

Perbandingan Kinerja Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi Menggunakan TXV dan pipa kapiler Pada Refrigeran R134a dan R600a

Amalia Nur Fadhillah^{1*}, Rizki Muliawan¹, A.P. Edi Sukanto¹

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

*E-mail : amalia.nur.tptu421@polban.ac.id

ABSTRAK

Alat ekspansi memiliki peran krusial dalam menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran secara adiabatik serta mengatur jumlah refrigeran yang masuk ke evaporator. Setiap jenis refrigeran seperti R134a dan R600a memiliki perbedaan tekanan kerja dan sifat termodinamika yang memengaruhi kebutuhan massa refrigeran ke evaporator. Oleh karena itu, pemilihan jenis alat ekspansi harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing refrigeran agar proses ekspansi dapat berlangsung optimal dan distribusi refrigeran ke evaporator sesuai kebutuhan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja Unit Instalasi Sistem Refrigerasi berdasarkan jenis alat ekspansi dan refrigeran. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimen dengan pengumpulan data saat sistem mencapai kestabilan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi pipa kapiler dengan R600a memberikan kinerja terbaik dengan COP aktual tertinggi sebesar 3,20, efisiensi sistem 72%. Maka dari itu, pipa kapiler lebih cocok untuk refrigeran R600a karena karakteristik tekanan rendah dan aliran yang stabil, sementara TXV lebih sesuai digunakan dengan R134a.

Kata Kunci

TXV, pipa kapiler, Refrigeran

The expansion device plays a crucial role in reducing the pressure and temperature of the refrigerant adiabatically, as well as regulating the amount of refrigerant entering the evaporator. Each type of refrigerant, such as R134a and R600a, has different operating pressures and thermodynamic properties that affect the required refrigerant mass flow to the evaporator. Therefore, the selection of the expansion device must be adjusted to the characteristics of each refrigerant to ensure optimal expansion and appropriate refrigerant distribution to the evaporator. This study aims to compare the performance of a refrigeration system training unit based on the type of expansion device and refrigerant used. The research method employed is an experimental approach, with data collected once the system reaches a stable condition. The results show that the capillary tube configuration with R600a provides the best performance, with the highest actual COP of 3.20 and a system efficiency of 72%. Hence, the capillary tube is more suitable for R600a due to its low-pressure characteristics and stable flow, while the TXV is more appropriate for use with R134a.

Keywords

TXV, capillary tube, refrigerer

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi merupakan teknologi yang sangat vital dalam kehidupan modern, digunakan pada berbagai aplikasi mulai dari lemari pendingin rumah tangga, pendingin udara, hingga sistem pendingin industri. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip kompresi uap dengan komponen utama berupa kompresor, kondensor, evaporator, dan alat ekspansi (1). Salah satu alat bantu pembelajaran yang digunakan dalam memahami prinsip kerja sistem ini adalah Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi, yang umumnya tersedia di laboratorium pendidikan vokasi seperti di Politeknik Negeri Bandung (2).

Alat ekspansi memiliki peran krusial dalam menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran secara adiabatik serta mengatur jumlah refrigeran yang masuk ke evaporator. Dua jenis alat ekspansi yang umum digunakan adalah *Thermostatic Expansion Valve* (TXV) dan pipa kapiler (3).

Pipa kapiler adalah salah satu jenis alat ekspansi dalam

sistem refrigerasi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran cair dari tekanan kondensor (tekanan tinggi) ke tekanan evaporator (tekanan rendah) (4). Pipa kapiler hanya digunakan pada kondisi beban yang relatif konstan. TXV adalah alat pengatur refrigeran yang paling sering digunakan dalam sistem pendingin, karena memiliki efisiensi tinggi dan dapat dengan mudah disesuaikan untuk berbagai aplikasi pendinginan (5). Komponen utama dari katup ekspansi termostatik meliputi katup jarum dan tempatnya, diafragma, bola remote yang berisi refrigeran cair, ditambah pipa kapiler yang terhubung langsung ke diafragma, serta pegas yang tekanannya bisa diatur menggunakan sekrup pengatur tekanan (6).

Awalnya, banyak sistem menggunakan refrigeran berbasis chlorofluorocarbon (CFC) yang memiliki dampak lingkungan besar. Saat ini, Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi menggunakan refrigeran R134a. Meskipun R134a memiliki nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) nol, dan nilai GWP (*Global Warming Potential*)-nya cukup tinggi, yaitu sekitar 1300 (7). Berbagai alternatif refrigeran

ramah lingkungan telah dikembangkan. Salah satunya adalah kelompok hidrokarbon (HC) seperti propana, butana, dan isobutana. R600a (isobutana) menjadi salah satu kandidat kuat pengganti R134a karena memiliki ODP nol dan GWP yang sangat rendah, hanya sebesar 3.(8)

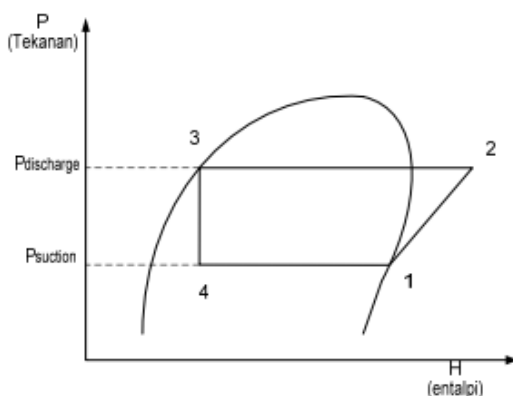
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi menggunakan alat ekspansi TXV dan pipa kapiler dengan mengganti refrigeran R134a menjadi R600a. Maka dari itu, pemilihan jenis alat ekspansi harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing refrigeran agar proses ekspansi dapat berlangsung optimal dan distribusi refrigeran ke evaporator sesuai kebutuhan sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan kombinasi alat ekspansi dan refrigeran yang optimal serta memberikan pemahaman teknis yang mendalam dalam implementasi retrofitting refrigeran sistem refrigerasi berbasis pendidikan dan industri. Selanjutnya karakteristik dari refrigeran yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 (9).

Tabel 1. Karakteristik Refrigeran

Refrigeran	R134a	R-600a
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	1300	3
Normal Boiling Point	-26,07 °C	-11,7 °C

2. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu sistem refrigerasi yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah sistem refrigerasi kompresi uap. Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan sistem pendingin yang paling umum diterapkan. Sistem ini dikenal sebagai sistem kompresi uap karena refrigeran yang masuk ke dalam kompresor berada dalam fase uap. Elemen dasar dari sistem ini terdiri dari refrigeran, kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator yang saling terhubung dalam menciptakan siklus pendinginan. Siklus refrigerasi kompresi uap yang sederhana melibatkan empat proses dasar ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram P-h (10)

Proses-proses yang terjadi pada siklus refrigerasi kompresi uap seperti pada Gambar 1. adalah sebagai berikut (11):

a. Proses kompresi (1-2)

Proses Kompresi berlangsung di dalam kompresor, di mana refrigeran yang berada dalam fase uap jenuh bertekanan rendah dan memiliki temperatur rendah setelah melewati evaporator, akan dipadatkan (ditekan) oleh kompresor sehingga refrigeran menjadi berfase uap bertekanan tinggi dan temperatur naik.

b. Proses Kondensasi (2-3)

Setelah melalui proses kompresi, tekanan refrigeran meningkat, sehingga temperatur jenuh refrigeran juga ikut meningkat. Kenaikan tekanan pada kondenser dilakukan dengan sengaja untuk menjaga temperatur jenuhnya tetap lebih tinggi daripada temperatur lingkungan (media pendinginnya). Maka refrigeran akan melepaskan panas ke sekitar dan mengalami kondensasi, yaitu berubah dari uap menjadi cairan.

c. Proses Ekspansi (3-4)

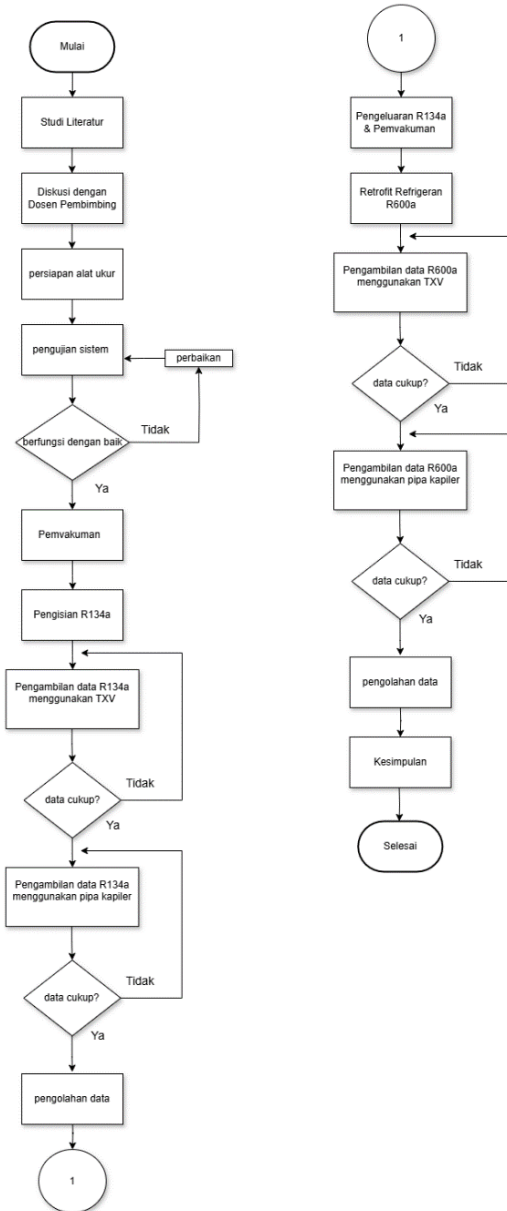
Setelah refrigeran mengalir dari kondenser dalam wujud cair, kemudian dilanjutkan ke alat ekspansi yang sering dikenal dengan *throttling device*, sehingga tekanan refrigeran berkurang. Proses ini berjalan dalam kondisi isoentalpi, yang artinya tidak ada penambahan entalpi selama proses berlangsung. Penurunan tekanan terjadi karena adanya hambatan aliran yang disebabkan oleh alat ekspansi.

d. Proses Evaporasi (4-1)

Setelah dari alat ekspansi, refrigeran mengalir ke evaporator di mana refrigeran cair dengan tekanan dan suhu rendah dapat menyerap panas dari produk/ruangan yang sedang didinginkan dengan mudah. Sebagai akibatnya, refrigeran meninggalkan evaporator dalam bentuk uap.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dua alat ekspansi yang berbeda yaitu pipa kapiler dan TVX pada refrigeran R134a dan R600a secara bergantian yang digunakan terhadap kinerja unit instalasi sistem refrigerasi serta melakukan analisa dengan cara membandingkan nilai COP, efisiensi sistem, dan konsumsi daya listrik untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem dengan menggunakan variasi alat ekspansi yang berbeda pada refrigeran R134a dan R600a. Adapun metode penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini terlihat pada Gambar 2.



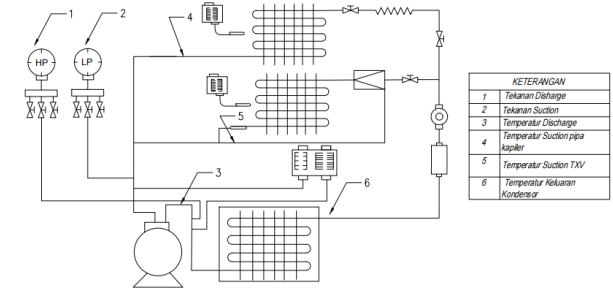
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berikut Gambar 3 adalah unit yang digunakan.



Gambar 3. Unit Instalasi Sistem Refrigerasi

Berikut Gambar 4 adalah titik pengukuran pada saat pengambilan data.



Gambar 4. 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 (12) sebagai berikut:

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

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

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (3)$$

$$COP_{actual} = q_e / q_w \quad (4)$$

$$COP_{Carnot} = T_e / ((T_k - T_e)) \quad (5)$$

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)

h = Entalpi refrigeran (Kj/kg)

COP_{actual} = perbandingan antara kalor yang diserap oleh evaporator dengan kerja kompresi.

COP_{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 dan Tabel 3 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 Kondensator dan Discharge) dan dikurang 3 (Temperatur Suction) (13).

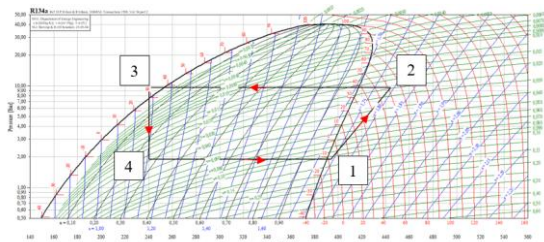
Tabel 2. Data Pengukuran TXV R134a dan Pipa kapiler R134a

No	Pengukuran	TXV R134a	Pipa kapiler R134a	Satuan
1	Tekanan Suction	0,89	0,89	Bar.g

2	Tekanan Discharge	8,6	6,89	Bar.g
3	Temperatur Suction	-4,9	-3,1	°C
4	Temperatur Discharge	59,1	54,6	°C
5	Temperatur Keluaran Kondenser	26,4	24,9	°C
6	Arus Listrik	1,7	1,63	Ampere
7	Tegangan	212	212	V
8	Daya Listrik	0,108	0,098	kW

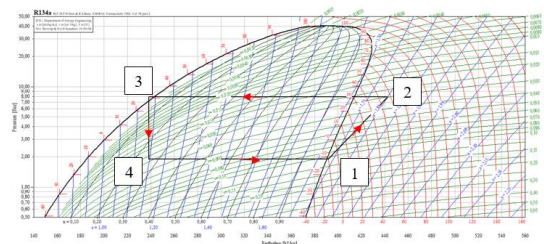
Tabel 3. Data Pengukuran TXV R600a dan Pipa kapiler R600a

No	Pengukuran	TXV R600a	Pipa kapiler R600a	Satuan
1	Tekanan Suction	0,09	0,07	Bar.g
2	Tekanan Discharge	5,86	5,63	Bar.g
3	Temperatur Suction	-0,50	-2,90	°C
4	Temperatur Discharge	54,13	52,30	°C
5	Temperatur Keluaran Kondenser	29,17	28,00	°C
6	Arus Listrik	1,8	1,73	Ampere
7	Tegangan	215	215	V
8	Daya Listrik	0,140	0,120	kW



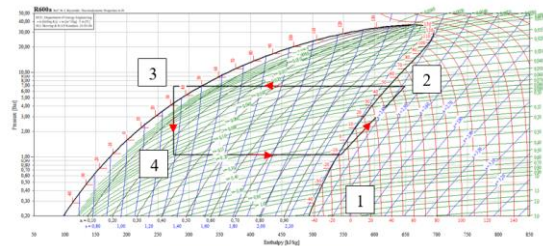
Gambar 5. Hasil Plot Diagram p-h TXV R134a

Berdasarkan Gambar 5 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai entalphi dari Unit Instalasi Sistem Refrigerasi yang menggunakan diagram pH R134a.



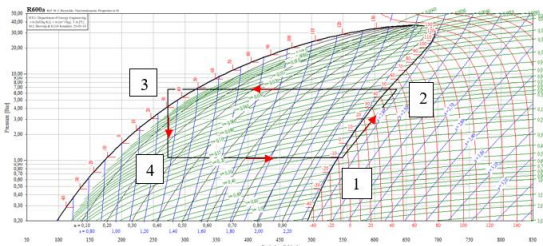
Gambar 6. Hasil Plot Diagram p-h Pipa kapiler R134a

Berdasarkan Gambar 6 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai entalphi dari Unit Instalasi Sistem Refrigerasi yang menggunakan diagram pH R134a.



Gambar 7. Hasil Plot Diagram p-h TXV R600a

Berdasarkan Gambar 7 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai entalphi dari Unit Instalasi Sistem Refrigerasi yang menggunakan diagram pH R600a.



Gambar 8. Hasil Plot Diagram p-h Pipa kapiler R600a

Berdasarkan Gambar 8 maka dapat dihitung nilai COP berdasarkan nilai entalphi dari Unit Instalasi Sistem Refrigerasi yang menggunakan diagram pH R600a.

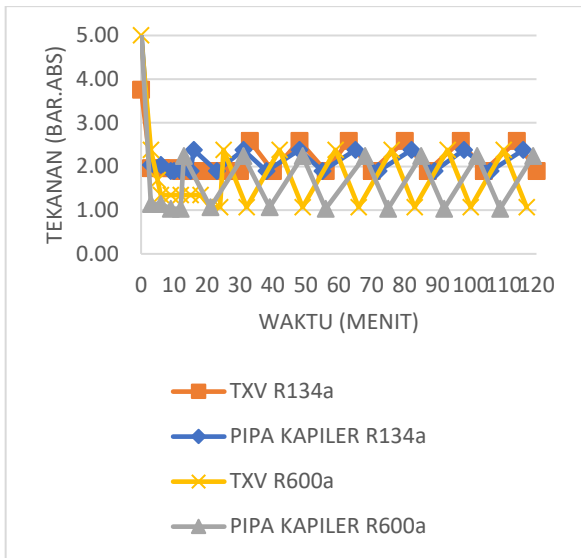
Tabel 4. Perbandingan Nilai Tekanan, COP, Efisiensi, dan Konsumsi Listrik pada TXV R134a dan pipa kapiler R134a

No	Parameter	TXV R134a	Pipa kapiler R134a	Satuan
1	Tekanan Suction	1,89	1,89	Bar.abs
2	Tekanan Discharge	9,6	7,89	Bar.abs
3	COPactual	3,01	3,09	-
4	COPCarnot	5,30	6,15	-
5	Efisiensi	57	50	%
6	konsumsi Listrik	0,130	0,095	kWh

Tabel 5. Perbandingan Nilai Tekanan, COP, Efisiensi, dan Konsumsi Listrik pada TXV R600a dan pipa kapiler R600a

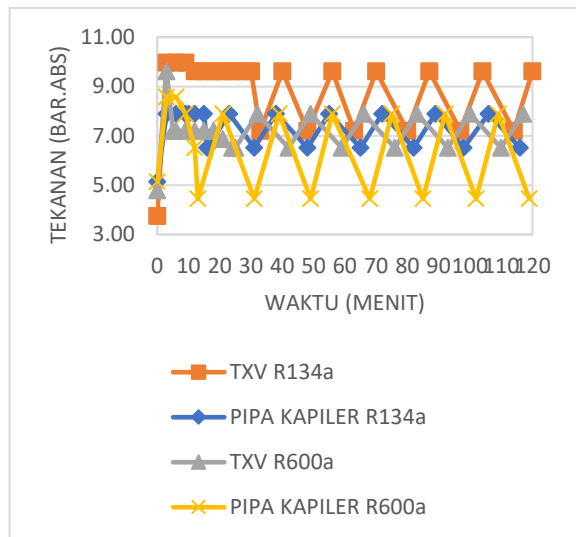
No	Parameter	TXV R600a	Pipa kapiler R600a	Satuan
1	Tekanan Suction	1,09	1,07	Bar.abs
2	Tekanan Discharge	6,86	6,63	Bar.abs
3	COPactual	3,10	3,20	-
4	COPCarnot	4,41	4,44	-
5	Efisiensi	70	72	%
6	konsumsi Listrik	0,090	0,087	kWh

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemilihan jenis alat ekspansi dan jenis refrigeran memiliki dampak signifikan terhadap performa sistem yang digunakan.



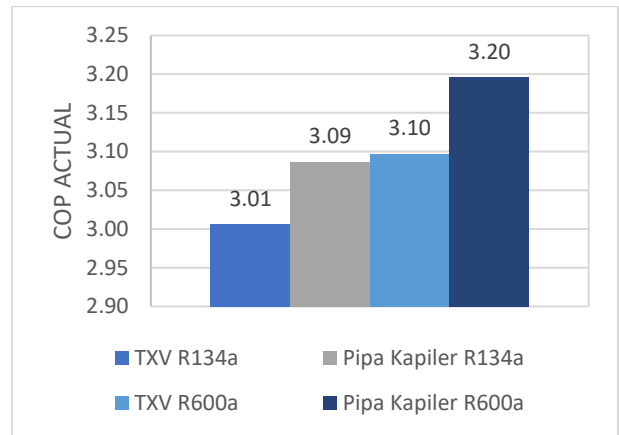
Gambar 9. Grafik Tekanan Suction Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa pipa kapiler R600a ini memiliki tekanan suction yang lebih rendah dibandingkan variasi lainnya, yaitu 1,03 bar *absolute*. hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh pipa kapiler yang digunakan pada sistem serta sifat refrigeran yang digunakan. Mengingat bahwa penurunan tekanan yang signifikan dalam pipa kapiler ini terjadi karena aliran refrigeran yang tidak dilengkapi dengan pengatur aliran, sehingga aliran tersebut terkompresi sepenuhnya (14). Selain hal tersebut, jenis refrigeran juga sangat berpengaruh, melihat karakteristik dari R600a ini memiliki tekanan lebih rendah dibandingkan R134a (15).



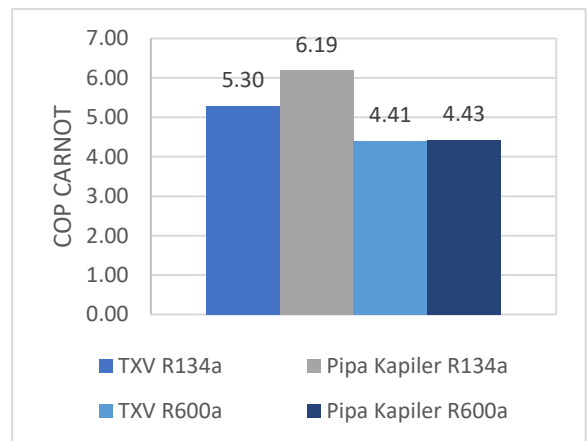
Gambar 10. Grafik Tekanan Discharge Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa TXV R134a menunjukkan tekanan yang jauh lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya, hal ini disebabkan oleh mekanisme TXV yang mengatur aliran refrigeran secara otomatis berdasarkan tekanan didalam diafragma. TXV menjaga superheat dalam batas optimal, memungkinkan refrigeran cair masuk secara terkontrol ke evaporator.



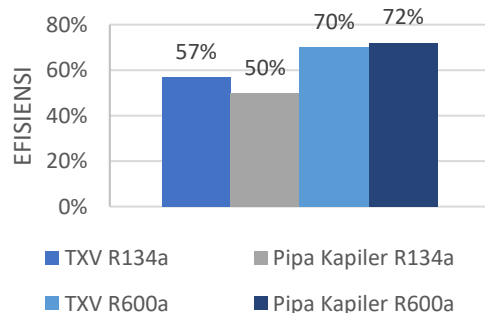
Gambar 11. Diagram Perbandingan COPactual

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa refrigeran R600a memberikan performa energi yang lebih baik dibandingkan R134a baik TXV ataupun pipa kapiler. R600a memiliki entalpi penguapan yang tinggi, sehingga dapat menyerap kalor lebih banyak. Pada sistem pipa kapiler memiliki COP sedikit lebih tinggi daripada TXV, hal ini terjadi karena pipa kapiler sering kali lebih cocok untuk sistem lebih kecil karena siklusnya yang pendek.



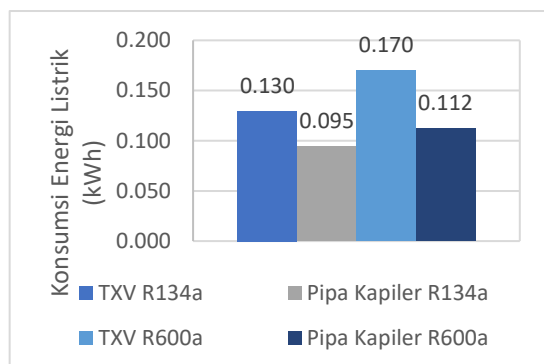
Gambar 12. Diagram Perbandingan COPcarnot

Berdasarkan Gambar 12, terlihat bahwa nilai tertinggi ada pada pipa kapiler R134a hal ini terjadi karena selisih temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi yang lebih kecil.



Gambar 13. Diagram Perbandingan Efisiensi Sistem

Berdasarkan Gambar 13, terlihat bahwa sistem yang menggunakan TXV R134a diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 57%, pipa kapiler sebesar 50%, untuk TXV R600a sebesar 70% dan untuk pipa kapiler R600a sebesar 72%. Dapat dilihat nilai efisiensi tertinggi ada pada pipa kapiler R600a hal ini terjadi, karena sifat termodinamika R600a yang lebih baik dan tekanan kerja yang lebih rendah.



Gambar 14. Diagram Perbandingan Konsumsi Listrik

Berdasarkan Gambar 14, berdasarkan hasil perhitungan diperoleh konsumsi energi listrik yang paling rendah berada pada variasi pipa kapiler R134a sebesar 0,095 kWh. Hal ini terjadi karena, pipa kapiler tidak mengatur aliran secara aktif, sistem ini cenderung bekerja secara sederhana dan cepat menstabilkan suhu ruang pendingin, sehingga kompresor dapat lebih sering berhenti bekerja.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Nilai COP_{actual} tertinggi saat menggunakan pipa kapiler R600a sebesar 3,20. Sedangkan, nilai COP_{Carnot} tertinggi saat menggunakan TXV pipa kapiler R134a sebesar 6,19.
2. Nilai efisiensi tertinggi saat menggunakan pipa kapiler R600a sebesar 72%.
3. Sistem TXV lebih cocok digunakan untuk refrigeran R134a karena mampu mengoptimalkan kinerjanya, sedangkan pipa kapiler lebih sesuai untuk R600a karena tekanan kerjanya yang lebih rendah dan karakteristik alirannya yang lebih stabil dalam sistem sederhana.

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

1. Melakukan variasi penambahan atau pengurangan massa refrigeran R600a pada unit Instalasi Sistem Refrigerasi.
2. Melakukan variasi panjang pipa kapiler pada R134a dan R600a
3. Melakukan pengujian menggunakan beban produk.
4. 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. Putri Maulani Y, Pangripto Pramudantoro T, Premiera Rosulindo P. Pengaruh Pergantian Refrigeran R134a Menjadi R600a Terhadap Nilai Tekanan, COP dan Arus Listrik pada Sistem Boks Pendingin. *Pros Ind Res Work Natl Semin.* 2024;15(1):19–23.
2. Muliawan R, Hidayat A, Prasetyo BY, Akmal M. The Perbandingan Performansi Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi dengan Menggunakan Katup Ekspansi Tipe TXV dan Pipa Kapiler. *J Mek Terap.* 2024;4(3):146–55.
3. Izzuddin A, Aziz A IR. Pengaruh Katup Ekspansi Termostatik Dan Pipa Kapiler Terhadap Performansi mesin Pendingin Siklus kompresi Uap menggunakan Refrigerant hidrokarbon. 2016;21(September):44–51.
4. Anwar K, Arif E, Piarah WH. Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin. *J Mek.* 2010;1, No. 1:30–9.
5. Aziz A. Komparasi Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler Terhadap Temperatur dan Tekanan Mesin Pendingin. *Tek Mesin.* 2013;2(November):389–97.
6. Aziz A, Hartanto BH. Pengaruh Penggunaan Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Efisiensi Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap. *Proceeding Semin Nas Tah Tek Mesin XIII.* 2014;2(1):15–6.
7. Kusuma I. Studi Komparasi Kinerja Refrigeran R134a dengan R600a. *J Tek Mesin Univ Negeri Surabaya.* 2014;03 No.1(1):33–9.
8. Imam A. Pengaruh Tekanan Refrigeran R-134a Terhadap Nilai Coefficient of Performance (COP). *J Inov.* 2020;3(2):1–2.
9. ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*, SI Edition. ASHRAE Research. 2017. 1014 p.
10. Kuliah M, Mitrakusuma WH, Refrigerasi T, Tata DAN. Materi kuliah mata kuliah refrigerasi dasar. 2018;
11. Pangripto Pramudantoro T, Adly Mufasya M, Premiera Rosulindo P. Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Diameter Pipa Kapiler Pada Performansi Sistem Coolbox Menggunakan R600a Sebagai Pengganti R134a. *Pros Ind Res Work Natl Semin.* 2024;15(1):96–103.
12. Lorentzen G. Principles of refrigeration. *Int J Refrig.* 1980;3(3):172.
13. Tritjahjono RI, Sumeru K, Setyawan A, Sukri MF. Evaluation of Subcooling with liquid-suction heat exchanger on the performance of air conditioning system using R22/R410A/R290/R32 as

- refrigerants. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci.* 2019;55(1):1–11.
14. Rajput KS, Gupta PRC. Flow of refrigerants through a capillary tube –A Review. © 2018 *Ijrti* | [Internet]. 2018;3(12):99. Available from: www.ijrti.org
 15. Bolaji BO, Huan Z. Energy performance of eco-friendly RE170 and R510A refrigerants as alternatives to R134a in vapour compression refrigeration system. *Proc 9th Conf Ind Commer Use Energy, ICUE 2012.* 2012;(July):139–46.