkan empat proses dasar ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram P-h [3]

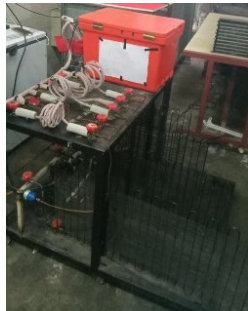
3. METODOLOGI

Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh jenis refrigeran yang digunakan terhadap kinerja sistem serta melakukan analisis perbandingan nilai COP dan arus listrik untuk mengetahui bagaimana performansi sistem dengan menggunakan jenis refrigeran yang berbeda. Adapun metode penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini terlihat pada Gambar 2.



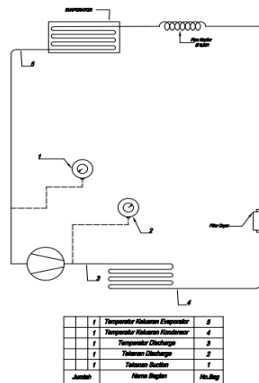
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berikut Gambar 3 adalah alat yang digunakan.



Gambar 3. Sistem Boks Pendingin

Berikut Gambar 4 adalah titik pengukuran pada saat pengambilan data.



Gambar 4. Gambar penempatan titik ukur

Data yang diperoleh pada pengukuran digunakan untuk mengetahui performansi sistem dengan cara membandingkan nilai COP, efisiensi sistem, dan konsumsi energi listrik. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1-6 [4] sebagai berikut:

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (1)$$

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (2)$$

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (4)$$

$$\text{COP}_{\text{actual}} = q_e / q_w \quad (5)$$

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = T_e / ((T_k - T_e)) \quad (6)$$

Dimana:

q_w = Besarnya kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg)

q_c = Besarnya panas dilepas di kondenser (kJ/kg)

q_e = Kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg)

$\text{COP}_{\text{actual}}$ = perbandingan antara kalor yang diserap oleh evaporator dengan kerja kompresi.

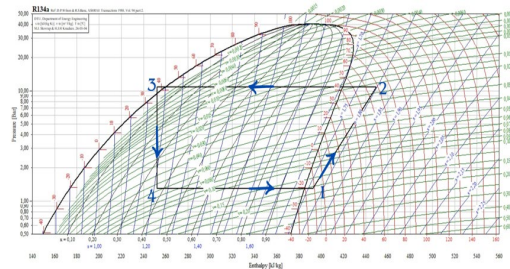
$\text{COP}_{\text{Carnot}}$ = COP maksimum yang dapat dicapai pada temperatur kerja yang sama dengan sistem refrigerasi sebenarnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat sistem dalam keadaan *steady*, nilai rata-rata digunakan untuk memasukkan data yang diperoleh dari pengukuran ke p-h diagram. Nilai ini ditampilkan pada Tabel 2 selama proses plot ke p-h diagram. Nilai tekanan harus ditambah 1 atm agar satuannya berubah menjadi Bar *absolute*, dan nilai suhu harus ditambah 3 (Temperatur Keluaran Kondenser dan *Discharge*) dan dikurang 3 (Temperatur *Suction*) [5].

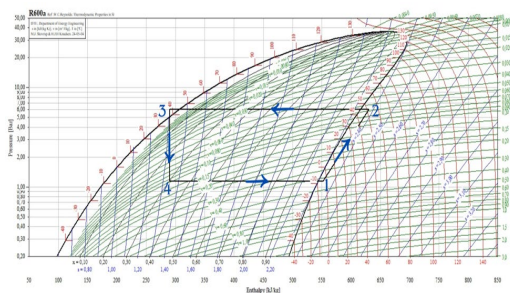
Tabel 2. Data Pengukuran R134a dan R600a

No	Pengukuran	R134a	R600a	Satuan
1	Tekanan Suction	0,3	0,13	Bar g
2	Tekanan Discharge	9,8	5	Bar g
3	Temperatur Keluaran Evaporator	-8,8	-0,63	°C
4	Temperatur Discharge	65,63	49	°C
5	Temperatur Keluaran Kondenser	34,31	34,94	°C
6	Tegangan	220	220	V
7	Arus	0,9	0,8	A



Gambar 5. Hasil Plot Diagram p-h R134a

Berdasarkan Gambar 5 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai *enthalpy* dari sistem boks pendingin yang menggunakan diagram pH R134a.



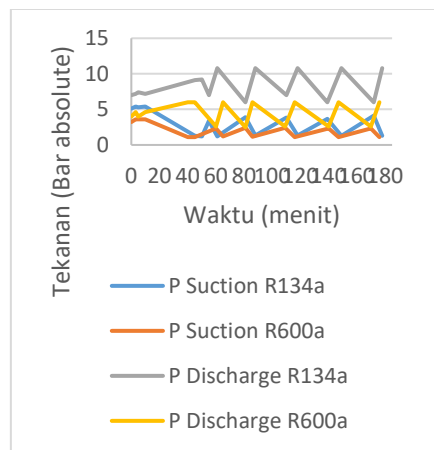
Gambar 6. Hasil Plot Diagram p-h R600a

Berdasarkan Gambar 6 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai *enthalpy* dari sistem boks pendingin yang menggunakan diagram pH R600a.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Tekanan, COP dan Arus menggunakan R134a dan R600a

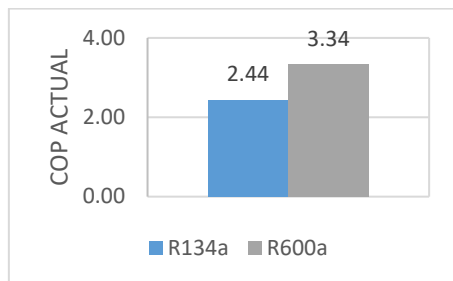
No	Parameter	R134a	R600a
1	Tekanan Suction	1,2 Bar <i>absolute</i>	1,1 Bar <i>absolute</i>
2	Tekanan Discharge	10,8 Bar <i>absolute</i>	6 Bar <i>absolute</i>
3	COP _{actual}	2,44	3,34
4	COP _{Carnot}	4,03	4,93
5	Arus Listrik	0,9 A	0,8 A

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pilihan jenis refrigeran memiliki dampak signifikan terhadap performa sistem yang digunakan.



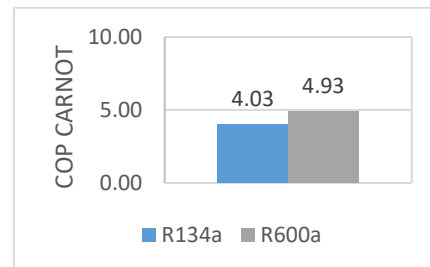
Gambar 7. Grafik Tekanan *Suction* dan *Discharge* terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa tekanan *suction* saat menggunakan R600a sedikit lebih rendah daripada saat menggunakan R134a. Demikian pula, tekanan pendorong saat menggunakan R600a sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan R134a. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik yang berbeda dari kedua refrigeran tersebut, yang mempengaruhi nilai tekanan yang dihasilkan oleh sistem tersebut.



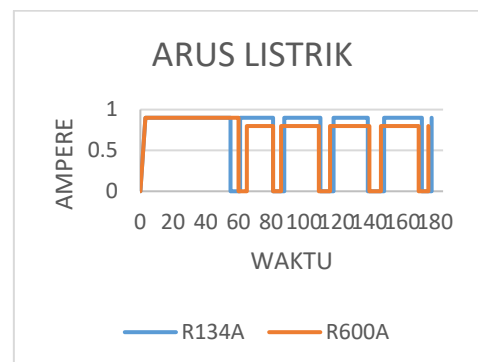
Gambar 8. Diagram Perbandingan COP_{actual}

Berdasarkan Gambar 8 terlihat perbandingan COP_{actual} dengan menggunakan refrigeran R134a dan R600a. Untuk sistem yang menggunakan refrigeran R134a diperoleh nilai COP_{actual} dari hasil perhitungan sebesar 2,44 dan R600a sebesar 3,34.



Gambar 9. Diagram Perbandingan COP_{Carnot}

Berdasarkan Gambar 9 terlihat perbandingan COP_{Carnot} dengan menggunakan refrigeran R134a dan R600a. Untuk sistem yang menggunakan refrigeran R134a diperoleh nilai COP_{Carnot} dari hasil perhitungan sebesar 4,03 dan R600a sebesar 4,93.



Gambar 10. Grafik Arus Listrik Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 10, perbandingan arus listrik pada sistem boks pendingin dengan menggunakan refrigeran R134a dan R600a terlihat. Rata-rata arus yang terukur saat sistem menggunakan refrigeran R134a dalam kondisi *steady* adalah 0,9 ampere, sementara saat menggunakan refrigeran R600a, rata-rata arus yang terukur dalam kondisi *steady* adalah 0,8 ampere. Perbedaan nilai rata-rata arus ini disebabkan oleh karakteristik yang berbeda dari masing-masing refrigeran, yang mengakibatkan massa refrigeran yang masuk ke sistem menjadi lebih sedikit. Hal ini menyebabkan beban kerja kompresor menjadi lebih ringan sehingga menghasilkan nilai arus listrik yang lebih rendah dibandingkan saat menggunakan refrigeran R-134a.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari penelitian dan analisis yang sudah dilaksanakan, berikut adalah simpulan yang dapat diambil terkait performansi sistem:

1. Nilai tekanan *suction* sebesar 1,2 Bar *absolute* tekanan *discharge* 10,8 Bar *absolute* sedangkan menggunakan R600a memiliki nilai tekanan *suction* sebesar 1,1 Bar *absolute* tekanan *discharge* 6 Bar *absolute*
2. Nilai COP_{actual} saat menggunakan refrigeran R-134a adalah 2,44. Saat menggunakan refrigeran R600a adalah 3,34.
3. Nilai COP_{Carnot} saat menggunakan refrigeran R-134a adalah 4,03. Saat menggunakan refrigeran R600a adalah 4,93.
4. Nilai arus listrik saat menggunakan refrigeran R-134a adalah 0,9 ampere. Sedangkan saat menggunakan refrigeran R-600a adalah 0,8 ampere.
5. R600a bisa dijadikan alternatif untuk R134a.

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran diantaranya:

1. Melakukan variasi penambahan atau pengurangan massa refrigeran R600a pada sistem boks pendingin.
2. Melakukan variasi massa refrigeran yang telah *retrofit* dengan panjang kondenser yang berbeda.
3. Melakukan pengujian R600a pada sistem yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan dana dan fasilitas yang telah diberikan sangat berarti bagi kelancaran dan keberhasilan penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE. ASHRAE Handbook of Fundamental. Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers; 2001.
2. Sumeru. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap. 2018.
3. Mirmanto, dkk. Pengaruh suhu udara masuk terhadap massa air yang dihasilkan pada alat pemanen air sederhana. [Online]. Tersedia dari:

https://www.researchgate.net/publication/368905883_Pengaruh_suhu_udara_masuk_terhadap_massa_air_yang_dihasilkan_pada_alatpemanen_air_sederhana. Diakses pada: 20 Mei 2024.

4. Dossat R.J. Principles of Refrigeration SI Version. New York: John Wiley and Sons, Inc.; 1981.
5. Boyle G. Australian Refrigeration and Air Conditioning. 1988.
6. Aghifari AA. Uji Performansi Sistem Ice Slush Machine menggunakan Refrigeran R134a dan MC-134. 2020.
7. Ferdiana NI. Uji Performansi Pengaruh Penggantian R134A dengan MC-134 pada Mesin Pembuat Es Lilin. 2018.
8. Lestari ER. Perbandingan Uji Performansi Sistem Refrigerasi pada Mesin Refrigerated Air Dryer Menggunakan R134a dan MC134. 2022.
9. Ramdan NJ. Rancang Bangun Sistem Kompresi Uap Untuk Penyimpanan Alpukat. 2022.
10. Shofwan LA. Perbandingan Uji Performansi Sistem Cool Box Menggunakan R-134a Yang Di-Retrofit Ke R-436a Untuk Penyimpanan 2 Kg Mentimun. 2023.