

Kaji Eksperimental *Retrofit* R-134a Menjadi R-600a Terhadap Kinerja Sistem *Cold Handling Unit*

Listya Utari¹, Fitto Ramadhan², Muhamad Anda Falahuddin^{3*}, Triaji Pangripto Pramudantoro⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

* *Corresponding author*

Email: m.andafalahuddin@polban.ac.id

Informasi Artikel:	ABSTRAK
<i>Received:</i> 9 Desember 2025 <i>Accepted:</i> 27 April 2026 <i>Available:</i> 20 Mei 2026	Industri refrigerasi terus berkembang di tengah tantangan global terkait dampak lingkungan akibat penggunaan refrigeran. Salah satu refrigeran yang umum digunakan saat ini adalah R-134a, namun refrigeran ini memiliki potensi pemanasan global (GWP) sebesar 1430. Sebagai alternatif, R-600a dipertimbangkan karena memiliki GWP sangat rendah, yaitu hanya 3, serta memiliki kompatibilitas yang baik terhadap sistem berbasis R-134a. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa sistem refrigerasi setelah dilakukan <i>retrofit</i> dari R-134a ke R-600a. Pengujian dilakukan pada dua variasi temperatur kondensasi: 33,29°C dan 35,29°C. Hasil menunjukkan bahwa pada temperatur 33,29°C, COP meningkat 30%, efisiensi meningkat 12%, dan konsumsi listrik menurun 32%. Pada temperatur 35,29°C, COP meningkat 22%, efisiensi 6%, dan konsumsi listrik turun 30%. Selain itu, R-600a hanya memerlukan 50% massa refrigeran dibandingkan R-134a. Temperatur 33,29°C dinilai sebagai kondisi optimal dengan kinerja terbaik dan waktu pendinginan lebih cepat. Hasil ini mendukung potensi R-600a sebagai refrigeran alternatif ramah lingkungan.
Kata Kunci:	ABSTRACT
<i>Retrofit</i> Refrigeran <i>Cold Handling Unit</i> COP (Coefficient of Performance)	<i>The refrigeration industry continues to grow amid global challenges related to the environmental impact of refrigerant use. One of the commonly used refrigerants today is R-134a, but this refrigerant has a global warming potential (GWP) of 1430. As an alternative, R-600a is considered because it has a very low GWP of only 3, and has good compatibility with R-134a-based systems. This study aims to analyze the performance of the refrigeration system after retrofitting from R-134a to R-600a. Tests were conducted at two condensing temperature variations: 33.29°C and 35.29°C. The results show that at 33.29°C, COP increased by 30%, efficiency increased by 12%, and electricity consumption decreased by 32%. At 35.29°C, COP increased by 22%, efficiency by 6%, and electricity consumption decreased by 30%. In addition, R-600a requires only 50% of the refrigerant mass compared to R-134a. A temperature of 33.29°C was considered the optimal condition with the best performance and faster cooling time. These results support the potential of R-600a as an environmentally friendly alternative refrigerant.</i>

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia industri, terutama pada industri *food and beverage* (F&B), farmasi, bioteknologi, perikanan dan pertanian. Pemanfaatan sistem pendingin dalam sektor industri umumnya digunakan untuk menjaga kestabilan suhu rendah guna mempertahankan kualitas produk dan memperpanjang masa penyimpanannya. *Cold Handling Unit* (CHU) merupakan unit pendingin yang dirancang untuk mempertahankan suhu rendah dalam ruang penyimpanan. Prinsip kerja CHU berdasarkan pada prinsip kompresi uap dengan memanfaatkan refrigeran untuk menyerap panas dari ruang penyimpanan dan membuangnya ke lingkungan luar.

R-134a merupakan refrigeran jenis Hidrofluorokarbon (HFC) yang banyak digunakan dalam sistem pendingin industri maupun komersial. Refrigeran HFC memiliki karakteristik tingkat toksisitas rendah, stabilitas termal yang baik, tidak korosif dan memiliki nilai *Ozone Depletion Potential* (ODP) nol, sehingga tidak berpotensi merusak lapisan ozon [1], [2]. Namun saat ini penggunaan R-134a semakin dikritisi, karena memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang sangat tinggi mencapai 1430 [2]. Nilai tersebut menyatakan R-134a berpotensi menyebabkan pemanasan global 1430 kali lebih besar dibandingkan CO₂. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak pemanasan global tersebut dibuat peraturan No 842/2006 di Uni Eropa, *F-gas Regulation* (No. 517/2014) serta perjanjian internasional melalui Amandemen Kigali yang mengatur pengurangan produksi dan konsumsi HFC secara global [3].

Berbagai studi penelitian telah dilakukan guna mengembangkan refrigeran yang lebih efektif untuk digunakan pada sistem pendingin. Refrigeran berbasis Hydrofluorolefin (HFO), Hydrocarbon (HC) dan CO₂ memiliki potensi sebagai alternatif pengganti R-134a. Karena refrigeran-refrigeran tersebut memiliki nilai ODP nol dan GWP yang rendah [4]. Analisis penggunaan HFO sebagai alternatif pengganti HFC telah dilakukan oleh Mota-Babiloni dkk. [5], Mateu-Royo C dkk. [6] dan Kumar dkk. [7] menggunakan R-1234ze (E) serta Pabon dkk. [3] dan Sharif dkk. [4] menggunakan R-1234yf. Menurut hasil penelitian tersebut refrigeran HFO dapat direkomendasikan sebagai pengganti R-134a dengan proses optimasi untuk mencapai kondisi operasi yang optimal. Investigasi perbandingan sifat termodinamika R-134a dengan refrigeran berbasis CO₂ (R-744) telah dilakukan melalui penelitian Akhtar dkk. [8]. Besar nilai kerja kompresi dan *Coefficient of Performance* (COP) dari kedua refrigeran tersebut dianalisis menggunakan *software* REFPROP, yang menunjukkan simulasi dengan R-134a memberikan hasil yang lebih baik terhadap kinerja sistem pendingin dibandingkan dengan R-744.

Dalam dua dekade terakhir, industri manufaktur sistem pendingin banyak menggunakan refrigeran berbasis HC pada pasar domestik maupun komersial [9]. Penelitian terkait *retrofit* R-134a dengan refrigeran berbasis HC telah dianalisis oleh banyak peneliti. Sumardi dkk. dalam penelitiannya mendapatkan hasil nilai COP sistem dengan R1270 (propilena) mengalami peningkatan sebesar 26% dibandingkan saat sistem menggunakan R-134a [10]. Pemodelan secara matematis dilakukan oleh de Paula dkk. untuk menganalisis kinerja sistem pendingin menggunakan R290 (propana), R1234yf, dan R744 sebagai refrigeran alternatif pengganti R-134a. Dari hasil pemodelan refrigeran HC R290 menghasilkan kinerja sistem pendingin yang paling baik dengan nilai COP dan efisiensi eksergi yang lebih tinggi dibandingkan ketiga refrigeran lainnya [11]. Namun menurut Moreira dkk. tidak menyarankan penggunaan R290 dan R1290 sebagai alternatif pengganti R-134a. Karena memiliki karakteristik peningkatan suhu yang relatif lebih tinggi yang dapat mengakibatkan peningkatan risiko kebocoran serta tekanan buang yang lebih tinggi, yang berdampak pada efisiensi dan masa pakai sistem. Pada aplikasi sistem pendingin rumah dan komersial, R-600a merupakan pengganti R134a yang paling cocok [12].

Investigasi mengenai pengaruh *retrofit* R-134a dengan refrigeran pengganti R-600a telah diamati melalui penelitian Sumeru dkk., dimana R-600a digunakan sebagai refrigeran pengganti R-134a pada AC mobil. Dengan menggunakan R-600a, COP mesin pendingin pada AC mobil menunjukkan peningkatan sebesar 2,93% dan konsumsi bahan bakar yang digunakan lebih sedikit saat AC mobil beroperasi [13]. Beberapa studi telah menunjukkan R-600a merupakan alternatif yang layak untuk menggantikan R-134a dalam sistem pendingin mobil ataupun rumah tangga. Hasil studi menunjukkan R-600a memiliki sifat termodinamika yang lebih baik [14], menunjukkan konsumsi energi yang lebih rendah [15], dan menunjukkan kinerja yang lebih baik dari R-134a dari segi COP, energi eksergi, dan efisiensi energi [16], [17], [18], [19], [20].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji performa CHU setelah dilakukan *retrofit* R-134a menjadi R-600a. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan mengambil data parameter kelistrikan, tekanan dan temperatur pada evaporator dan kondensor untuk menghitung COP, efisiensi dan konsumsi listrik dari sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi teknis yang berguna bagi implementasi *retrofit* refrigeran hidrokarbon pada sistem penyimpanan dingin berskala kecil hingga menengah.

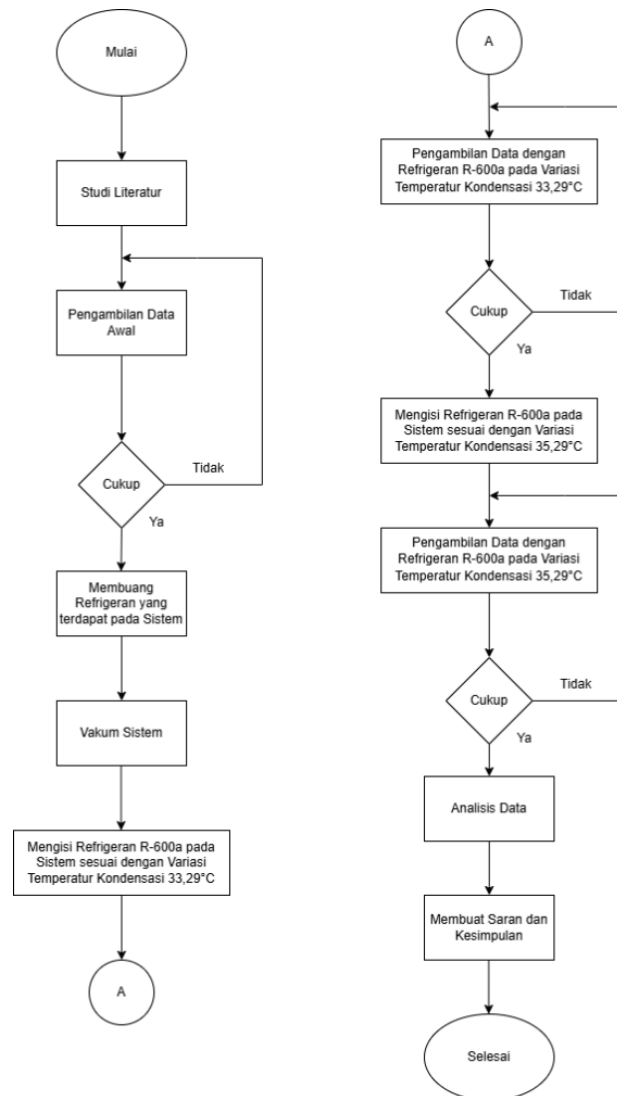
2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi performansi sistem CHU (*Cold Handling Unit*) sebelum dan setelah proses *retrofit* dari refrigeran R134a ke R600a. Sistem CHU yang digunakan terlampir dalam Gambar 1 dengan komponen meliputi kompresor tipe Hermetic, 1/6 PK, 1 *phase*, jenis kondensor berpendingin udara (*air-cooled condenser*), evaporator pelat dan katup ekspansi pipa kapiler.



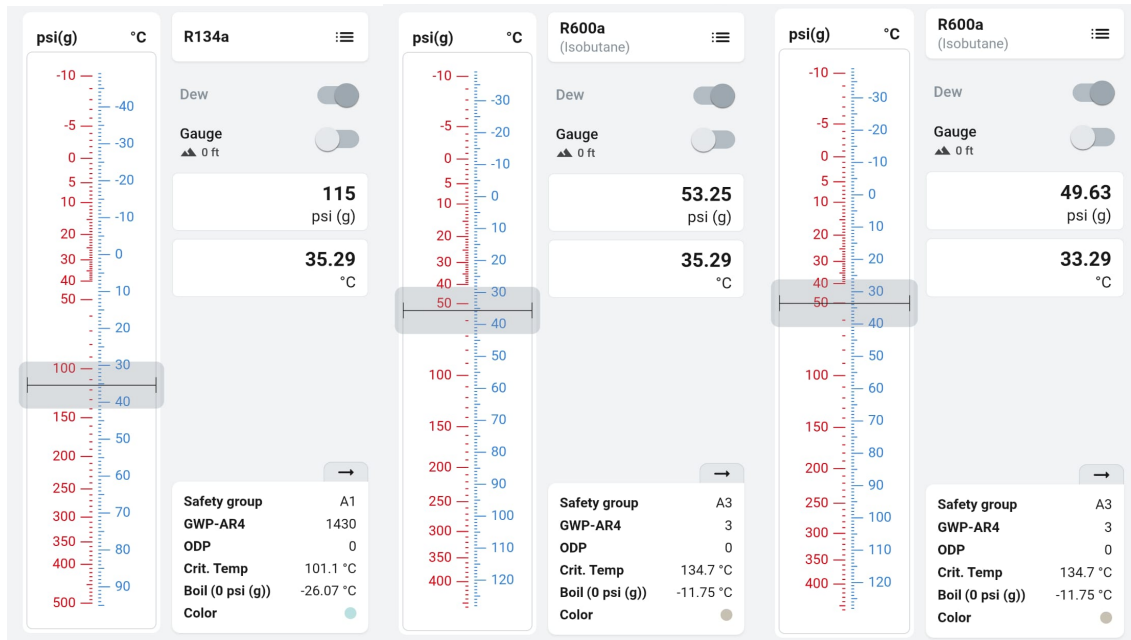
Gambar 1 *Cold handling unit*

Rangkaian penelitian terdiri dari beberapa tahapan seperti yang digambarkan pada diagram alur penelitian Gambar 2. Alur penelitian meliputi persiapan alat dan bahan, pengambilan data awal dengan R-134a, proses *retrofit* sistem dan pengambilan data dengan R-600a. Persiapan alat dan bahan meliputi pengondisian sistem dalam keadaan layak operasi dan tidak terdapat kebocoran, kalibrasi alat ukur dan simulasi awal eksperimen. Simulasi awal eksperimen dilakukan dengan menggunakan *software* Reftools untuk mengetahui tekanan *discharge* dan kondisi operasi yang aman, menentukan parameter awal eksperimen, serta memastikan kelayakan variasi temperatur kondensasi. Pengujian awal dilakukan menggunakan R-134a untuk memperoleh data *baseline*. Parameter pengambilan data meliputi massa refrigeran yang digunakan, tekanan *discharge* dan *suction*, temperatur kabin, temperatur lingkungan, temperatur masuk dan keluar evaporator, temperatur masuk dan keluar kondensor, arus listrik, faktor daya, tegangan listrik dan daya. Data-data yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung kerja kompresi (q_w), efek refrigerasi (q_e), COP, dan efisiensi sistem (η). Pengambilan data awal dari sistem menggunakan R-134a dilakukan pada tekanan *discharge* sebesar 115 psi (g). Nilai tekanan tersebut kemudian digunakan sebagai data awal untuk mengetahui temperatur kondensasi dengan menggunakan *software* Reftools. Hasil pengolahan didapatkan temperatur kondensasi R-134a yang ekuivalen dengan tekanan *discharge* sebesar 115 psi (g) adalah 35,29°C. Temperatur berikut selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi operasi sistem saat menggunakan refrigeran R-600a.



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Dengan menggunakan simulasi yang sama, selanjutnya dilakukan penentuan tekanan *discharge* sistem dengan menggunakan R-600a. Pengujian sistem dengan R-600a dilakukan pada 2 variasi temperatur kondensasi yang berbeda yaitu pada temperatur 35,29°C dan 33,29°C. Hasil simulasi menunjukkan tekanan *discharge* yakni 53,25 psi (g) dan 49,63 psi (g) untuk masing-masing temperatur berikut 35,29°C dan 33,29°C. Nilai tekanan tersebut digunakan sebagai panduan dalam proses pengisian refrigeran R-600a agar kondisi operasi sistem yang ditetapkan dapat tercapai. Hasil simulasi menggunakan Reftools ditunjukkan dalam Gambar 3. Setelah seluruh data *baseline* terkumpul, maka selanjutnya dilakukan proses *retrofit*. Prosedur pelaksanaan *retrofit* meliputi pengosongan sistem dengan memindahkan refrigeran R-134a dengan menggunakan alat *recovery*, proses vakum sistem untuk memastikan tidak terdapat udara maupun uap air di dalam saluran, dan pengisian ulang sistem menggunakan R-600a sesuai dengan tekanan acuan yang diperoleh dari simulasi. Pengambilan data pasca-*retrofit* dilakukan pada titik yang sama dengan data *baseline* dan juga menggunakan prosedur pengukuran yang sama seperti pada tahap awal. Sehingga memungkinkan untuk dilakukan perbandingan kinerja sistem sebelum dan sesudah proses *retrofit*.



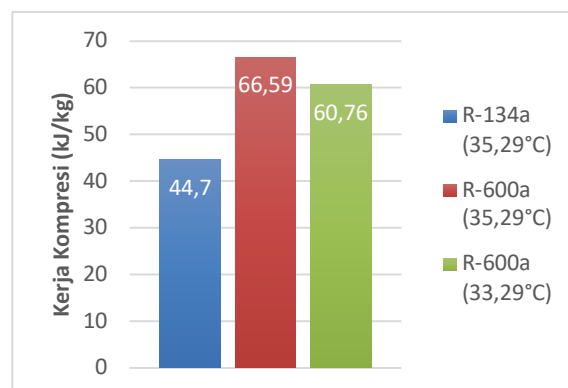
Gambar 3. Simulasi *reftools*

3. HASIL

Perbandingan kinerja sistem CHU dengan menggunakan jenis refrigeran yang berbeda dapat diamati melalui perbandingan parameter-parameter berikut kerja kompresi (q_w), efek refrigerasi (q_e), COP, efisiensi sistem (η), dan massa refrigeran yang digunakan. Berdasarkan perbandingan tersebut, dampak *retrofit* R-134a menjadi R-600a pada sistem CHU akan dianalisis lebih lanjut.

3.1. Perbandingan Kerja Kompresi dan Efek Refrigerasi

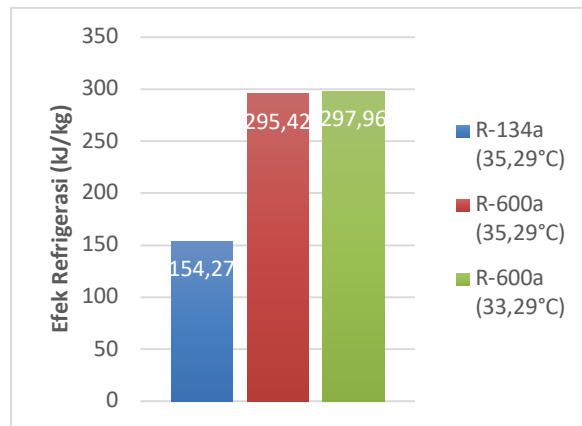
Besar nilai kerja kompresi dari masing-masing sistem dapat diamati pada Gambar 1. Pada temperatur kondensasi yang sama sistem dengan R-600a memiliki nilai kerja kompresi yang lebih tinggi dibandingkan sistem dengan R-134a. Peningkatan temperatur kondensasi pada R-600a menyebabkan peningkatan nilai kerja kompresi. Hal ini disebabkan karena temperatur kondensasi berbanding lurus dengan tekanan kondensasi dan tekanan *discharge*. Ketika temperatur kondensasi meningkat, maka tekanan kondensasi dan tekanan *discharge* meningkat. Sehingga kompresor harus bekerja lebih keras untuk mencapai tekanan tersebut.



Gambar 4. Perbandingan kerja kompresi sistem

Kemampuan refrigeran dalam menyerap kalor dari evaporator ditunjukkan dalam nilai efek refrigerasi pada Gambar 2. R-600a memiliki nilai efek refrigerasi lebih tinggi dibandingkan R-134a, dengan nilai mendekati dua kali lipat dari R-134a. Hal ini menunjukkan R-600a memiliki kemampuan untuk menyerap

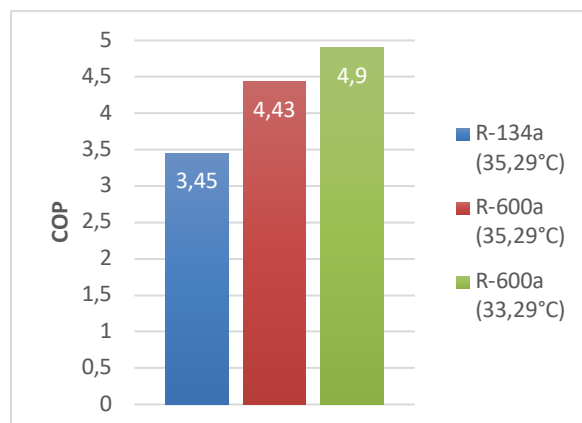
kalor dari evaporator lebih baik dibandingkan R-134a. Kenaikan temperatur kondensasi R-600a sebesar 2°C menyebabkan sedikit penurunan nilai efek refrigerasi sebesar 0,85% yang menunjukkan stabilitas efek refrigerasi R-600a terhadap perubahan temperatur kondensasi.



Gambar 5 Perbandingan efek refrigerasi

3.2. Perbandingan COP

Gambar 3 menunjukkan perbandingan perhitungan COP pada masing-masing sistem. Nilai COP pada sistem menggunakan R-134a pada temperatur kondensasi 35,29°C sebesar 3,45. Setelah dilakukan *retrofit* dengan R-600a pada temperatur kondensasi yang sama, nilai COP meningkat 28,4% yakni menjadi 4,43. Semakin kecil nilai COP maka membutuhkan daya listrik yang lebih tinggi untuk menghasilkan efek refrigerasi yang setara. Hal ini menunjukkan jika sistem bekerja lebih efisien setelah dilakukan *retrofit* ke R-600a.



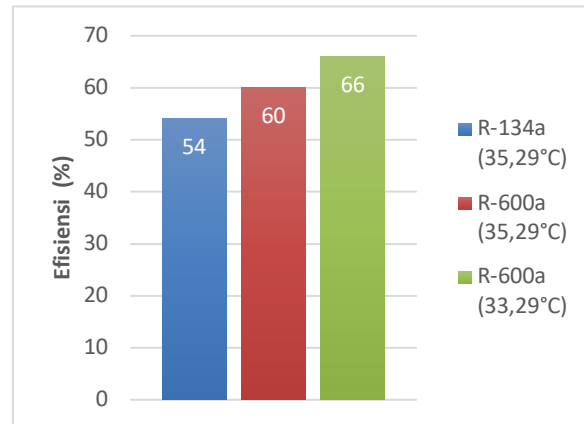
Gambar 6 Perbandingan COP

Pada temperatur kondensasi yang lebih rendah, sistem menggunakan R-600a memiliki nilai COP lebih tinggi sebesar 4,9. Penurunan temperatur kondensasi menyebabkan tekanan kondensasi menurun, sehingga beban kerja kompresor menjadi lebih ringan. Dengan nilai kerja kompresi yang lebih rendah dan efek refrigerasi yang hampir setara, sistem dengan temperatur kondensasi 33,29°C memiliki nilai COP lebih tinggi dibandingkan sistem dengan temperatur kondensasi 35,29°C. Perbandingan ini menegaskan jika temperatur kondensasi mempengaruhi COP sistem. Hasil perhitungan COP menunjukkan jika penggunaan R-600a pada temperatur kondensasi yang sama maupun lebih rendah, mampu meningkatkan efisiensi sistem dibandingkan R-134a.

3.3. Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem pendingin secara termodinamika dapat dievaluasi melalui rasio antara COP_{aktual} terhadap COP_{carnot} , yang menggambarkan seberapa dekat kinerja sistem aktual terhadap kondisi teoritis ideal

yang dapat dicapai menurut siklus Carnot. Persentase efisiensi masing-masing sistem dapat diamati melalui Gambar 4. Pada sistem yang menggunakan R-134a, efisiensi yang didapat yaitu 54%. Setelah dilakukan *retrofit* menggunakan R-600a, efisiensi meningkat menjadi 60%. Nilai ini menunjukkan meskipun R-134a banyak digunakan dalam sistem pendingin, efisiensinya relatif lebih rendah dibandingkan dengan refrigeran alternatif R-600a.

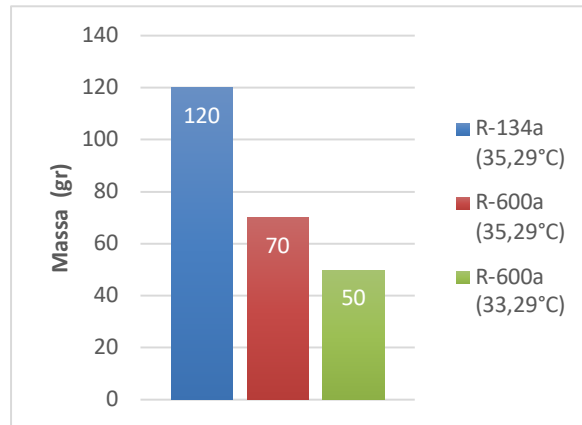


Gambar 7 Perbandingan efisiensi

Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada sistem menggunakan R-600a dengan temperatur kondensasi lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan temperatur kondensasi memiliki pengaruh terhadap efisiensi sistem pendingin, sehingga diperlukan pengaturan temperatur kondensasi yang optimal untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi. Secara umum, hasil ini menegaskan *retrofit* R-600a pada sistem CHU tidak hanya menghasilkan COP yang lebih tinggi dibandingkan R-134a, tetapi juga menghasilkan efisiensi sistem yang lebih tinggi. Efisiensi yang lebih tinggi menunjukkan lebih banyak energi yang dimanfaatkan secara efektif untuk menghasilkan pendinginan.

3.4. Perbandingan Massa Refrigeran yang Digunakan

Perhitungan massa refrigeran menjadi salah satu parameter yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai tekanan yang telah ditentukan. Pengisian refrigeran dengan massa yang tidak sesuai dapat menyebabkan ketidakseimbangan tekanan dan penurunan performa sistem. Pada penggunaan R-134a dengan temperatur kondensasi 35,29°C, sistem memerlukan massa refrigeran sebesar 120 gram. Sedangkan penggunaan R-600a membutuhkan massa refrigeran sebesar 70 gram untuk sistem beroperasi pada temperatur kondensasi yang sama dengan R-134a. Pada temperatur kondensasi yang sama, penggunaan R-134a memerlukan jumlah refrigeran hampir 2 kali lebih banyak dibandingkan saat menggunakan R-600a. Hal ini disebabkan karena refrigeran R-600a memiliki densitas dan tekanan kerja yang lebih rendah. Sehingga berdampak terhadap penggunaan massa refrigeran yang lebih sedikit pada R-600a dibandingkan dengan refrigeran R-134a.



Gambar 8 Perbandingan massa refrigeran yang digunakan

Ketika temperatur kondensasi R-600a diturunkan menjadi 33,29°C, massa refrigeran menurun menjadi 50 gram. Penurunan temperatur kondensasi mempengaruhi tekanan di sistem yang ikut menurun, sehingga massa yang dibutuhkan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam sistem menjadi lebih sedikit. Hasil ini menunjukkan bahwa R-600a membutuhkan massa refrigeran yang jauh lebih sedikit dibandingkan R-134a ketika bekerja pada temperatur kondensasi yang sama maupun lebih rendah. Dengan begitu, penggunaan refrigeran R-600a relatif lebih sedikit dibandingkan refrigeran R-134a yang berkontribusi untuk menurunkan biaya pengisian pada sistem, efisiensi sistem, dan mengurangi potensi resiko pada lingkungan jika sistem mengalami kebocoran karena jumlah zat yang digunakan lebih sedikit.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian *retrofit* refrigeran dari R-134a menjadi R-600a pada sistem *Cold Handling Unit* dengan variasi temperatur kondensasi, diperoleh bahwa penggunaan R-600a memberikan peningkatan kinerja sistem dibandingkan R-134a, yang ditunjukkan oleh meningkatnya efek refrigerasi dari 154,27 kJ/kg menjadi 295,43 kJ/kg pada temperatur yang sama yaitu 35,29 °C. Selain itu sistem yang menggunakan R-600a memiliki nilai COP aktual yang lebih tinggi yaitu 4,43 dibandingkan dengan R-134a yang menghasilkan nilai COP aktual senilai 3,45, sehingga hipotesis bahwa R-600a mampu meningkatkan performa sistem terbukti. Walaupun kerja kompresi R-600a lebih besar dibandingkan R-134a, efisiensi sistem setelah *retrofit* juga meningkat dari 54% dan 60%, sehingga sistem secara keseluruhan tetap menunjukkan efisiensi yang lebih baik. *Retrofit* dari R-134a ke R-600a menyebabkan penurunan signifikan pada massa refrigeran yang diperlukan, dari 120 gram pada R-134a menjadi hanya 50–70 gram pada R-600a, sesuai karakteristik R-600a yang memiliki densitas uap lebih rendah dan kapasitas refrigerasi per satuan massa yang lebih tinggi. Pada penelitian ini juga dilakukan analisis mengenai pengaruh temperatur kondensasi terhadap kinerja sistem menggunakan R-600a pada. Dari hasil perbandingan kinerja sistem menggunakan R-600a pada temperatur kondensasi 35,29 °C dan 33,29 °C, diperoleh bahwa penurunan temperatur kondensasi menghasilkan peningkatan performa sistem secara signifikan.

Pada temperatur kondensasi yang lebih rendah (33,29 °C), kerja kompresi berkurang dari 66,59 kJ/kg menjadi 60,76 kJ/kg, sementara efek refrigerasi meningkat dari 295,43 kJ/kg menjadi 297,96 kJ/kg, sehingga COP aktual naik dari 4,43 menjadi 4,9 dan efisiensi meningkat dari 60% menjadi 66%. Hal ini menunjukkan bahwa operasi pada temperatur kondensasi yang lebih rendah memberikan keuntungan termodinamika berupa kebutuhan kerja kompresor yang lebih kecil dan kemampuan pendinginan yang lebih besar, sehingga kinerja sistem secara keseluruhan menjadi lebih efisien. Meskipun demikian, kondisi temperatur kondensasi yang lebih rendah dapat menuntut pengaturan massa refrigeran yang lebih presisi serta pengendalian kondisi lingkungan yang lebih stabil agar sistem tetap beroperasi optimal. Metode penelitian melalui simulasi awal menggunakan Reftools terbukti membantu menentukan kondisi operasi yang aman dan akurat, meskipun memiliki keterbatasan karena tidak dapat sepenuhnya menggantikan dinamika sistem nyata, serta masih terdapat pengaruh fluktuasi temperatur lingkungan dan variasi massa refrigeran yang dapat memengaruhi hasil eksperimen. Untuk penelitian

lanjutan, disarankan melakukan variasi massa refrigeran yang lebih terkontrol, pengujian dengan lebih banyak titik temperatur kondensasi, analisis unjuk kerja jangka panjang, serta perbandingan dengan refrigeran hidrokarbon lainnya agar pemahaman terhadap performa dan keamanan sistem semakin komprehensif.

5. REFERENSI

- [1] D. Cai, Z. Hao, H. Xu, and G. He, "Research on Flammability of R290/R134a, R600a/R134a and R600a/R290 Refrigerant Mixtures," *International Journal of Refrigeration*, vol. 137, pp. 53–61, May 2022, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2022.02.015.
- [2] Y. Shin, T. Kim, A. Lee, and H. Cho, "Performance Characteristics of Automobile Air Conditioning Using the R134A/R1234yf Mixture," *Entropy*, vol. 22, no. 1, 2020, doi: 10.3390/e22010004.
- [3] J. J. G. Pabon, A. Khosravi, J. M. Belman-Flores, L. Machado, and R. Revellin, "Applications of refrigerant R1234yf in heating, air conditioning and refrigeration systems: A decade of researches," *International Journal of Refrigeration*, pp. 104–113, 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.06.014.
- [4] M. Z. Sharif, W. H. Azmi, M. F. Ghazali, M. Samykano, and H. M. Ali, "Performance improvement strategies of R1234yf in vapor compression refrigeration system as a R134a replacement: A review," *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 148, p. 105032, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105032>.
- [5] A. Mota-Babiloni, C. Mateu-Royo, J. Navarro-Esbrí, and Á. Barragán-Cervera, "Experimental comparison of HFO-1234ze(E) and R-515B to replace HFC-134a in heat pump water heaters and moderately high temperature heat pumps," *Appl Therm Eng*, vol. 196, pp. 117256–117266, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117256.
- [6] C. Mateu-Royo, A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, and Á. Barragán-Cervera, "Comparative analysis of HFO-1234ze(E) and R-515B as low GWP alternatives to HFC-134a in moderately high temperature heat pumps," *International Journal of Refrigeration*, vol. 124, pp. 197–206, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.12.023>.
- [7] S. Kumar, V. N. Raibhole, and H. Majumder, "Performance of Heat Pump Air Conditioning with R1234ze (HFO) as a Refrigerant," *Journal of Optimization*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/9101945.
- [8] F. Akhtar and M. Sultan, "Thermodynamic investigation of R744 and R134a based refrigeration cycle," in *2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, IEEE, 2020. doi: iCoMET48670.2020.9074121.
- [9] R. Llopis, D. Sánchez, and R. Cabello, "Refrigerants for Vapor Compression Refrigeration Systems," in *Advances in New Heat Transfer Fluids*, 1st ed., CRC Press, 2017, pp. 463–522.
- [10] K. Sumardi, D. Naufal, M. Farhan Maulana, and E. T. Berman, "Feasibility of R1270 as an Alternative Refrigerant to Replace R134a in Refrigerator," in *Proceedings of the 6th UPI International Conference on TVET 2020 (TVET 2020)*, Atlantis Press, 2020.
- [11] C. H. de Paula, W. M. Duarte, T. T. M. Rocha, R. N. de Oliveira, and A. A. T. Maia, "Optimal design and environmental, energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system using R290, R1234yf, and R744 as alternatives to replace R134a," *International Journal of Refrigeration*, vol. 113, pp. 10–20, May 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.01.012.
- [12] T. A. Moreira, Z. H. Ayub, and G. Ribatski, "Convective condensation of R600a, R290, R1270 and their zeotropic binary mixtures in horizontal tubes," *International Journal of Refrigeration*, vol. 130, pp. 27–43, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2021.06.031.
- [13] K. Sumeru, M. Arman, I. Wellid, L. Martin Simbolon, A. Setyawan, and M. Firdaus bin Sukri, "Investigation Of Automotive Air Conditioning Using Eco-Friendly R600a As An Alternative Refrigerant To R134a," *Disseminating Information on the Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin*, vol. 22, no. 1, pp. 2024–2026, 2024, [Online]. Available: <http://ejurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- [14] J. K. Vaghela, "Comparative Evaluation of an Automobile Air - Conditioning System Using R134a and Its Alternative Refrigerants," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Mar. 2017, pp. 153–160. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.083.
- [15] D. Sánchez, A. Andreu-Nácher, D. Calleja-Anta, R. Llopis, and R. Cabello, "Energy impact evaluation of different low-GWP alternatives to replace R134a in a beverage cooler. Experimental

- analysis and optimization for the pure refrigerants R152a, R1234yf, R290, R1270, R600a and R744," *Energy Convers Manag*, vol. 256, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115388.
- [16] T. O. Babarinde, S. A. Akinlabi, D. M. Madyira, O. S. Ohunakin, D. S. Adelekan, and S. O. Oyedepo, "Comparative Analysis of The Exergetic Performance of A Household Refrigerator Using R134a And R600a," *International Journal of Energy for a Clean Environment*, vol. 19, pp. 37–48, 2018.
 - [17] S. S. Hastak and J. M. Kshirsagar, "Comparative performance analysis of R600a and R436a as an alternative of R134a refrigerant in a domestic refrigerator," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/377/1/012047.
 - [18] S. A. Kadhim, "Thermodynamic and Environmental Analysis of Hydrocarbon Refrigerants as Alternatives to R134a in Domestic Refrigerator," *International Journal of Thermodynamics*, vol. 27, no. 2, pp. 10–18, Jun. 2024, doi: 10.5541/ijot.1368985.
 - [19] D. M. Madyira, T. O. Babarinde, and P. M. Mashinini, "Performance improvement of R600a with graphene nanolubricant in a domestic refrigerator as a potential substitute for R134a," *Fuel Communications*, vol. 10, p. 100034, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jfueco.2021.100034.
 - [20] T. O. Babarinde, S. A. Akinlabi, and D. M. Madyira, "Energy performance evaluation of R600a/MWCNT-nanolubricant as a drop-in replacement for R134a in household refrigerator system," in *Energy Reports*, Elsevier Ltd, Feb. 2020, pp. 639–647. doi: 10.1016/j.egyr.2019.11.132.