



Retrofitting Alternatif Refrigeran Ramah Lingkungan R-290 dengan R-134a Pada Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi

Rizki Muliawan ^{1*}, Muhammad Akmal ¹, Parisya P. Rosulindo ¹ dan Annisa S. Kurniasetiawati ¹

Sitasi: Rizki Muliawan, Muhammad Akmal.; Parisya Rosulindo, Annisa Syafitri. (2026). Retrofitting Alternatif Refrigeran Ramah Lingkungan R-290 dengan R-134a Pada Trainer Unit Instalasi Sistem Refrigerasi. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(5) N(1), hlm. 58 – 68.



Copyright: © 2026 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

¹ Politeknik Negeri Bandung;

*Korespondensi: rizki.muliawan@polban.ac.id

Abstract: R-134a refrigerant has been widely used in industrial and commercial refrigeration systems; however, its high global warming potential (GWP) of up to 1430 has driven the search for more environmentally friendly alternatives. R-290 (propane) is considered a promising candidate due to its zero ozone depletion potential (ODP) and very low GWP of only 3, along with thermodynamic properties that are relatively comparable to those of R-134a. This study aims to evaluate the performance of a refrigeration system retrofitted from R-134a to R-290 using two types of expansion devices, namely a thermostatic expansion valve (TXV) and a capillary tube. The experimental method was conducted by varying the refrigerant charge based on equal mass and maintaining similar evaporator temperature conditions under no-load operation. The results indicate that the system using R-290 is capable of delivering cooling performance comparable to that of R-134a for both types of expansion devices. Furthermore, the use of R-290 results in lower energy consumption, with energy savings ranging from 8% to 9% compared to R-134a. This comparable performance suggests that the thermodynamic properties of R-290 are sufficiently compatible to replace R-134a in the same system without requiring significant modifications to the main components. The observed performance differences are primarily influenced by flow characteristics and the expansion process associated with each type of expansion device. Therefore, R-290 demonstrates strong potential as an environmentally friendly and energy-efficient alternative refrigerant, particularly for retrofit applications in existing refrigeration systems.

Keywords: Retrofitting; Refrigerant; Laboratorium

Abstrak: Refrigeran R-134a sudah banyak digunakan dalam sistem refrigerasi industri dan komersial, namun memiliki global warming potential (GWP) yang tinggi mencapai 1430 sehingga mendorong pencarian alternatif yang lebih ramah lingkungan. R-290 (propana) merupakan kandidat potensial karena memiliki ozone depletion potential (ODP) nol dan GWP sangat rendah hanya sebesar 3, serta karakteristik termodinamika yang relatif mendekati R-134a. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem refrigerasi yang di-retrofit dari R-134a ke R-290 dengan menggunakan dua jenis alat ekspansi, yaitu thermostatic expansion valve (TXV) dan pipa kapiler. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi pengisian refrigeran berdasarkan massa yang sama serta kondisi temperatur evaporasi yang setara tanpa beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dengan R-290 mampu menghasilkan performa pendinginan yang sebanding dengan R-134a pada kedua jenis alat ekspansi. Selain itu, penggunaan R-290 menunjukkan konsumsi energi yang lebih rendah, dengan penghematan berkisar antara 8–9% dibandingkan R-134a. Performa yang relatif setara ini mengindikasikan bahwa sifat termodinamika R-290 cukup kompatibel untuk menggantikan R-134a dalam sistem yang sama tanpa memerlukan modifikasi signifikan pada komponen utama. Perbedaan kinerja yang terjadi terutama dipengaruhi oleh karakteristik aliran dan proses ekspansi pada masing-masing jenis alat ekspansi. Dengan demikian, R-290 memiliki potensi sebagai refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan sekaligus lebih efisien secara energi, khususnya dalam aplikasi retrofit sistem refrigerasi eksisting.

Kata kunci: Retrofitting; Refrigeran; Laboratorium

1. Pendahuluan

Penggunaan refrigeran konvensional seperti Chlorofluorocarbon (CFC) dan Hydrochlorofluorocarbon (HCFC), telah lama menjadi andalan dalam sistem pendingin udara dan refrigerasi. Namun, penelitian ilmiah telah mengungkap bahwa senyawa-senyawa ini memiliki dampak negatif signifikan terhadap lingkungan, terutama dalam hal perusakan lapisan ozon dan kontribusi terhadap pemanasan global. Kandungan klorin dalam CFC dan HCFC berperan dalam penipisan lapisan ozon, sementara potensi pemanasan globalnya yang tinggi memperburuk efek rumah kaca. Namun, transisi ini tidak tanpa tantangan. Beberapa refrigeran alternatif memiliki sifat mudah terbakar atau memerlukan penyesuaian teknis pada sistem yang ada. Oleh karena itu, diperlukan penelitian dan pengembangan berkelanjutan untuk memastikan bahwa penggantian refrigeran tidak hanya memenuhi standar lingkungan, tetapi juga aman dan efisien secara operasional. Pada penelitian ini sudah dilakukan penggantian (*retrofitting*) pada trainer unit yang telah dibuat pada skema penelitian PPKL 2023 dan 2024 tahun sebelumnya.

Karakteristik Refrigeran R134a sudah banyak aplikasi terapannya dalam teknik refrigerasi baik industrial maupun komersil. Kekurangannya yaitu potensi pemanasan global (GWP) yang cukup tinggi sekitar 1430, dan ODP nya nol. Adapun sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan, R-290 (Propana) memiliki ODP nol dan GWP sangat rendah sekitar 3, serta karakteristik termodinamika yang mendekati R-134a namun tidak sama persis sama. Dengan penambahan alat ukur dan bahan lainnya, kemudian diukur jumlah penambahan masa refrigerannya [1]. Tahapan yang sudah dilakukan antara lain melakukan perancangan dan modifikasi sistem refrigerasi, melakukan beberapa proses modifikasi dan penambahan komponen. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan penggantian dan variasi jenis alat kapiler [2][3]. Diakhiri dengan melakukan penyusunan modul praktikum serta langkah prosedur kerja penggantian refrigeran serta melakukan percobaan hasil pengujian trainer unit yang sudah selesai dilakukan ujicoba. Maka dari itu, penelitian pengembangan laboratorium ini menjadi sangat penting sebagai bentuk revitalisasi dan penambahan berupa peralatan uji laboratorium dan modul ajar atau langkah-langkah prosedur praktikum proses instalasi sistem refrigerasi yang akan sangat menunjang pembelajaran yang lebih baik pada Laboratorium Refrigerasi Dasar, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara.

Adapun rumusan masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah masih kurangnya sarana prasarana unit Instalasi Sistem Refrigerasi (ISR), modul praktikum dan langkah-langkah pengerjaan suatu prosedur kerja yang dapat menunjang proses praktikum. Maka dari itu, penelitian pengembangan praktikum ini menjadi sangat diperlukan sebagai bentuk revitalisasi dan penambahan berupa peralatan uji laboratorium, produk modul atau langkah kerja (SOP) pada proses instalasi sistem refrigerasi yang akan menunjang pembelajaran yang lebih baik pada laboratorium refrigerasi dasar, jurusan Teknik refrigerasi dan tata udara.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji performa refrigeran hidrokarbon seperti R-290 sebagai alternatif pengganti R-134a pada sistem refrigerasi, sebagian besar studi tersebut berfokus pada sistem skala komersial atau *stand-alone system* dengan konfigurasi tetap tanpa mempertimbangkan aspek pembelajaran berbasis laboratorium (Ahamed et al., 2011; Devotta et al., 2005) [19][21]. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada analisis performa termodinamika dan efisiensi energi tanpa mengintegrasikan variasi jenis alat ekspansi dalam satu platform pengujian yang sama (Bolaji & Huan, 2013) [20]. Pada konteks pendidikan vokasi dan laboratorium, kajian mengenai proses retrofit dari R-134a ke R-290 pada trainer unit instalasi sistem refrigerasi masih sangat terbatas, khususnya yang mengombinasikan variasi alat ekspansi seperti thermostatic expansion valve (TXV) dan pipa kapiler dalam satu sistem uji yang terintegrasi. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengaitkan hasil pengujian performa sistem dengan pengembangan modul praktikum dan standar operasional prosedur (SOP) sebagai luaran pembelajaran.

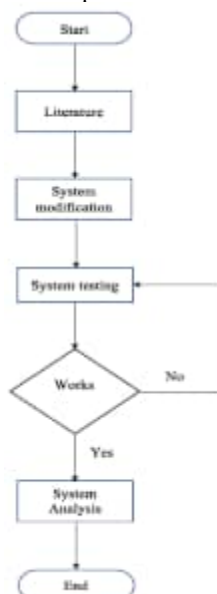
Penelitian ini bertujuan untuk membahas penggantian refrigeran R-134a dan R-290 pada trainer unit instalasi sistem refrigerasi. Refrigeran R-290 memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan dan sebagai refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk melanjutkan penelitian tahun sebelumnya (2023 dan 2024) yaitu [8] Melakukan proses penggantian dua jenis refrigeran. Kemudahan melakukan beberapa variasi sistem instalasi bisa berupa penambahan massa (jumlah) refrigeran perbedaan jenis ekspansi dan perubahan variasi lainnya akan di uji cobakan. Serta diakhiri dengan membuat penyusunan modul / langkah-langkah pengerjaan/SOP bahan ajar praktikum MK. Instalasi Sistem Refrigerasi 1 dan 2.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini bertujuan untuk membahas penggantian refrigeran R-134a dan R-290 pada trainer unit instalasi sistem refrigerasi. Refrigeran R-290 memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan dan sebagai refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan. Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode eksperimental di mana akan diteliti beberapa variasi jenis katup ekspansi dan refrigeran yang diujicobakan dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Deskripsi Awal Pengembangan [9]



Gambar 2. Tahapan Pengerjaan Penelitian [8]

Berikut prosedur retrofit dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan, antara lain: (1) proses *recovery* refrigeran R-134a dari sistem, (2) *vacuuming* untuk menghilangkan sisa refrigeran dan uap air dalam sistem, (3) pengisian refrigeran R-290 sesuai massa yang telah ditentukan, serta (4) pemeriksaan kebocoran dan pengoperasian awal untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Proses ini dilakukan dengan memperhatikan aspek keselamatan mengingat sifat mudah terbakar dari R-290.

Saat retrofit, massa refrigeran yang diisi sebesar 110 gram didasarkan pada spesifikasi nameplate kompresor yang digunakan pada trainer unit, sehingga nilai tersebut merepresentasikan kondisi operasi nominal sistem. Penggunaan massa refrigeran sesuai standar pabrikan bertujuan untuk menjaga kesetaraan kondisi awal pengujian serta meminimalkan bias akibat variasi charge yang berlebihan atau kurang. Pengujian penelitian ini dilakukan secara eksperimen langsung pada alat di laboratorium refrigerasi dasar yaitu Trainer unit Instalasi Sistem Refrigerasi dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Trainer unit Instalasi Sistem Refrigerasi

Di bawah ini tabel 1 menunjukkan karakteristik dari Refrigeran R-290.

Tabel 1. Karakteristik refrigerant R-134a dan R-290 [5,6]

Indikator	R-134a	R-290
NBP	-26,3	-42,1
Tekanan Kritis	40,6	42,5
Temperatur Kritis	101,1	96,7
GWP	1430	0
ODP	0	0

Pengambilan data semua variasi dilakukan selama 70 menit ditentukan berdasarkan hasil pengamatan awal (preliminary test), di mana sistem telah mencapai kondisi mendekati tunak (steady-state) ditandai dengan kestabilan temperatur evaporator dan kabin. Dengan demikian, durasi ini dianggap cukup untuk merepresentasikan performa sistem secara konsisten dan dapat dibandingkan antar variasi pengujian. Pengukuran dan pencatatan data dilakukan dengan interval waktu 5-10 menit. Data pengambilan dapat ditunjukkan pada tabel 2 berikut di bawah ini.

Tabel 2. Pengambilan data parameter

No.	Parameter	Satuan
1.	Tekanan <i>suction</i>	Barabs
2.	Tekanan <i>Discharge</i>	Barabs
3.	Temperatur <i>Suction (evaporating temp)</i>	°C
4.	Temperatur <i>Discharge</i>	°C
5.	Temperatur masuk condenser (out compressor)	°C
6.	Temperatur Lingkungan	°C
7.	T kabin	°C
7.	Arus Listrik	Ampere
8.	Tegangan	Volt
9.	COP actual	-
10.	COP carnot	-
11.	Effisiensi sistem	%
12.	Daya input (konsumsi energi)	kWh

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui kinerja sistem dengan cara membandingkan nilai COP, efisiensi sistem dan konsumsi energi listrik.

Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat diperoleh dengan beberapa persamaan (1) sd (6) berikut :

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

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

$$Q_e = h_3 - h_4 \quad (4)$$

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

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

$$kWh = W.t \quad (7)$$

Di mana :

Q_w = Besarnya kerja kompresi yang dilakukan (Kj/kg)

Q_c = Besarnya panas dilepas di kondenser (kj/kg)

Q_e = Besarnya panas yang diserap oleh evaporator (kj/kg)

$\text{COP}_{\text{Actual}}$ = Perbandingan antara kalor yang diserap oleh evaporator dan kerja kompresi

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

kWh = Konsumsi energi listrik

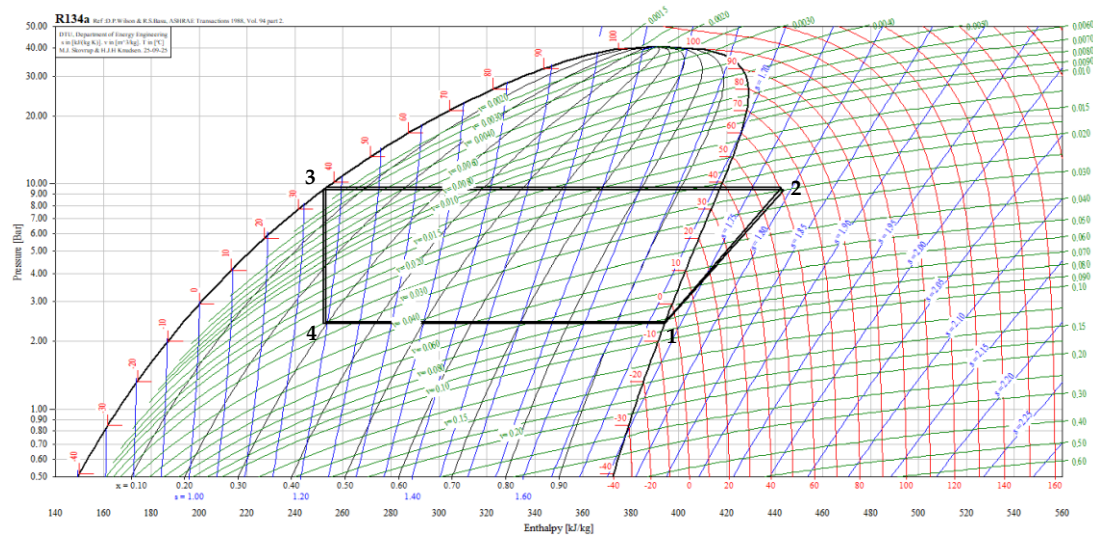
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dihadapi. Pengujian dilakukan dalam kondisi tanpa beban produk (*no-load condition*), sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasional nyata pada aplikasi komersial. Selain itu, variasi parameter yang diuji masih terbatas pada massa refrigeran dan jenis alat ekspansi, tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti variasi beban pendinginan, kondisi lingkungan, dan optimasi desain sistem. Hasil pengujian penelitian dihasilkan nilai-nilai parameter sebagai berikut.

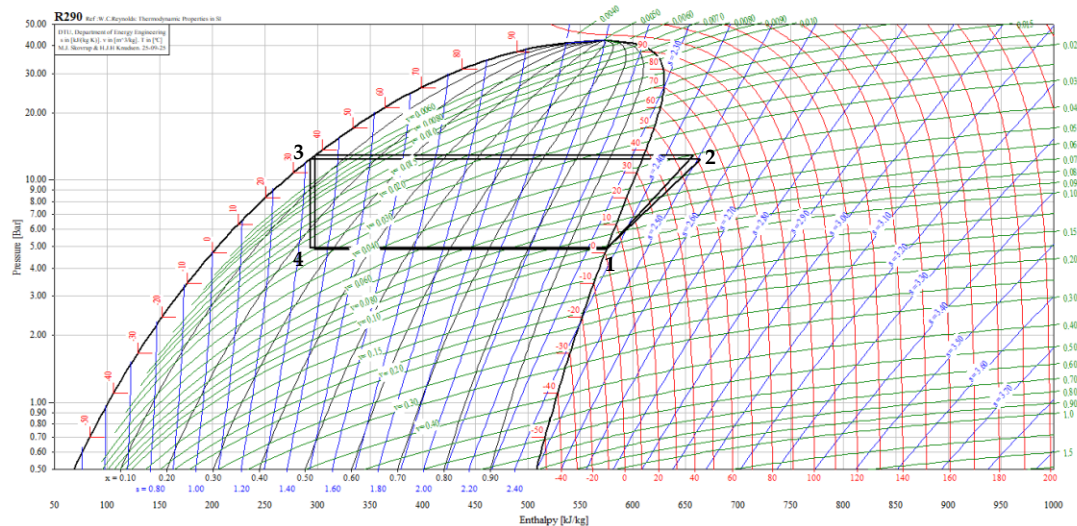
Tabel 3. Data hasil perbandingan antara R-134a dan R-290 dengan kedua jenis pipa kapiler yang berbeda.

No.	Parameter	TXV R134a	TXV R290	Pipa Kapiler R134a	Pipa Kapiler R290	Satuan
1.	Tekanan <i>suction</i>	3,59	3,38	3,38	3,24	Bar Abs
2.	Tekanan <i>Discharge</i>	8,21	6,14	7,52	5,45	Bar Abs
3.	Temperatur <i>Suction (evaporating temp)</i>	-5	1,5	-5,4	1	°C
4.	Temperatur <i>Discharge</i>	37,8	35,8	37,1	37,5	°C
5.	Temperatur masuk condenser (out compressor)	59,9/60,5	61	59,8/61,2	55 /58,9	°C
6.	Temperatur Lingkungan	28,8	26,7	27,6	26,30	°C
7.	T kabin	-5	-5	-5	-5	°C
7.	Arus Listrik					Ampere
8.	Tegangan	220	220	220	220	Volt
9.	COP actual	2,50	3,30	2,52	3,05	-
10.	COP carnot	6,26	8,00	6,29	7,5	-
11.	Effisiensi sistem	40 %	41 %	40 %	41 %	%
12.	Daya input/ konsumsi energi listrik	0,810	0,745	0,899	0,821	kWh
13.	Waktu capaian kabin (5°C	70 min	70 min	70 min	70 min	min

Dari data-data pengamatan tadi dapat diplot menggunakan aplikasi Coolpack dan didapatkan gambar 4 untuk R134a dan gambar 5 untuk R290 dapat dilihat berikut ini.

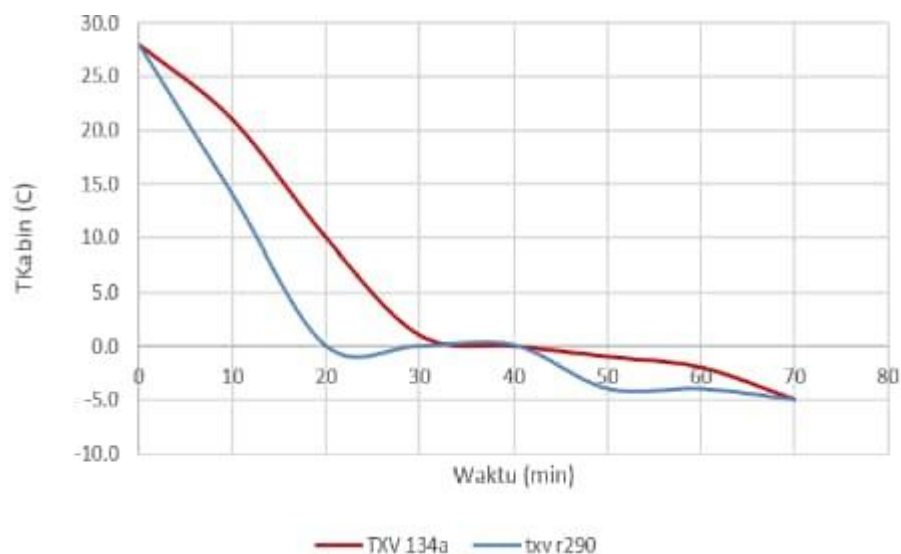


Gambar 4. Hasil Ploting R-134a (Pipa Kapiler dan TXV)

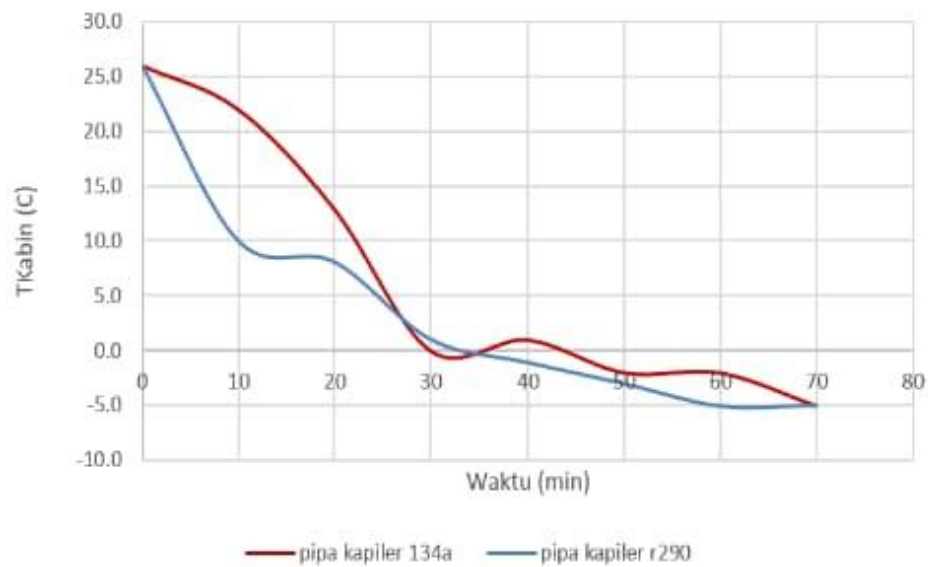


Gambar 5. Hasil Ploting R-290 (Pipa Kapiler dan TXV)

Pada gambar tadi di atas dapat kemudian data-data dapat diolah sehingga didapatkan sebagai berikut :

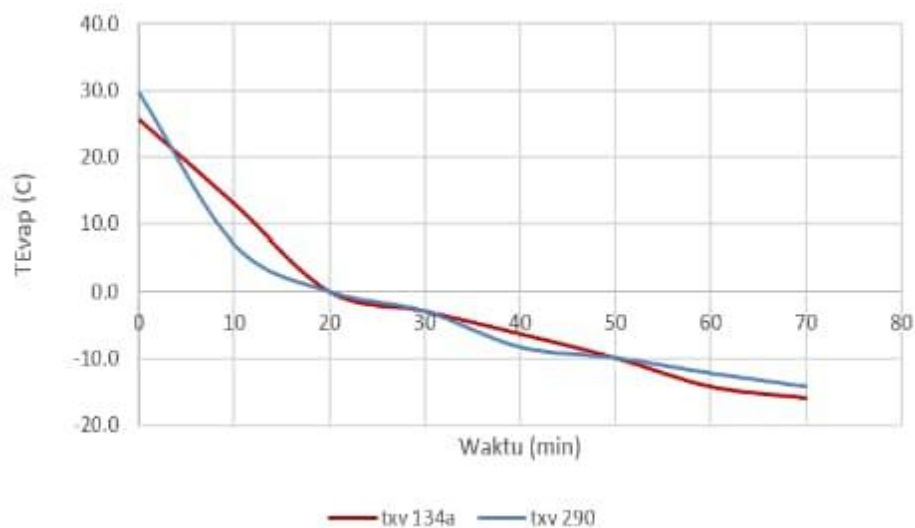


Gambar 6. T Kabin versus Waktu untuk TXV

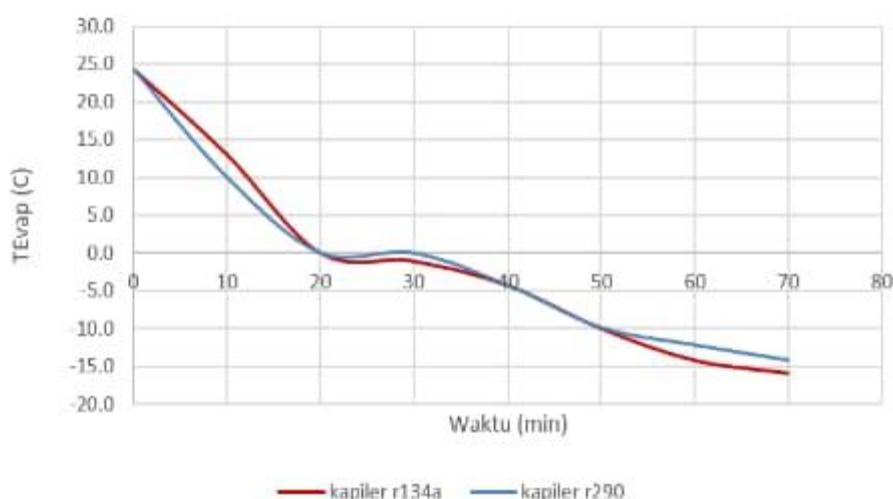


Gambar 7. T Kabin versus Waktu untuk pipa kapiler

Pada gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan data hasil TXV untuk R-134, didapatkan temperatur kabin terendah mencapai -5°C pada menit ke 70, temperatur evaporasi sekitar $-15,9^{\circ}\text{C}$ dan konsumsi daya sekitar 0,810 kWh. Sedangkan data TXV untuk R-290, temperatur evaporasi sekitar $-14,2^{\circ}\text{C}$ dengan T kabin sekitar -5°C dan daya sekitar 0,745 KWh. Sekilas untuk perbandingan TXV dengan Refrigeran yang berbeda menghasilkan data pengujian yang kurang lebih sama meskipun tidak identik persis sama, namun minimal mendekati sifat dan hasil pengujiannya. Untuk potensi penghematannya pengujian yang menggunakan TXV R290 lebih sedikit menghemat (0,745 KWh) dibandingkan R-134a (0,810 KWh) yaitu sekitar 8-9%.



Gambar 8. Tevaporasi – waktu untuk TXV



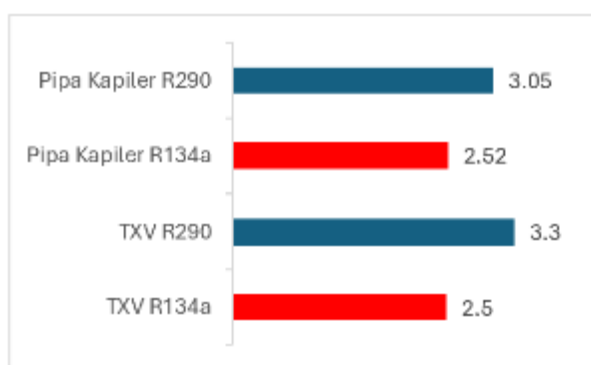
Gambar 9. Tevaporasi – waktu untuk pipa kapiler

Data pengujian gambar 8 dan gambar 9 pipa kapiler R134a pada menit ke 70 menghasilkan $T_{\text{evaporasi}}$ sekitar $15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur kabin sekitar $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan konsumsi daya yang dihasilkan sekitar $0,899\text{ kWh}$. Data pengujian pipa kapiler dengan menggunakan R-290 pada menit ke 70 menghasilkan Temperatur evaporasi sekitar $-14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur kabin pada $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan daya yang dihasilkan sekitar $0,821\text{ kWh}$. Dapat disimpulkan berdasarkan data hasil pengujian di atas bahwa daya yang memakai pipa kapiler R290 lebih hemat sekitar 8-9%. Data pengujian yang dipakai pada pengujian penelitian ini adalah dengan memakai massa (jumlah) refrigeran = 110 gr (100%) sesuai dengan standar *nameplate* dari unit kompresor yang tertera.

3.1 COP Actual

COP actual merupakan kinerja sistem secara nyata dari pengamatan data yang sudah diamati. Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa COP actual didapatkan bahwa COP yang paling tinggi adalah pada pengujian TXV R290 dengan nilai 3,3 hal ini dikarenakan sifat kinerja dan properties R290 yang ringan karena sifat seperti hidrokarbon serta memiliki kalor penyerapan yang lebih baik dibandingkan R-134. Dapat dilihat TXV 134a memiliki COP yang lebih rendah dari R-290 sebelumnya yaitu 2,5.

Data lain pada pipa kapiler menunjukkan data yang mendekati di mana COP actual R-290 sebesar 3,05 dan pipa kapiler R-134a sebesar 2,52.

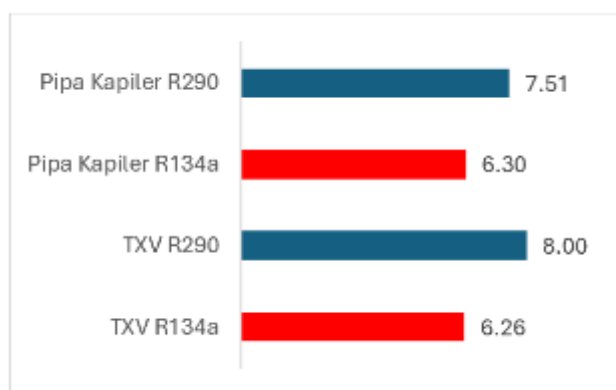


Gambar 10. Perbandingan COP Actual

3.2 COP carnot

COP Carnot merupakan pendekatan yang idealis terhadap suatu kinerja suatu sistem. Pada gambar 11. Dapat dijelaskan bahwa COP Carnot yang tertinggi yaitu pada pengujian TXV R290 hasil perhitungan sekitar 8,00, hal ini dikarenakan Temperatur Suction / Evaporasi Temp yang cenderung tinggi dan Temperatur kondensasi yang lebih rendah.

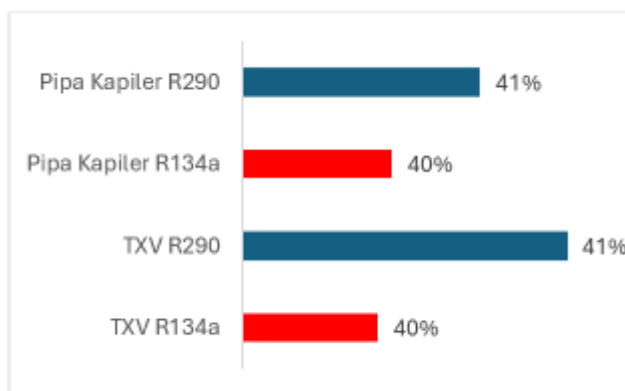
Sedangkan TXV R134a hasil perhitungan sekitar 6,26. Sedangkan untuk perhitungan pipa kapiler diangka 6,30 sampe 7,51 [16,17,18].



Gambar 11. COP Carnot

3.3 Efisiensi Sistem

Effisiensi sistem adalah perbandingan antara kinerja sistem sebenarnya dengan kinerja idealnya. Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara kinerja aktual sistem dengan kinerja idealnya. Nilai efisiensi menunjukkan seberapa baik sistem mampu mengubah energi input menjadi output yang berguna tanpa banyak kehilangan energi.



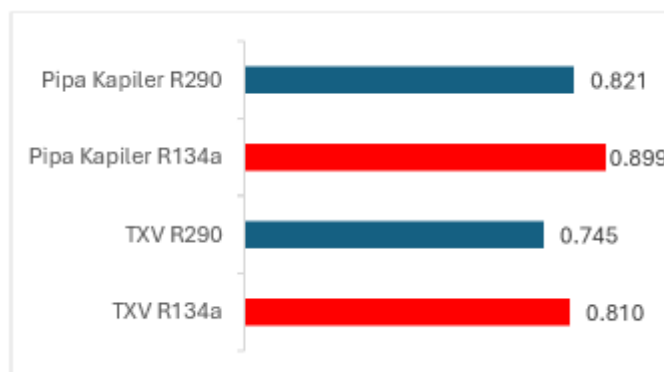
Gambar 12. Efisiensi Sistem

Berdasarkan Gambar 12, hasil pengujian menunjukkan bahwa pipa kapiler R290 memiliki efisiensi sebesar 41%, Sedangkan untuk pipa kapiler R134a memiliki efisiensi sebesar 40%. Hasil untuk TXV R290 memiliki efisiensi sebesar 41%, dan TXV R134a memiliki efisiensi sebesar 40%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan refrigeran R290 memberikan efisiensi sistem yang sedikit lebih tinggi dibandingkan R134a, baik pada sistem dengan pipa kapiler maupun TXV (Thermostatic Expansion Valve). Hal ini menunjukkan bahwa R290 memiliki sifat termodinamika yang lebih baik, seperti koefisien perpindahan panas yang tinggi dan tekanan kerja yang lebih rendah, sehingga mampu meningkatkan performa sistem pendingin secara keseluruhan [4,5].

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa studi sebelumnya yang melaporkan bahwa refrigeran hidrokarbon seperti R-290 memiliki kinerja energi yang lebih baik dibandingkan R-134a. Penelitian oleh Ahamed et al. (2011) [19] dan Bolaji dan Huan (2013) [20] menunjukkan bahwa R-290 mampu menghasilkan COP yang lebih tinggi serta konsumsi energi yang lebih rendah pada sistem refrigerasi. Hal ini terutama disebabkan oleh sifat termodinamika R-290 yang memiliki *latent heat of vaporization* lebih tinggi dan viskositas yang lebih rendah dibandingkan R-134a, sehingga meningkatkan perpindahan panas di evaporator dan menurunkan kerja kompresor.

Selain itu, kesetaraan efisiensi antara sistem pipa kapiler dan TXV mengindikasikan bahwa pada kondisi operasi tertentu, perbedaan jenis alat ekspansi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi global sistem. Namun, TXV tetap memiliki keunggulan dalam menjaga kestabilan tekanan dan temperatur evaporasi selama operasi [16,17,18].

3.4 Konsumsi energi listrik



Gambar 13. Konsumsi Energi listrik (kWh)

Berdasarkan Gambar 13, hasil pengukuran konsumsi energi listrik (kWh) menunjukkan hasil yaitu Pipa kapiler R290 mengonsumsi energi sebesar 0,821 kWh, Sedangkan untuk Pipa kapiler R134a mengonsumsi energi sebesar 0,899 kWh, untuk hasil TXV R-290 mengonsumsi energi sebesar 0,745 kWh, dan TXV R134a mengonsumsi energi sebesar 0,810 kWh.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa sistem dengan refrigeran R290 membutuhkan konsumsi energi listrik yang lebih rendah dibandingkan dengan R134a, baik pada jenis alat ekspansi pipa kapiler maupun TXV. Artinya, penggunaan R290 lebih efisien secara energi karena mampu menghasilkan efek pendinginan yang sama dengan daya listrik yang lebih kecil. Selain itu, system TXV R-290 menunjukkan konsumsi energi paling rendah (0,745 kWh), yang menandakan bahwa kombinasi refrigeran ramah lingkungan R290 dengan kontrol aliran ekspansi yang presisi dari TXV mampu memberikan kinerja termal paling optimal dan hemat energi. Secara keseluruhan, kombinasi R290 + TXV dapat direkomendasikan sebagai konfigurasi terbaik karena menghasilkan efisiensi tertinggi dan konsumsi daya terendah, serta mendukung aspek ramah lingkungan dengan potensi pemanasan global (GWP) yang rendah [11].

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan R-290 mampu menghasilkan kinerja sistem yang sebanding dengan R-134a, namun dengan efisiensi energi yang lebih baik. Secara kuantitatif, penggunaan R-290 memberikan penghematan energi sebesar 8–9% dibandingkan R-134a pada kedua jenis alat ekspansi yang diuji. Selain itu, kecenderungan peningkatan COP pada penggunaan R-290 menunjukkan bahwa refrigeran ini memiliki karakteristik termodinamika yang lebih menguntungkan dalam proses perpindahan panas dan kerja kompresi. Dari hasil perbandingan antar variasi, kombinasi R-290 dengan TXV menunjukkan performa paling optimal dibandingkan konfigurasi lainnya. Dengan demikian, R-290 dapat direkomendasikan sebagai alternatif refrigeran yang lebih ramah lingkungan dan efisien untuk aplikasi retrofit sistem refrigerasi berbasis R-134a. Namun, penelitian ini masih terbatas pada kondisi tanpa beban (*no-load condition*), sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji performa sistem pada kondisi berbeban (*loaded condition*) agar hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap aplikasi nyata.

Referensi

- [1] Pasek AD. Retrofit Sistem Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Ramah Lingkungan. In Jakarta: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Kementerian Lingkungan Hidup; 2007.
- [2] Muliawan R. Komparasi Penerapan Kinerja Inverter pada Sistem Refrigerasi dengan Alat Ekspansi Jenis TXV dan Pipa Kapiler. Teknik energi polban. 2020;10(1):7–13.
- [3] Michel Cavin, Rizki Muliawan AS. Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler Terhadap Performansi Pada Sistem Mini Brine Cooling Dengan Lshx Untuk Pembuatan Es Balok. Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar Polban. 2023;14(1):154–8.

-
- [4] Yaumi Putri Maulani. Pengaruh Pergantian Refrigeran R134a menjadi R600a terhadap nilai tekanan, COP dan arus listrik pada sistem boks pendingin. In: IRWNS. 2024. p. 19–23.
 - [5] Karan S, Pangripto Pramudantoro T, Muliawan R, Refrigerasi JT, Udara T, Bandung N, et al. Analisis Performansi Sistem Water Chiller Setelah Proses Retrofit R22 menjadi R290 dengan Variasi Massa Pengisian R290. In 2024. p. 24–5.
 - [6] Widya Putri Nur Padilla. Perbandingan Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap menggunakan Refrigeran Dimethyl Ether (DME) dan R134a. In: IRWNS. 2023. p. 344–8.
 - [7] Dokumentasi KBK Refrigerasi 2020-2024. In 2020.
 - [8] Rizki Muliawan. Report PPKL 2023-2024.
 - [9] Samsuri Hasan. Analisis Aplikasi Konsep Refrigerasi dalam perakitan trainer unit pada mata kuliah Sistem Pendingin I. 2005;
 - [10] Rizki Muliawan. Pembekalan kompetensi siswa pada bidang Teknik refrigerasi disertai dengan pemberian unit trainer di SMK Manangga Pratama kota tasikmalaya tahun 2020. Difusi. 2021;4(2):1–10.
 - [11] Triaji Pangripto Pramudantoro. Pengaruh Variasi Massa Pengisian R-290 sebagai Refrigeran Pengganti R-22 pada kinerja Freezer. In: Retii. 2017. p. 505–10.
 - [12] Triaji Pangripto. Pelatihan dan Pembekalan instalasi AC Split Siswa SMKN 1 Cipatat Kabupaten Bandung Barat. Difusi. 2020;3(1):1–9.
 - [13] Alfons E.P. Analisis Pengaruh Variasi Massa LPG sebagai refrigeran terhadap prestasi kerja dari lemari es. Rotor. 2013;6(1):1–6.
 - [14] Triaji Pangripto. Facilities development with training of instructors in maintenance and display case repair in the work training center (BLK) of Kuningan District. Jurma. 2022;6(2):372–6.
 - [15] Muliawan R. Facilities Development with Training of Instructors in Maintenance and Display Case Repair in the Work Training Center (BLK) of Kuningan District. Program Mahasiswa Kreatif. 2022;6(2):372–6.
 - [16] VF Zuhdiyah. R Muliawan. AS Kurnia setiawati Kaji Eksperimental Variasi massa pengisian dimethyl ether sebagai pengganti refrigeran R134a terhadap kinerja cold handling unit. IRWNS 2025. 16 (1): 424-430.
 - [17] AN Fadhilah R Muliawan. Perbandingan kinerja unit instalasi sistem refrigerasi menggunakan TXV dan pipa kapiler pada refrigerant R134a dan R600a. 16 (1): 394-400.
 - [18] GA.Aulia. TP Pramudantoro. Kaji Eksperimen Retrofitting R134a dengan R290 pada mesin chest freezer berdasarkan massa dan berdasarkan temperatur evaporasi. 16 (1): 419-423.
 - [19] Ahamed, J. U., Saidur, R., & Masjuki, H. H. (2011). A review on exergy analysis of vapor compression refrigeration system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1593–1600.
 - [20] Bolaji, B. O., & Huan, Z. (2013). Performance investigation of some hydrocarbon refrigerants as alternatives to R134a in refrigeration systems. Journal of Engineering Science and Technology, 8(3), 354–366.
 - [21] Devotta, S., Padalkar, A. S., & 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), 594–604.