

Perbandingan Uji Performansi Sistem *Cool Box* Menggunakan R-134a Yang Di-Retrofit Ke R-436a Untuk Penyimpanan 2 Kg Mentimun

Luqman Alvus Shofwan^{1,*}, Triaji Pangripto Pramudiantoro², Arda Rahardja
Lukitobudi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail: ^{1,*}luqman.alvus.tptu20@polban.ac.id; ²trijapangripto@gmail.com; ³ardarl@yahoo.com

ABSTRAK

Cool box merupakan salah satu media yang dapat dijadikan sebagai media pengawetan sekaligus pendinginan secara khusus. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a dengan jenis hidrofluorokarbon (HFC) tetapi refrigeran tersebut masih memiliki efek pemanasan global. Oleh karena itu, refrigeran dengan jenis hidrokarbon (HC) menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan karena memiliki sifat ramah lingkungan dan hemat energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dengan membandingkan nilai COP, efisiensi sistem, dan konsumsi daya listrik dari sistem *cool box* terhadap R-134a yang di-*retrofit* ke R-436A. Metode yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen pengambilan data saat sistem dalam kondisi *steady*. Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan, sistem menggunakan R-134a memiliki COP_{actual} sebesar 2,589, COP_{Carnot} sebesar 4,091, dan 63,28% untuk efisiensi sistem yang dihasilkan, sedangkan sistem yang menggunakan R-436A memiliki COP_{actual} sebesar 2,588, COP_{Carnot} sebesar 6,123, dan efisiensi sistem yang dihasilkan 42,27%, selanjutnya energi listrik yang dibutuhkan saat sistem menggunakan R-134a yaitu sebesar 0,0855 kWh, sedangkan saat menggunakan R-436A dibutuhkan sebesar 0,0897 kWh. Nilai yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan bahwa saat menggunakan R-134a energi listrik yang digunakan lebih hemat 4,4% dibandingkan saat menggunakan R-436A.

Kata Kunci

Cool box, Retrofit, Efisiensi, R-134a, R-436A

1. PENDAHULUAN

Penggunaan sistem refrigerasi kini sudah berkembang pesat hingga digunakan di berbagai kebutuhan, mulai dari kebutuhan komersial, domestik, hingga kebutuhan industri yang mana sistem tersebut digunakan sebagai media untuk tempat penyimpanan atau pengawetan makanan dan minuman menggunakan temperatur yang rendah dan konstan, sebagai contoh penggunaan sistem ini yaitu untuk penyimpanan hingga pengawetan bahan yang mudah busuk seperti sayuran, daging, ikan, buah-buahan dan lain-lain. Kulkas merupakan salah satu media penyimpanan atau pengawetan bahan makanan dan minuman tetapi tidak secara khusus. Oleh karena itu, *cool box* bisa dijadikan sebagai salah satu media penyimpanan suatu objek secara khusus yaitu mentimun sebanyak 2 kg.

Refrigeran merupakan fluida kerja di dalam mesin refrigerasi yang digunakan sebagai untuk penukar kalor yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi [1]. Ada banyak jenis refrigeran yang dapat memengaruhi performansi sistem refrigerasi. Salah satu refrigeran yang umum digunakan di

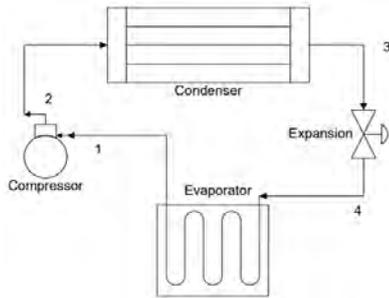
lingkungan masyarakat yaitu R-134A tetapi memiliki potensi untuk menyebabkan pemanasan global. Maka dari itu, penulis ingin mencoba untuk menggantikan refrigeran dengan jenis hidrokarbon agar lebih ramah lingkungan dan hemat energi dengan membandingkan kinerja dari sistem yang digunakan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji pengaruh jenis refrigeran yang digunakan terhadap kinerja sistem dengan membandingkan nilai COP, efisiensi, dan konsumsi energi listrik untuk mengetahui bagaimana performansi sistem saat menggunakan R-134A dan R-436A.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem refrigerasi yang memiliki komponen yang paling sederhana dan yang umumnya sering digunakan dibandingkan dengan sistem refrigerasi lainnya yaitu sistem refrigerasi kompresi uap. Sistem refrigerasi ini memiliki komponen yang tidak lepas dari komponen utama diantaranya adalah kompresor kondenser, alat ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen tersebut saling berkaitan

antara komponen satu dengan komponen yang lainnya hingga membentuk siklus refrigerasi [2].



Gambar 1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap[2]

Terlihat pada Gambar I merupakan siklus sistem refrigerasi kompresi uap yang digunakan pada sistem *cool box*. Cara kerjanya yaitu kompresor menekan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur rendah hingga berubah menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi, kemudian uap refrigeran dialirkan ke kondenser untuk dilepaskan kalornya dan diubah fasanya menjadi cair. Setelah itu cairan refrigeran yang bertemperatur tinggi dialirkan ke alat ekspansi untuk diturunkan tekanannya, sehingga temperaturnya pun turun dan fasanya berubah menjadi campuran, tetapi lebih banyak fasa cair. Setelah dari alat ekspansi, cairan refrigeran mengalir ke evaporator. Pada evaporator cairan refrigeran menyerap kalor pada ruangan atau beban yang dikondisikan temperaturnya, sehingga fasa refrigeran pada saat keluar evaporator menjadi uap jenuh. Setelah itu uap refrigeran disirkulasikan kembali dan terjadilah siklus refrigerasi [3].

Refrigeran merupakan fluida kerja atau cairan yang ada di dalam mesin refrigerasi yang mana refrigeran merupakan komponen terpenting siklus refrigerasi karena refrigeran yang menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. Refrigeran menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi [1]. Selanjutnya karakteristik dari refrigeran yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Refrigeran

Perbandingan Karakteristik Refrigeran		
Indikator	R-134a	R-436A
Jenis	Hidrofluorokarbon (HFC)	Hidrokarbon (HC)
Rumus Kimia	CH_2FCF_3	$(\text{C}_3\text{H}_8) + (\text{C}_4\text{H}_{10})$

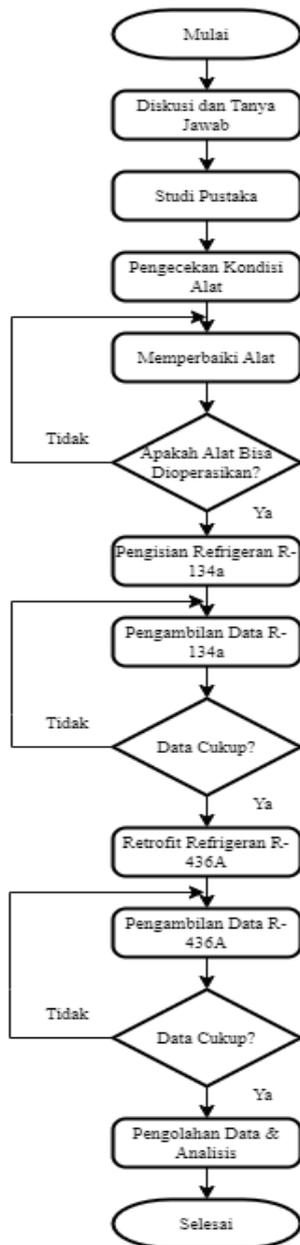
Jenis Oli	<i>Polyester</i>	<i>Mineral Oil / Alkyl Benzene</i>
Temperatur Kritis	101,1°C	115,9°C
Tekanan Kritis	40,59 bar	42,73 bar
Boiling Point 1 atm	-26,07°C	-34,26°C
Berat Molekul	102,0 g/mol	49,33 g/mol
ODP	0	0
GWP	1430	3

Refrigeran hidrokarbon saat ini banyak diteliti karena sifatnya yang ramah lingkungan, tidak beracun, tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon dengan nilai ODP 0 dan GWP 3 [4]. Refrigeran hidrokarbon yang saat ini menunjukkan performa terbaik adalah R-436A (campuran propana dan isobutana dengan rasio massa 56/44). Refrigeran R-436A sebanyak 55g sebanding dengan refrigeran R-134a sebanyak 105g, sehingga terjadi efisiensi penyimpanan muatan sebesar 48% [5].

Retrofit merupakan sebuah proses penggantian jenis refrigeran atau bahan pendingin jenis sintetik dengan bahan jenis hidrokarbon atau bahan alami untuk sistem pendingin tanpa harus merubah atau mengganti komponen mekanikalnya dengan tujuan untuk mengurangi efek penipisan lapisan ozon atau pemanasan global akibat dari refrigeran sintetik [6].

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh jenis refrigeran yang digunakan terhadap kinerja sistem serta melakukan analisa dengan cara membandingkan nilai COP, efisiensi sistem, dan konsumsi daya 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

Pengambilan data dilakukan saat sistem dalam keadaan *steady* dengan langkah-langkah berikut:

- Mengecek kondisi alat dan memeriksa komponen yang ada pada sistem.
- Pengambilan data pertama menggunakan R-134a.
- Apabila data yang diperoleh menggunakan R-134a belum cukup, lakukan proses pengambilan data kembali, apabila sudah cukup, dilanjut dengan proses pemvakuman.
- Pengisian R-436A ke sistem dengan massa sebanyak 52% dari massa R-134a [5].
- Pengambilan data kedua menggunakan R-436A.

Penempatan alat titik ukur menggunakan termometer digital diletakkan pada pipa *discharge*, pipa *suction*, pipa keluaran kondenser, produk, dan lingkungan serta dibantu dengan *pressure gauge* yang terletak pada pipa *discharge* dan *suction*. Selanjutnya untuk mengukur arus dan tegangan menggunakan tang amper.

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 berikut [7]:

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

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (2)$$

$$COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} \quad (3)$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{COP_{actual}}{COP_{Carnot}} \quad (5)$$

$$W = P \times t \quad (6)$$

Dimana:

q_w = Kerja Kompresi (kJ/kg)

q_e = Efek Refrigerasi (kJ/kg)

η = Efisiensi Sistem (%)

W = Konsumsi Energi Listrik (kWh)

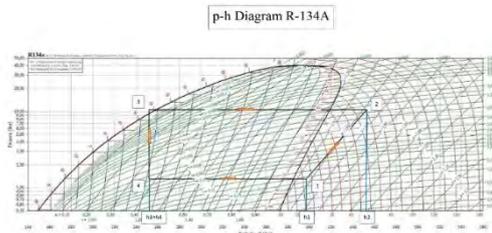
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, langsung dimasukkan ke p-h diagram menggunakan nilai rata-rata pada saat sistem dalam keadaan *steady* yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pada saat proses plot ke p-h diagram, nilai yang tertera pada Tabel 2. Untuk nilai tekanan harus ditambah 1 atm agar satuannya berubah menjadi bar *absolute*, serta untuk nilai temperatur harus ditambah 3 (Temperatur *Discharge* dan Temperatur Keluaran Kondenser) dan dikurang 3 (Temperatur *Suction*) [8].

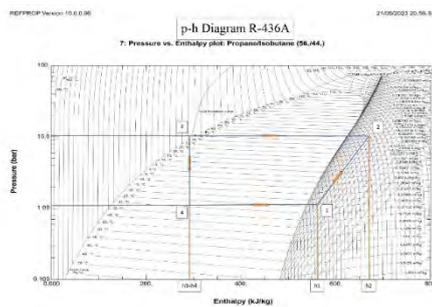
Tabel 2. Data Pengukuran R-134a dan R-436A

No	Titik Pengukuran	R-134a	R-436A	Satuan
1.	Tekanan <i>Suction</i>	0,3	0,28	Bar.g
2.	Tekanan <i>Discharge</i>	9,5	9,42	Bar.g
3.	Temperatur <i>Discharge</i>	68,06	65,34	°C
4.	Temperatur <i>Suction</i>	-3,34	-3,42	°C

5.	Temperatur Keluaran Kondenser	34,26	34,14	°C
6.	Arus	0,89	0,8	A
7.	Tegangan	220	220	V



Gambar 3. Hasil Plot p-h Diagram R-134a



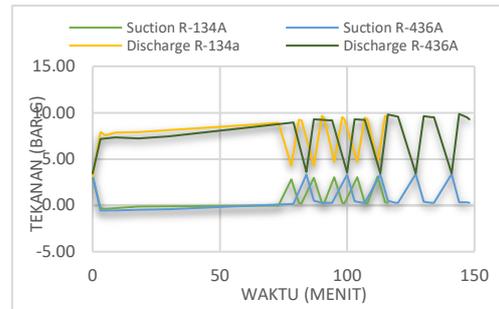
Gambar 4. Hasil Plot p-h Diagram R-436A

Setelah memperoleh hasil plot p-h diagram R-134a dan R-436A, maka dilakukan proses perhitungan untuk mengetahui performansi dari sistem. Berikut merupakan perbandingan hasil proses perhitungan pada R-134a dan R-436A.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Perhitungan R-134a dan R-436A

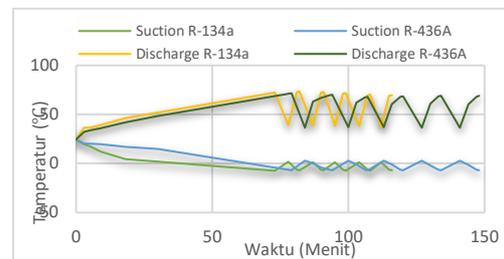
No	Parameter	R-134a	R-436A
1	COP _{actual}	2,589	2,588
2	COP _{Carnot}	4,091	6,123
3	Efisiensi	63,28%	42,27%
4	Arus Listrik	0,89 A	0,8 A
5	Tegangan	220 V	220 V
6	Konsumsi Energi	0,0855 kWh	0,0897 kWh

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh dapat dilihat bahwa jenis refrigeran dapat memengaruhi kinerja dari sistem yang digunakan.



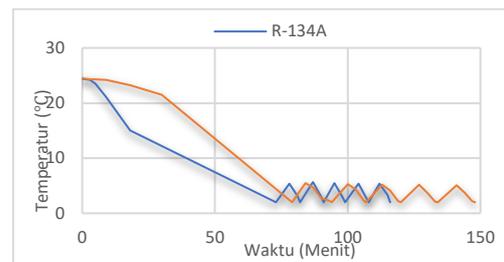
Gambar 5. Grafik Tekanan Suction dan Tekanan Discharge Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa tekanan *suction* pada saat menggunakan R-134 memiliki nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan saat menggunakan R-436A. Begitu pun pada tekanan *discharge*, saat menggunakan R-134a nilai tekanan yang diperoleh sedikit lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan R-436A. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan karakteristik dari kedua refrigeran yang digunakan, sehingga karakteristik tersebut dapat memengaruhi nilai tekanan yang dihasilkan oleh sistem.



Gambar 6. Grafik Temperatur Suction dan Temperatur Discharge Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai tekanan *suction* pada saat menggunakan R-134a sedikit lebih rendah dibandingkan saat menggunakan R-436A. Untuk tekanan *discharge* pun saat menggunakan R-134a nilainya sedikit lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan R-436A.



Gambar 7. Grafik Temperatur Kabin Terhadap Waktu

Gambar 7 menunjukkan bahwa temperatur kabin cenderung menurun dari awal sistem dinyalakan hingga terjadi *cut off* pada *setting* temperatur 2°C. Hal yang membedakan dari analisis disini yaitu waktu yang ditempuh untuk mencapai *setting* temperatur, saat menggunakan R-134a membutuhkan waktu selama 73 menit, sedangkan saat menggunakan R-436A membutuhkan waktu selama 79 menit. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan karakteristik dari kedua refrigeran dan laju alirannya, sehingga memengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setting* temperatur.



Gambar 8. Diagram Perbandingan Efisiensi Sistem

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa efisiensi sistem saat menggunakan R-134a memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu sebesar 63,28% dibandingkan saat sistem menggunakan R-436A yaitu sebesar 42,27%. Hal itu menandakan bahwa saat sistem menggunakan R-134a memiliki performansi yang lebih baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa performansi sistem lebih baik menggunakan R-134a.

Berikut merupakan nilai hasil perhitungan yang dijadikan sebagai perbandingan yaitu sebagai berikut:

- Nilai COP_{actual} saat menggunakan R-134a sebesar 2,589, sedangkan saat menggunakan R-436A sebesar 2,588.
- Nilai COP_{Carnot} saat menggunakan R-134a sebesar 4,091, sedangkan saat menggunakan R-436A sebesar 6,123.
- Efisiensi yang dihasilkan oleh sistem saat menggunakan R-134a yaitu sebesar 63,28%, sedangkan saat menggunakan R-436A sebesar 42,27%. Nilai tersebut dapat dikatakan bahwa sistem yang menggunakan R-134a lebih efisien.

- Energi listrik yang dibutuhkan saat menggunakan R-134a yaitu sebesar 0,855 kWh, sedangkan saat menggunakan R-436A yaitu sebesar 0,897 kWh, sehingga saat sistem menggunakan R-134a dapat menghemat energi sebesar 4,44%.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran diantaranya:

- Melakukan variasi penambahan atau pengurangan massa R-436A pada sistem *cool box*.
- Melakukan *retrofit* dengan jenis hidrokarbon yang lain.
- Melakukan penggantian variasi pada kapasitas kompresor menjadi lebih besar.
- Melakukan pengujian refrigeran R-436A pada sistem yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan dana dan fasilitas yang dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- AHSRAE. "ASHRAE *Handbook of Fundamental*", American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2001.
- Mitrakusuma, Windy Hermawan. Panduan Kuliah Dasar Refrigerasi. 2009.
- Arya P, F., Hermawan M, W., & Anda F, M. Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung. 2021.
- Jwo, Ching Song. *Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerant*. [Online]. Diakses dari <https://warstek.com/refrigeranmasadepan/>. 2009.
- Rasti, dkk. *Energy efficiency enhancement of a domestic refrigerator using R436A and R600a as alternative refrigerant to R134a*. [Online]. Diakses dari <https://warstek.com/refrigeranmasadepan/>. 2013.
- Rahmania Lestari, Evita. Perbandingan Uji Performansi Sistem Refrigerasi pada

Mesin *Refrigerated Air Dryer*
Menggunakan R134a dan MC134. 2022.

- [7] Dossat, Roy J. Principles of Refrigeration
SI Version, John Wiley and Sons, Inc.
1981.
- [8] Boyle, Graham. Australian Refrigeration
and Air Conditioning. 1988.