Kaji Eksperimen Retrofitting R134a dengan R290 Pada Mesin *Chest Freezer* Berdasarkan Massa dan Berdasarkan Temperatur Evaporasi

Gisya Artanti Aulia[1], Apip Badarudin[1], Triaji Pangripto Pramudantoro[1]

[1]Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559
E-mail : gisya.artanti.tptu421@polban.ac.id
E-mail : apipbdr@polban.ac.id
E-mail : triajipangripto@polban.ac.id

ABSTRAK

Refrigeran R134a telah banyak digunakan dalam sistem pendingin seperti *chest freezer,* namun memiliki Potensi Pemanasan Global (GWP) yang tinggi sekitar 1430, meskipun ODP nya nol. Sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan, R290 (Propana) memiliki ODP nol dan GWP sangat rendah sekitar 3, serta karakteristik termodinamika yang mendekati R134a. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem yang di retrofit dari R134a ke R290 dengan dua metode pengisian yaitu berdasarkan massa dan berdasarkan temperatur evaporasi yang sama. Pengisian dilakukan dengan R134a sebanyak 150 gram, R290 berdasarkan massa sebanyak 60 gram dengan mengacu kepada perbandingan massa jenis dari kedua refrigeran, dan R290 berdasarkan temperatur evaporasi sebanyak 90 gram. Paramenter yang diamati meliputi waktu pendinginan, COP aktual, COP Carnot, Efisiensi, serta konsumsi energi listrik. Hasil menunjukan bahwa R290 mampu menurunkan waktu pendinginan menjadi 39-41 menit dibanding R134a yaitu 51 menit. Nilai COP aktual tertinggi ditemukan pada sistem dengan R290 berdasarkan temperatur evaporasi (2,12). Sedangkan, nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada sistem yang menggunakan R134a (60,4%). Konsumsi listrik terbesar adalah ketika sistem menggunakan R290 berdasarkan temperatur evaporasi. Dari hasil tersebut R290 terbukti dapat digunakan sebagai alternatif R134a tidak hanya dari segi ramah lingkungan melainkan dari performansi nya.

Kata kunci
GWP, R134a, R290, Retrofit, COP.

R134a refrigerant has been widely used in cooling systems such as chest freezers, but has a high Global Warming Potential (GWP) of around 1430, although its ODP is zero. As a more environmentally friendly alternative, R290 (Propane) has zero ODP and a very low GWP of around 3, as well as thermodynamic characteristics that are close to R134a. This study aims to compare the performance of the system retrofitted from R134a to R290 with two charging methods, namely based on mass and based on the same evaporation temperature. Charging is carried out with 150 grams of R134a, R290 based on mass of 60 grams with reference to the comparison of the densities of the two refrigerants, and R290 based on evaporation temperature of 90 grams. The parameters observed include cooling time, actual COP, Carnot COP, Efficiency, and electrical energy consumption. The results show that R290 is able to reduce cooling time to 39-41 minutes compared to R134a which is 51 minutes. The highest actual COP value was found in the system with R290 based on evaporation temperature (2.12). Meanwhile, the highest efficiency value was obtained in the system using R134a (60.4%). The largest electricity consumption was when the system used R290 based on evaporation temperature. From these results, R290 is proven to be used as an alternative to R134a not only in terms of environmental friendliness but also in terms of its performance

Keywords
GWP, R134a, R290, Retrofit, COP.

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi banyak dimanfaatkan di bidang domestik dan komersial untuk keperluan pengawetan makanan. Salah satu bentuk penerapannya adalah *chest freezer*, yang difungsikan untuk menyimpan produk makanan beku dalam volume besar. (1) *Chest freezer* menjadi salah satu sistem pendingin yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan makanan atau minuman dengan suhu yang sangat dingin. Proses pendinginan pada sistem refrigerasi merupakan proses perpindahan panas di dalam ruangan tersebut. Berdasarkan hukum kekekalan energi bahwa energi tidak dapat dihilangkan tetapi hanya dapat dipindahkan dari satu substansi ke substansi lainnya. Untuk memindahkan suatu energi panas dari ruangan dibutuhkan suatu fluida penukar panas atau kalor yang disebut refrigeran. (2)

Refrigeran yang digunakan pada mesin *chest freezer* ini salah satunya adalah R134a. Refrigeran R134a biasanya digunakan pada mesin refrigerasi domestik seperti kulkas, *showcase*, *freezer*, dan sistem refrigerasi kompresi uap lainnya. Refrigeran R404A bersama R134a, R410A dan R407C adalah keluarga dari HFC (*hydrofluorocarbon*) telah digunakan sekitar selama 30 tahun terakhir. (3) R134a memiliki sifat dengan potensi menyebabkan penipisan ozon, dikarenakan memiliki nilai ODP nol dan sifat termodinamika yang baik, namun refrigeran tersebut memiliki potensi pemanasan global (GWP) yang tinggi sebesar 1300. (4) Peralatan refrigerasi berkontribusi terhadap pemanasan global, baik secara langsung melalui kebocoran refrigeran

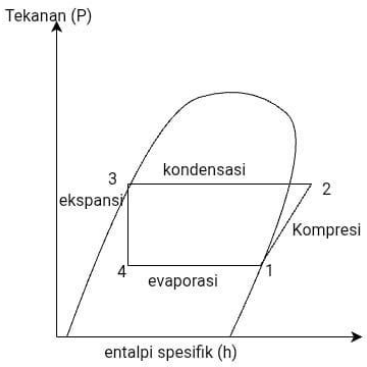
maupun secara tidak langsung akibat penggunaan energi oleh sistem pendingin.(5) Maka dari itu penggunaan R134a dalam jangka panjang harus segera dihapuskan demi keamanan lingkungan. (6) Maka dari itu beberapa refrigeran baru telah diteliti yang memiliki nilai GWP dan ODP rendah serta ramah lingkungan. Refrigeran hidrokarbon seperti propana, butana, dan isobutana yang diusulkan menjadi refrigeran alternatif pengganti R134a.

Pada penelitian kali ini dilakukan *retrofitting* atau penggantian refrigeran R134a dengan jenis refrigeran yang lebih ramah lingkungan yaitu R290 pada mesin *chest freezer,* dengan tujuan membandingkan kinerja sistem ketika di retrofit berdasarkan massa dan ketika di retrofit berdasarkan temperatur evaporasi yang sama (tekanan *suction*). Pergantian refrigeran dengan dua metode tersebut diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam proses pergantian refrigeran, penelitian ini juga dapat memberikan wawasan atau pemahaman tentang dampak lingkungan dari pemilihan pemakaian refrigeran serta menjadi solusi berkelanjutan dalam teknologi pendinginan. Selanjutnya karakteristik dari refrigeran yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Refrigeran

Perbedaan refrigeran		
Refrigeran	R134a	R290
Jenis	Hidrofluorokarbon (HFC)	Hidrokarbon (HC)
Titik didih normal (1 ATM)	-26,3°C	-42,1°C
Temperatur kritis	101,1°C	96,7°C
Tekanan Kritis	40,6 bar	42,5 bar
ODP	0	0
GWP	1430	3

2. TINJAUAN PUSTAKA

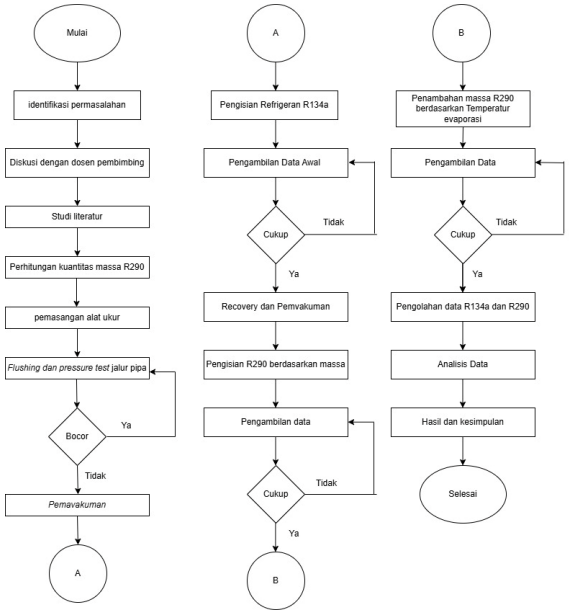


Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap pada diagram P-h

Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sistem refrigerasi yang biasanya paling banyak atau umum digunakan. Disebut sistem refrigerasi kompresi uap karena pada sistem ini refrigeran yang masuk ke dalam kompresor berfasa uap. (7) Pada sistem ini juga terdapat beberapa komponen utama yaitu kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator, serta refrigeran sebagai media pendingin. (8) Dari komponen komponen sistem refrigerasi kompresi uap tersebut, siklus refrigerasi kompresi uap dapat diilustrasikan dengan mudah melalui diagram skematis yang ditunjukan pada Gambar 1.

3. METODOLOGI

Pengujian pada penelitian ini dilakukan pada mesin *chest freezer* dengan kapasitas kompresor 1/6 HP yang asalnya menggunakan R134a sebagai fluida kerja, dengan suhu evaporasi -25°C. Pada saat menggunakan R134a refrigeran yang terisi pada sistem adalah sebanyak 150 gram. Selanjutnya dikeluarkan dan kemudian diganti dengan R290 (propana) dengan massa yang diisikan sebanyak 60 gram, pengisian tersebut mengacu pada volume pengisian yang sama, akan tetapi massa jenis R290 lebih kecil dari R134a sehingga untuk volume yang sama, maka massa pengisian R290 lebih kecil. (6) Pengisian refrigeran untuk berdasarkan massa dapat dilakukan dengan menghitung perbandingan massa jenis kedua refrigeran dengan melihat pada temperatur evaporasinya. (9) Setelah itu metode pengisian selanjutnya dilakukan dengan cara menambah refrigeran dengan mengacu pada temperatur evaporasi yang telah terukur pada sistem saat menggunakan R134a yaitu -25°C, dikarenakan R290 memiliki tekanan yang berbeda walaupun pada temperatur yang sama, maka dari itu pengisian dilakukan dengan melihat tekanan *suction* ketika temperatur evaporasi nya adalah -25°C. Pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan COP, efisiensi sistem, dan konsumsi daya listrik untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem dengan menggunakan jenis refrigeran yang berbeda dan metode pengisian refrigeran yang berbeda. Adapun metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengambilan data dilakukan selama 180 menit (3 jam) dan dicatat setiap lima menit, parameter pengukuran saat pengambilan data dapat ditunjukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Pengukuran

No	Parameter yang diukur	Satuan
1	Tekanan *Suction*	Bar abs
2	Tekanan *Discharge*	Bar abs
3	Temperatur *Suction*	℃
4	Temperatur *Discharge*	℃
5	Temperatur Keluaran Kondenser	℃
6	Temperatur Kabin	℃
7	Temperatur Lingkungan	℃
8	Arus listrik	Ampere
9	Tegangan listrik	Volt

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 persamaan 1-6 (10) sebagai berikut:

$q_w = h_2 - h_1$ (1)
$q_c = h_2 - h_3$ (2)
$q_e = h_3 - h_4$ (3)
$h_3 = h_4$ (4)
$COP_{actual} = q_e/q_w$ (5)
$COP_{Carnot} = T_e/T_k - T_e$ (6)
kWh = W.t (7)

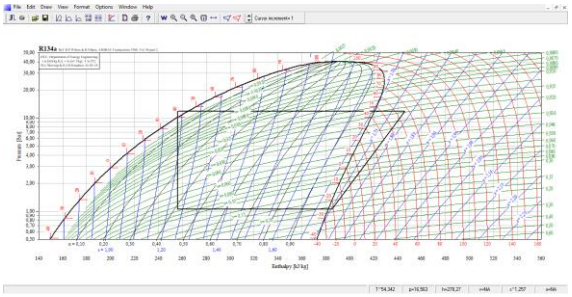
Dimana:
q_w= Besarnya kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg).
q_c = Besarnya panas dilepas di kondenser (kJ/kg).
q_e = Besarnya panas yang diserap oleh evaporator (kJ/kg).
COP_{actual} = Perbandingan antara kalor yang diserap oleh evaporator dan kerja kompresi.
COP_{Carnot} = COP maksimum yang dapat dicapai pada temperatur kerja yang sama dengan sistem refrigerasi sebenarnya.
kWh = Konsumsi energi listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya, pada penelitian ini akan diamati 3 parameter pada mesin *chest freezer* akibat pergantian refrigeran R134a dengan R290 menggunakan 2 metode. Ketiga parameter tersebut yaitu COP, efisiensi, dan konsumsi energi listrik. Data hasil pengukuran diambil nilai rata rata untuk mendapatkan hasil dari ketiga parameter tersebut, data hasil pengukuran dapat ditunjukan pada Tabel 3.

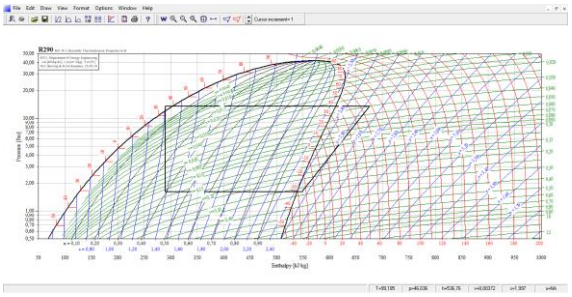
Tabel 3. Data Hasil Pengukuran R134a, R290 Berdasarkan Massa, dan R290 Berdasarkan Temperatur Evaporasi

No	Pengukuran	R134a	R290 (Massa)	R290 (T.Evap)	Satuan
1	Tekanan *Suction*	1,05	1,6	2	Bar abs
2	Tekanan *Discharge*	11,8	13,50	15,38	Bar abs
3	Temperatur *Suction*	-21,70	-24,90	-20	℃
4	Temperatur *Discharge*	67,2	68	69,8	℃
5	Temperatur Keluaran Kondenser	40	34,55	36,30	℃
6	Arus	0,9	0,95	1	A
7	Tegangan	223	223	226	V



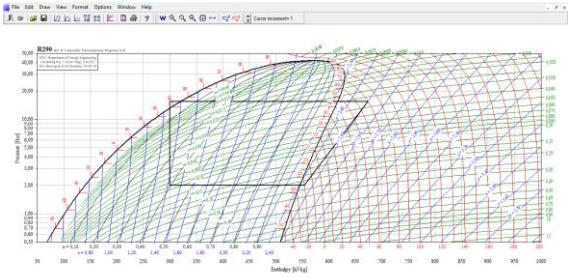
Gambar 3. Hasil Plot Diagram p-h R134a

Berdasarkan Gambar 3. maka dapat dihitung nilai COP dari hasil perolehan nilai entalphy sistem *chest freezer* yang menggunkaan R134a.



Gambar 4. Hasil Plot Diagram p-h R290 Berdasarkan Massa

Berdasarkan Gambar 4. maka dapat dihitung nilai COP dari hasil perolehan nilai entalphy sistem *chest freezer* yang menggunkaan R290 berdasarkan massa.



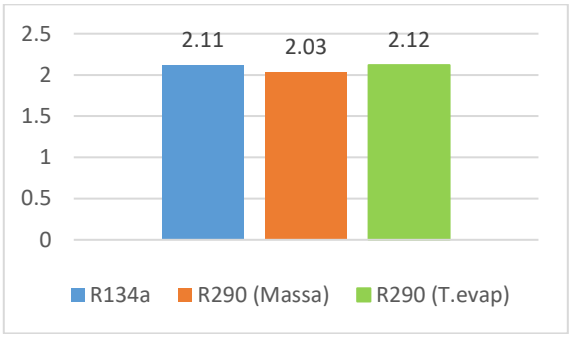
Gambar 5. Hasil Plot Diagram p-h R290 Berdasarkan Temperatur Evaporasi

Berdasarkan Gambar 5. maka dapat dihitung nilai COP dari hasil perolehan nilai entalphy sistem *chest freezer* yang menggunkaan R290 berdasarkan temperatur evaporasi.

Pembahasan dari ketiga parameter yang telah di analisa yaitu COP, efisiensi, dan konsumsi energi listrik akan dijelaskan tiap sub-bab dibawah.

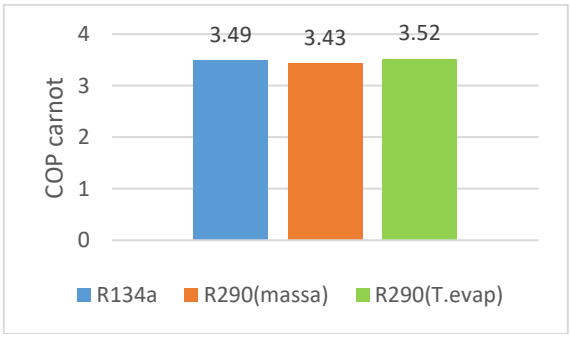
4.1 Coefficient of Performance (COP) actual

Nilai COP adalah parameter yang paling umum digunakan untuk menunjukan kinerja pada mesin refrigerasi. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai COP, maka semakin efisien mesin refrigerasi tersebut. Gambar 6 menunjukan bahwa nilai COP_{actual} tertinggi adalah sistem yang menggunakan refrigeran R290 berdasarkan temperatur evaporasi yaitu 2,12, dan COP_{actual} terendah adalah R290 berdasarkan massa yaitu 2,03. Nilai COP_{actual} dihitung dengan persamaan (5). Nilai COP_{actual} tertinggi dicapai oleh R290 berdasarkan temperatur evaporasi, nilai yang tinggi ini dikarenakan massa refrigeran R290 berdasarkan temperatur evaporasi lebih banyak dari R290 berdasarkan massa, yang menyebabkan tekanan *suction* lebih tinggi sehingga temperatur evaporasi dapat mendekati suhu idealnya yaitu -25°C, rasio kompresi pun tidak terlalu tinggi sehingga kerja kompresor lebih ringan dari metode berdasarkan massa sehingga COP_{actual} meningkat.



Gambar 6. COP actual pada *Chest Freezer*

4.2 *Coefficient of Performance (COP) Carnot*

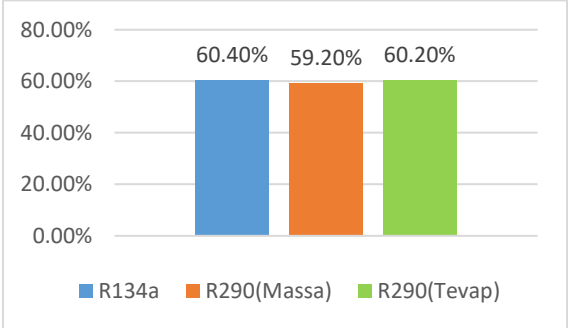


Gambar 7. COP Carnot pada *Chest Freezer*

COP_{Carnot} digunakan untuk menghitung kinerja ideal mesin refrigerasi menggunakan perbandingan temperatur kerja temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi. Dimana pada temperatur kondensasi kalor dilepaskan dan pada temperatur evaporasi kalor diserap. Gambar 7 menunjukan bahwa nilai COP_{Carnot} tertinggi adalah sistem yang menggunakan R290 berdasarkan temperatur evaporasi yaitu sebesar 3,52 dan COP_{Carnot} terendah adalah sistem yang menggunakan R290 berdasarkan massa yaitu 3,43. Nilai COP_{Carnot} dapat dihitung dengan persamaan (6). Nilai COP_{Carnot} terendah diperoleh oleh sistem yang menggunkan R290 berdasarkan massa, nilai yang rendah tersebut dikarenakan temperatur evaporasi yang sangat rendah sehingga selisih dengan temperatur kondensasi menjadi lebih besar maka COP_{Carnot} yang diperoleh lebih rendah dari R134a maupun R290 berdasarkan temperatur evaporasi.

5. Efisiensi Sistem

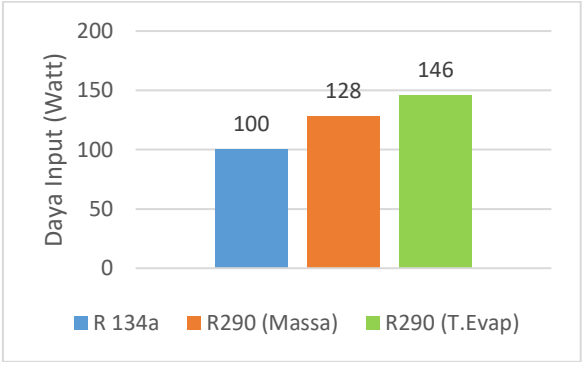
Semakin besar nilai COP Carnot dan semakin kecil nilai COP aktual maka nilai efisiensi sistem akan semakin rendah, sebaliknya apabila nilai COP Carnot semakin kecil dan nilai COP aktual semakin besar maka efisiensi sistem akan semakin tinggi. Gambar 8 menunjukan bahwa efisiensi sistem tertinggi diperoleh ketika sistem menggunakan R134a yaitu 60,4% dan yang terendah adalah R290 berdasarkan massa yaitu 59,2%.



Gambar 8. Efisiensi Sistem *Chest Freezer*

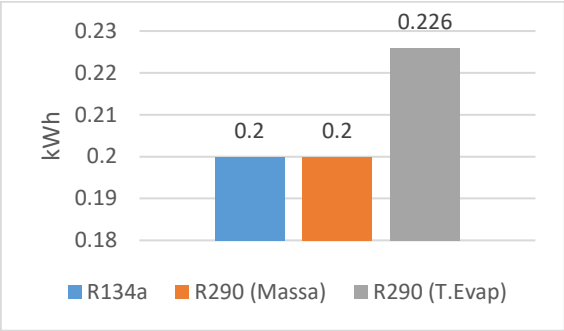
6. Konsumsi Energi Listrik

Selain harus ramah lingkungan, refrigeran alternatif juga diharapkan mampu mengurangi konsumsi daya listrik pada mesin refrigerasi. Jika pengurangan tidak memungkinkan, setidaknya penggunaan daya tidak mengalami peningkatan yang berarti, karena proses pembangkitan listrik sebagai sumber energi mesin refrigerasi juga menghasilkan emisi CO_2, yang merupakan salah satu kontributor utama pemanasan global. (11) Gambar 9 menunjukan daya input *chest freezer* untuk kedua refrigeran. Daya input untuk sistem saat menggunakan R134a, R290 berdasarkan massa, dan R290 berdasarkan temperatur evaporasi adalah 100 W, 128 W, 146 W. Pada gambar terlihat bahwa penggantian refrigeran dengan kedua metode tersebut menyebabkan kenaikan daya input pada kompresor.



Gambar 9. Daya Input Sistem *Chest Freezer*

Setelah perolehan daya input maka dapat dihitung konsumsi energi listriknya dengan persamaan (7). Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan selama 180 menit atau 3 jam. Konsumsi energi listrik diasumsikan hanya selama sistem menyala. Gambar 10 menunjukan konsumsi energi listrik untuk sistem chest freezer dengan menggunakan kedua refrigeran.



Gambar 10 Konsumsi Energi

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di dapat perbandingan kinerja sistem diantaranya :

1. Nilai COP actual saat sistem menggunakan refrigeran R134a adalah 2,11. Untuk sistem yang mengguunakan R290 berdasarkan massa adalah 2,03. Kemudian untuk sistem yang menggunakan R290 berdasarkan temperatur evaporasi adalah 2,12.
2. Nilai COP Carnot saat sistem menggunakan refrigeran R134a adalah 3,49. Untuk sistem yang menggunakan refrigeran R290 berdasarkan massa adalah 3,43, dan untuk R290 berdasarkan temperatur evaporasi nilai COP carnot adalah 3,52.
3. Nilai efisiensi sistem yang menggunakan R134a adalah 60,4%, lalu untuk sistem yang menggunakan R290 berdasarkan massa nilai efisiensi diperoleh sebesar 59,3%, dan terakhir nilai efisiensi untuk sistem yang menggunakan R290 berdasarkan temperatur evaporasi adalah sebesar 60,2%.
4. Konsumsi energi listrik saat sistem menggunakan refrigeran R134a adalah sebesar 0,200 kWh. Untuk sistem yang menggunakan refrigeran R290 berdasarkan massa konsumsi energi listriknya sebesar 0,200kWh, kemudian untuk sistem yang menggunakan refrigeran R290 berdasarkan temperatur evaporasi konsumsi energi listriknya sebesar 0,226 kWh.
5. Dari hasil penelitian metode pengisian R290 yang paling optimal dan disarankan adalah berdasarkan temperatur evaporasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali HM, Mahdi LA. Exergy analysis of chest freezer working with r-134a and r-600a at steady state conditions. Int J Energy Prod Manag. 2023;8(2):63–70.
2. Hasan S. Sistem Refrigerasi Dan Tata Udara Jilid 1. Journal of Chemical Information and Modeling. 2008. i–345.
3. Sumeru K, Pramudantoro TP, Badarudin A, Nugraha R, Simbolon LM, Sukri MF bin. Kaji Eksperimental Retrofit R404a Dengan Refrigeran Ramah Lingkungan R290 Pada Freezer. JTT (Jurnal Teknol Ter. 2023;9(2):148.
4. Aziz A, Ali I, Siregar R, Mainil RI, Kurniawan Mainil A. KOMPARASI KINERJA REFRIGERATOR DENGAN REFRIGERAN HIDROKARBON HCR134a ALTENATIF PENGGANTI R134a PADA PANJANG PIPA KAPILER 1,25 m. J Sains dan Teknol. 2020;19(2):76–81.
5. Llopis R, Calleja-Anta D, Maiorino A, Nebot-Andrés L, Sánchez D, Cabello R. TEWI analysis of a stand-alone refrigeration system using low-GWP fluids with leakage ratio consideration. Int J Refrig. 2020;118(August):279–89.
6. Pramudantoro TP. Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja Freezer. ReTII [Internet]. 2017;0–5. Available from: https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/652
7. 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.
8. Edition SI. https://boilersinfo.com.
9. Huber ML, Lemmon EW, Bell IH, McLinden MO. The NIST REFPROP Database for Highly Accurate Properties of Industrially Important Fluids. Ind Eng Chem Res. 2022;61(42):15449–72.
10. Dossat RJ, Professor of Refrigeration A, York N. Wiley International Edition PRINCIPLES OF REFRIGERATION. 2002;35–256.
11. Cabello R, Sánchez D, Llopis R, Andreu-Nacher A, Calleja-Anta D. Energy impact of the Internal Heat Exchanger in a horizontal freezing cabinet. Experimental evaluation with the R404A low-GWP alternatives R454C, R455A, R468A, R290 and R1270. Int J Refrig. 2022;137(February):22–33.