

Komparasi Kinerja AC Kendaraan dengan Menggunakan Refrigeran R-134a, dan R-290

Dimas Bayu Hindratmo¹, Bagiyo Condro Purnomo^{2*}, Akbar Satrio Wicaksono¹, Ilham Habibi²

¹ Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

² Laboratorium Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

*Corresponden author: bagiyo_condro@ummgl.ac.id

<https://doi.org/10.31603/benr.8898>

Abstract

The development of vapor compression refrigeration systems currently depends on the issue of environmental problems related to ozone layer depletion (ODP) and global warming potential (GWP). In addition to environmental issues, low energy use is also in the spotlight of researchers. To solve the problem of refrigeration development, natural refrigeration, especially hydrocarbons, is the focus of attention. Hydrocarbons are refrigerants that have excellent properties to be natural refrigerants. This study aims to compare the performance of refrigerant R-134a with R-290. The research used a standard vapor compression refrigeration system with a TEV-type expansion valve. The system performance is seen through compression, refrigeration effect, and COP with variations in compressor rotational speed of 1000 rpm, 1500 rpm, and 2000 rpm. The results showed that the compression work, refrigeration effect, and coefficient of performance (COP) of R-290 had a more excellent value. R-290 produces the highest compression work at a 2000 rpm compressor speed of 33.34 kJ/kg for the refrigeration effect at 1000 rpm of 353.33 kJ/kg and COP at 1500 rpm 12.32.

Keywords: Refrigeration System; Hydrocarbons; Coefficient of Performance .

Abstrak

Perkembangan sistem refrigerasi kompresi uap pada saat ini tergantung dari isu permasalahan lingkungan terkait dengan penipisan lapisan ozon (ODP) dan potensi pemanasan global (GWP). Selain masalah lingkungan penggunaan energi yang rendah juga menjadi sorotan para peneliti. Untuk memenuhi dua isu pengembangan sistem refrigerasi tersebut, dewasa ini penggunaan refrigeran alami menjadi prioritasnya terutama hidrokarbon. Hidrokarbon merupakan refrigeran yang mempunyai sifat-sifat yang sangat baik menjadi refrigeran alami. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja refrigeran R-134a dengan R-290. Penelitian dilakukan menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap standar dengan katup ekspansi jenis *Thermal Exspansion Valve* (TEV). Kinerja sistem dilihat melalui kerja kompresi, efek refrigerasi dan COP dengan variasi kecepatan putar kompresor 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerja kompresi, efek refrigerasi dan *Coefficient of Performance* (COP) R-290 memiliki nilai yang lebih besar. Kerja kompresi tertinggi dihasilkan R-290 pada putaran kompresor 2000 rpm sebesar 33,34 kJ/kg, untuk efek refrigerasi pada 1000 rpm sebesar 353,33 kJ/kg dan COP pada 1500 rpm sebesar 12,32.

Kata Kunci: Sistem Refrigerasi; Hidrokarbon; Unjuk Kerja.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

1. Pendahuluan

Penggunaan mesin pengkondisian udara atau *Air Conditioner* (AC) semakin luas, tidak hanya digunakan untuk dunia industri makanan, transportasi, kesehatan maupun rumah tangga, akan tetapi sudah merambah untuk keamanan dan kenyamanan manusia (Saksono & Gunawan, 2019;Purnomo & Setiyo, 2017;Qian *et al.*, 2017;Kumbhar *et al.*, 2023). Sistem refrigerasi yang umum digunakan adalah sistem refrigerasi kompresi uap yang memiliki performa lebih baik dari sistem refrigerasi yang lain. Sementara itu sistem AC mobil sebagian besar menggunakan sistem tersebut, dimana komponen utamanya adalah kompresor yang memerlukan energi besar untuk mengoperasikannya. Karena alasan ini, menjadi sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi dan merancang produk yang hemat energi.

Selain penggunaan peralatan yang lebih efisien, ada banyak pembatasan pada sistem pendingin yang terkait dengan pengurangan pemanasan global dan penurunan lapisan ozon, dimana masalah ini menjadi yang sedang dihadapi dunia (Dalkilic & Wongwises, 2010;Martinho *et al.*, 2022;Cai *et al.*, 2022). Sementara itu, sektor pendingin menyumbang 7,8% dari emisi gas rumah kaca global (Ozzipahi *et al.*, 2022). Salah satu tantangan terbesar dalam sistem refrigerasi adalah menemukan refrigeran GWP rendah untuk menggantikan HFC dalam sistem refrigerasi.

Dengan demikian perkembangan teknologi *Air Conditioning* (AC) dituntut memiliki efisiensi tinggi serta mengadopsi refrigeran yang ramah lingkungan, sehingga telah banyak studi penelitian dilakukan untuk mengeksplorasi refrigeran GWP, ODP rendah dengan sifat termodinamika yang baik, seperti tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan bahan kimia yang mempunyai stabilitas baik (Bell *et al.*, 2019;McLinden *et al.*, 2014;Bolaji, 2020). Akan tetapi, tidak ada suatu refrigeran yang memenuhi semua kriteria yang disyaratkan dalam pemilihan refrigeran yang ideal. Dalam studi ini, refrigeran alami dilihat mempunyai potensi GWP yang rendah dan sifat termodinamika yang baik. Meskipun diklasifikasikan sebagai sangat mudah terbakar, hidrokarbon (HC) dianggap sebagai kandidat yang memungkinkan untuk menggantikan HFC yang digunakan dalam aplikasi pendinginan kapasitas rendah. Dalam hal ini, R290 dan R600a telah dipelajari secara intensif oleh banyak peneliti untuk berbagai aplikasi.

Banyak penelitian teoritis dan eksperimental telah dilakukan untuk potensi penggunaan R600a dan R290 dalam lemari es rumah tangga dalam beberapa tahun terakhir. Evaluasi termodinamika campuran R290/R600a dalam sistem pendingin rumah tangga diselidiki secara teoritis, penelitian ini menyebutkan bahwa sistem yang menggunakan campuran HC meningkatkan COP sekitar 5% dibandingkan dengan R134a (Almeida *et al.*, 2010). Selain siklus pendinginan kompresi uap konvensional, siklus pendinginan kompresi uap alternatif diselidiki secara teoritis, studi tentang siklus pendinginan kaskade yang beroperasi dengan campuran zeotropik R290 / R600a untuk lemari es *freezer* domestik. Penelitian tersebut menyimpulkan siklus yang diusulkan dengan R290 / R600a memiliki 7.8-13.3% peningkatan COP, 10.2-17.1% peningkatan kapasitas pendinginan volumetrik, dan 7.4-12.3% penurunan rasio tekanan kompresor dibandingkan dengan siklus kompresi uap konvensional dalam kondisi operasi yang sama (Yan *et al.*, 2015). Chen *et al.* (2017) mengusulkan siklus pendinginan kompresi uap yang dimodifikasi dari sistem freezer dengan R290 / R600 untuk meningkatkan kinerja siklus. Soni *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa R1234ze

dan R600a adalah refrigeran yang lebih baik dalam konteks COP dan daya yang dikonsumsi dibandingkan dengan R134a.

Sebagai alternatif refrigeran, hidrokarbon mempunyai kerugian yaitu kemampuan mudah terbakar cukup tinggi. Banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi kemudah-terbakarnya hidrokarbon dengan menggunakan R134a yang ditambahkan ke R290 dan R600a (Cai *et al.*, 2022). Hal serupa dengan mencampur Musicool dengan karbondioksida kemudian dicari kinerja sistem (Purnomo, 2015). Jones *et al.* (2022) mengusulkan penggunaan R290 pada kapasitas yang terbatas, hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan maksimum yang dicapai adalah sekitar 3 kW dengan muatan refrigeran R-290 kurang dari 100 g.

Saat ini penggunaan refrigeran hidrokarbon masih terbatas, dikarenakan keawatiran masyarakat akan potensi terjadi kebakaran. Namun demikian dalam artikel ini akan diperlihatkan perbandingan kinerja sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan 3 buah refrigeran yaitu R134a, dan R290. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan kinerja masing-masing refrigeran dengan kondisi kecepatan putar kompresor, menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap standar dan dengan katup ekspansi jenis TEV .

2. Metode

Bagian ini menjelaskan fasilitas eksperimental, set up penelitian dan prosedur pengujian. Kumpulan data eksperimental diberikan dalam subbagian berikut ini.

2.1. Alat dan bahan penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini tersaji dalam [Tabel 1](#).

[Tabel 1](#). Alat dan bahan penelitian.

NO	NAMA ALAT	JUMLAH
1	Stand AC standar (sistem kompresi uap)	1
2	Temperatur sensor: PT-100 3 wire	2
3	Channel basic module :TWM4-N2RB	2
4	Pompa vakum	1
5	Timbangan	1
6	<i>Manifold gauge</i>	1
7	<i>Pressure gauge</i>	4
8	<i>Tachometer</i>	1
9	Refrigrant R134a, R290	2

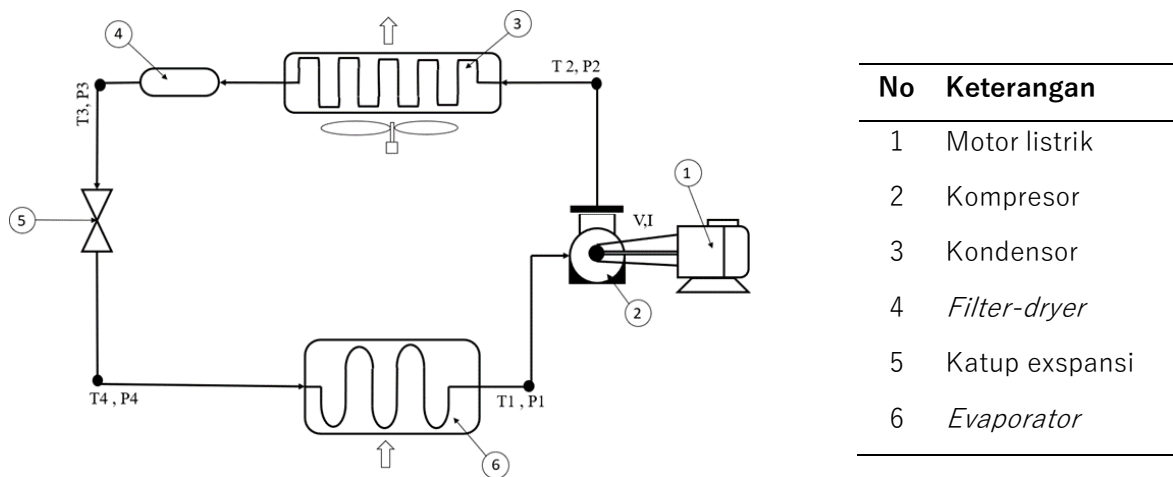
2.2. Prosedur Penelitian

Lingkup penelitian ini mencakup variasi kecepatan putar kompresor, beban pendinginan dan jenis refrigeran. Kecepatan putar kompresor diseting pada 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm,

sedangkan untuk refrigeran yang digunakan adalah R134a, dan R290. Pengambilan data berupa temperatur dan tekanan seperti pada set-up penelitian pada masing-masing variabel yaitu kecepatan putar kompresor, dan jenis refrigerannya. Data hasil pengujian kemudian diplotingkan ke diagram P-h masing-masing refrigeran untuk mendapatkan nilai entalpi. Nilai entalpi pada masing-masing titik seperti pada set-up penelitian digunakan untuk mendapatkan besarnya kerja kompresor, efek refrigerasi dan COP sistem AC kendaraan. Sedangkan untuk proses pengisian refrigeran dilakukan berdasarkan tekanan kerja dari R-134a yaitu 200 psi untuk tekanan tinggi dan 30 psi untuk tekanan rendah, kemudian diukur massa refrigeran yang dimasukkan.

2.3. Set Up Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan refrigeran R134a, dan R290 dengan beberapa variabel yaitu kecepatan putar kompresor, beban pendinginan. Sedangkan set up penelitian dapat di lihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Set up penelitian.

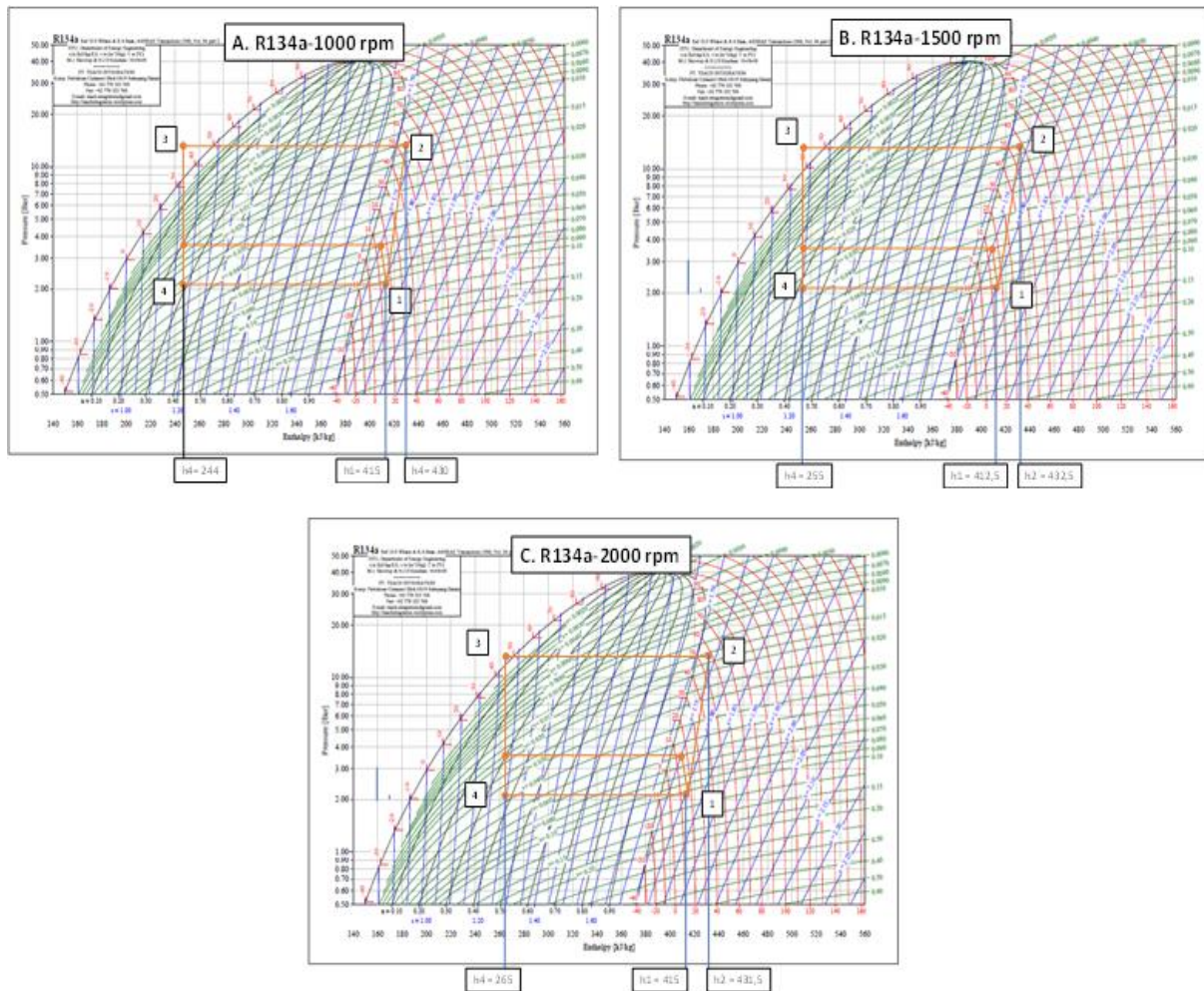
3. Hasil dan pembahasan

Bab ini menganalisa kinerja sistem refrigerasi kompresi uap dengan dua jenis refrigeran R134a, dan R290 pada variabel kecepatan putar kompresor. [Tabel 2](#) menunjukkan data hasil penelitian. Sementara itu besarnya massa yang dimasukkan ke sistem refrigerasi untuk R-134a sebesar 54 gram sedangkan R-290 sebesar 36 gram.

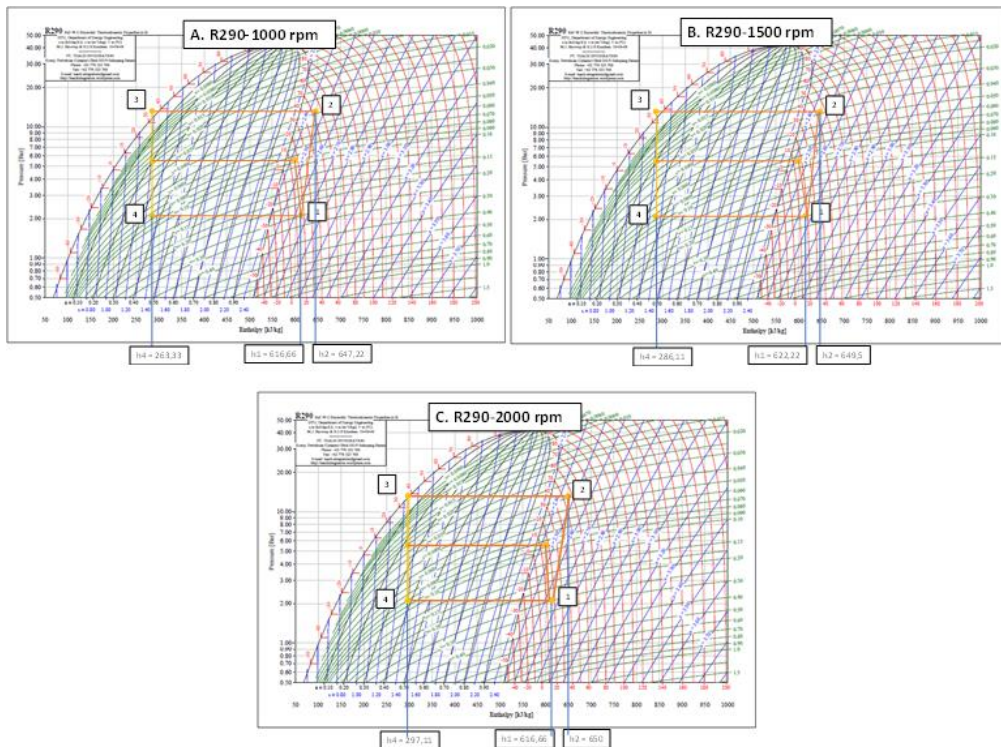
Tabel 2. Data hasil penelitian.

NO	Refrigeran	Kec. Putar komp (rpm)	Temperatur Refrigeran (°C)				P-Out komp (Bar)	P-In komp (Bar)
			T1	T2	T3	T4		
1	R 134a	1000	15	55	34	7	2,1	14
		1500	14	58	38	7	2,1	14
		2000	16	57	46	7	2,1	14
2	R 290	1000	17	53	34	5	2,1	14
		1500	18	54	36	6	2,1	14
		2000	17	55	37	5	2,1	14

Kinerja sistem refrigerasi kompresi uap dapat diekspresikan dalam tiga besaran yaitu kerja kompresi, efek refrigerasi dan *Coefficient of Performance* (COP). Gambar 2 dan Gambar 3 merupakan hasil plotting data penelitian ke P-h diagram untuk R134a dan R290. Dari gambar tersebut dapat dicari besarnya entalpi masing-masing titik keadaan seperti pada set-up penelitian, rekaman nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 2. Plotting data penelitian ke diagram P-h R-134a (kecepatan putar kompresor A 1000 rpm, B 1500 rpm dan C 2000 rpm).



Gambar 3. Ploting data penelitian ke diagram P-h R-290 (kecepatan putar kompresor A 1000 rpm, B 1500 rpm dan C 2000 rpm).

Kerja kompresi adalah banyaknya energi yang diperlukan untuk mengkompresikan setiap satuan massa refrigeran. Besar kerja kompresi adalah:

$$W_k = h_2 - h_1 \left(\frac{kJ}{kg} \right), \tag{1}$$

Dimana W_k = Kerja kompresi

h_1 = Enthalpi pada titik masuk kompresor

h_2 = Enthalpi pada titik keluar kompresor

Untuk menghitung besarnya efek refrigerasi (ER) dan COP berturut-turut dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 dibawah ini.

$$ER = h_1 - h_4 \left(\frac{kJ}{kg} \right), \tag{2}$$

Dimana ER = Efek Refrigerasi

h_4 = Entalpi pada titik masuk *evaporator*

$$COP = \frac{ER}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}, \tag{3}$$

Dimana COP = *Coefficient of Performance*

Tabel 3. Unjuk Kerja Sistem Refeigerasi dengan R134a.

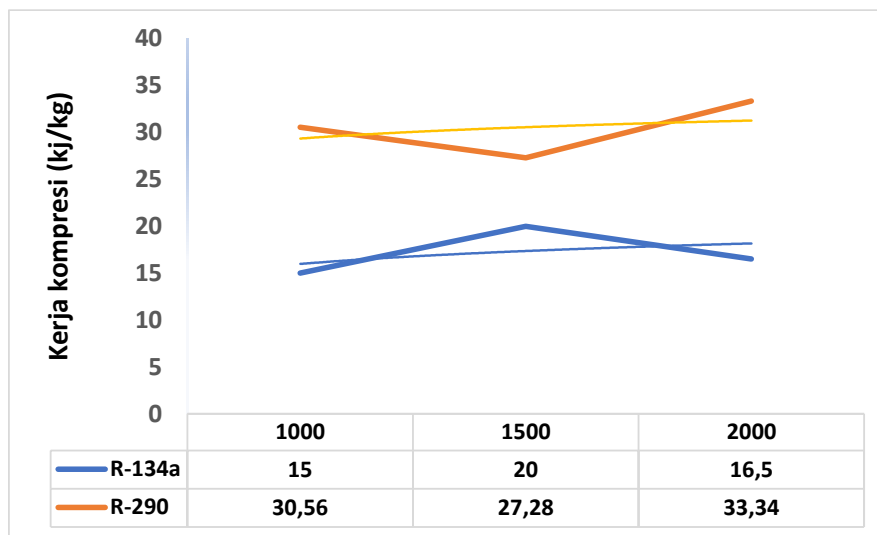
Kec. Put. Komp	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)	W_k (kJ/kg)	ER (kJ/kg)	COP
1000 rpm	415	430	244	15	171	11,40
1500 rpm	412,5	432,5	255	20	157,5	7,88
2000 rpm	415	431,5	265	16,5	150	9,09

Tabel 4. Unjuk Kerja Sistem Refeigerasi dengan R290.

Kec. Put. Komp	h_1 (kj/kg)	h_2 (kj/kg)	h_4 (kj/kg)	W_k (kj/kg)	ER (kj/kg)	COP
1000 rpm	616,66	647,22	263,33	30,56	353,33	11,56
1500 rpm	622,22	649,5	286,11	27,28	336,11	12,32
2000 rpm	616,66	650	297,11	33,34	319,55	9,58

3.1. Kerja Kompresi

Gambar 4 menunjukkan kinerja kompresi pada sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran R-134a dan R-290.

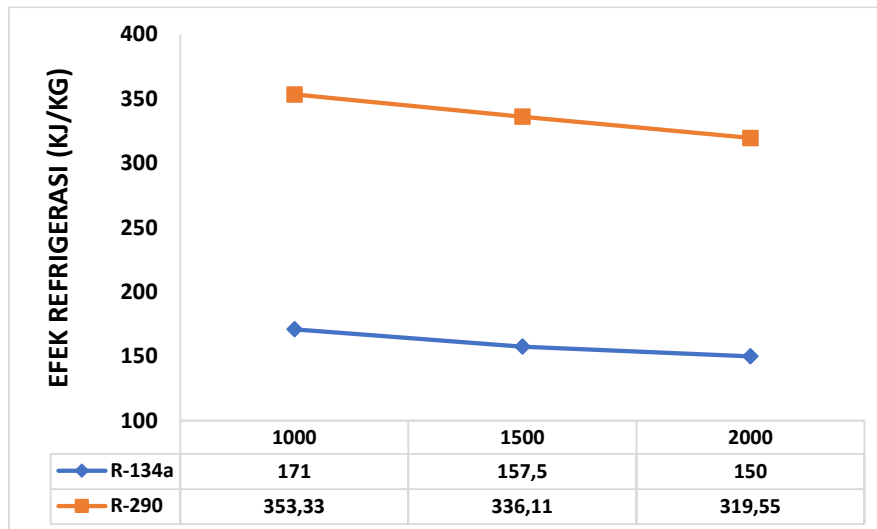


Gambar 4. Komparasi nilai kerja kompresi untuk R-134a dan R-290.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa kerja kompresi R-290 memiliki nilai yang lebih besar dari kerja kompresi untuk R-134a. Hal tersebut dimungkinkan karena masing-masing refrigeran memiliki operasi yang berbeda. R-134a beroperasi pada rasio kompresi yang lebih tinggi dibandingkan dengan R-290 sehingga proses pengisian refrigeran tidak didasarkan tekanan kerja R-134a (Concerns, 1999). Selain itu, nilai densitas R-134a lebih dari dua kali densitas R-290, sehingga dengan pengisian 36 gram jauh lebih besar dengan yang seharusnya jika dibandingkan R-134a yang hanya 54 gram, dengan demikian beban kompresor akan lebih berat (Poggi *et al.*, 2008). Gambar 4 juga memberi petunjuk bahwa peningkatan kecepatan putar kompresor memberi arti bahwa kecepatan aliran refrigeran akan meningkat sehingga terjadi beban kompresor yang lebih besar, hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh (Huang *et al.*, 2022).

3.2. Efek Refrigerasi

Gambar 5 menunjukkan efek refrigerasi pada sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran R-134a dan R-290.

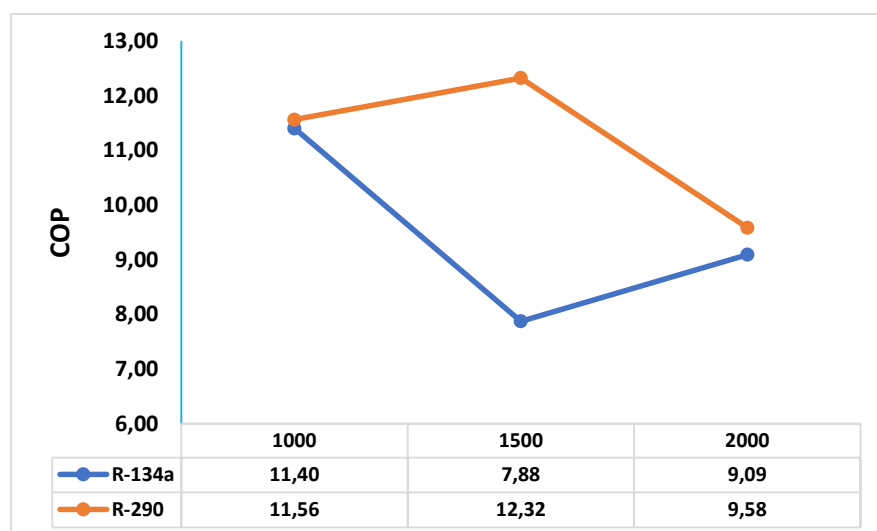


Gambar 5. Komparasi nilai efek refrigerasi untuk R-134a dan R-290.

Dari Gambar 3.4 tersebut menunjukkan bahwa nilai efek refrigerasi untuk R290 memiliki nilai yang lebih besar dari R-134a. Melihat karakteristik nilai kalor laten, dan koefisien perpindahan panas yang besar untuk R-290 memang sangat berpengaruh terhadap penyerapan energi. Hal lain yang dapat meningkatkan efek refrigerasi adalah temperatur kondensasi, dari Tabel 3.1 memperlihatkan bahwa temperatur kondensasi untuk R-290 secara umum memiliki nilai yang lebih rendah dibanding R-134a. Temperatur kondensasi yang rendah memberikan proses pertukaran energi dari refrigeran ke lingkungan lebih banyak yang membuat efek refrigerasi lebih besar. Sementara itu, efek refrigerasi akan cenderung mengecil terhadap peningkatan kecepatan putar kompresor, hal ini dikarenakan aliran refrigeran di evaporator juga meningkat, sehingga waktu yang dibutuhkan perpindahan energi dari refrigeran ke lingkungan akan semakin pendek.

3.3. Coefficient Of Performance (COP).

Gambar 6 menunjukkan *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran R-134a dan R-290.



Gambar 6. Komparasi nilai COP untuk R-134a dan R-290.

Koefisien prestasi (COP) adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigerasi, semakin besar COP menunjukkan bahwa kerja mesin tersebut semakin baik. COP merupakan perbandingan dari efek refrigerasi dengan kerja kompresi. Gambar 3.5 memperlihatkan performa R-290 lebih baik dari pada R-134a untuk semua kecepatan putar kompresor. COP sangat tergantung dari variabel kerja kompresi maupun efek refrigerasi. Temperatur masuk kompresor (T_1) juga memberikan pengaruh terhadap besarnya COP, yaitu semakin besar (T_1) akan meningkatkan COP. Tabel 3.1 terlihat bahwa temperatur (T_1) untuk R-290 memiliki nilai yang sedikit lebih besar dari R-134a untuk semua kecepatan putar kompresor.

4. Kesimpulan

Makalah ini menyajikan investigasi perbandingan kinerja sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan R-134a dan R-290, pada kondisi variasi kecepatan putar kompresor. Kinerja yang dicari adalah kerja kompresi, efek refrigerasi dan *Coefficient of Performance* (COP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerja kompresi, efek refrigerasi dan *Coefficient of Performance* (COP) R-290 memiliki nilai yang lebih besar. Kerja kompresi tertinggi dihasilkan R-290 pada putaran kompresor 2000 rpm sebesar 33,34 kJ/kg, untuk efek refrigerasi pada 1000 rpm sebesar 353,33 kJ/kg dan COP pada 1500 rpm sebesar 12,32. Dengan demikian penggunaan refrigeran R-290 sangat dianjurkan, akan tetapi perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui kinerja secara menyeluruh dengan kondisi berbagai jumlah massa refrigeran yang dimasukkan, serta variasi temperatur penguapan dan temperatur kondensasi.

5. Ucapan Terima Kasih

Para penulis berterima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik, Kaprodi Mesin Otomotif, Kalab. Mesin Otomotif yang sudah memberikan bantuan dan suportnya berupa penggunaan laboratorium sehingga penelitian ini berlangsung dengan baik.

Referensi

- Almeida, I. M. G., Barbosa, C. R. F., & Fontes, F. A. O. (2010). Thermodynamic and Thermophysical Assessment of Hydrocarbons Application in Household Refrigerator. *Revista de Engenharia Térmica*, 9(1–2), 19. <https://doi.org/10.5380/reterm.v9i1-2.61926>.
- Bell, I. H., Domanski, P. A., McLinden, M. O., & Linteris, G. T. (2019). The hunt for nonflammable refrigerant blends to replace R-134a. *International Journal of Refrigeration*, 104, 484–495. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.035>.
- Bolaji, B. O. (2020). Theoretical assessment of new low global warming potential refrigerant mixtures as eco-friendly alternatives in domestic refrigeration systems. *Scientific African*, 10, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00632>.

- Cai, D., Hao, Z., Xu, H., & He, G. (2022). Research on flammability of R290/R134a, R600a/R134a and R600a/R290 refrigerant mixtures. *International Journal of Refrigeration*, 137(February), 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.02.015>.
- Chen, Q., Yan, G., & Yu, J. (2017). Performance analysis of an ejector enhanced refrigeration cycle with R290/R600a for application in domestic refrigerator/freezers. *Applied Thermal Engineering*, 120, 581–592. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.027>.
- Concerns, C. (1999). *Safe Conversion and Servicing Practices for Refrigeration Appliances using Hydrocarbon Refrigerants*. ECOFRIG.
- Dalkilic, A. S., & Wongwises, S. (2010). A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(9), 1340–1349. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.006>.
- Huang, Y., Wu, X., & Jing, J. (2022). Research on the electric vehicle heat pump air conditioning system based on R290 refrigerant. *Energy Reports*, 8, 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.-05.112>.
- Jones, A., Wolf, A., & Kwark, S. M. (2022). Refrigeration system development with limited charge of flammable Refrigerant, R-290. *Thermal Science and Engineering Progress*, 34(July), 101392. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101392>.
- Kumbhar, S. V., Husainy, A., Jadhav, M. A., & Bardiya, S. G. (2023). Experimental investigations of vapour compression refrigeration system using electrohydrodynamic (E.H.D.) effect. *Materials Today: Proceedings*, 72, 1877–1881. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.048>.
- Martinho, G., Castro, P. J., Santos, P., Alves, A., Araújo, J. M. M., & Pereiro, A. B. (2022). Environmental behaviours and risk perception of domestic consumers: Refrigeration equipment case study. *Cleaner Production Letters*, 3(November), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2022.100024>.
- McLinden, M. O., Kazakov, A. F., Steven Brown, J., & Domanski, P. A. (2014). A thermodynamic analysis of refrigerants: Possibilities and tradeoffs for Low-GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 38(1), 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.032>.
- Ozspahi, M., Kose, H. A., Kerpici, H., & Gunes, H. (2022). Experimental study of R290 / R600a mixtures in vapor compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 133(October 2021), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.10.004>.
- Poggi, F., Macchi-Tejeda, H., Leducq, D., & Bontemps, A. (2008). Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. *International Journal of Refrigeration*, 31(3), 353–370. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.05.014>.
- Purnomo, B. C. (2015). *Analisa Performa Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Refrigeran Campuran Muscool Dan Co2 Aplikasi Ac Mobil* [Universitas Gadjah Mada Yogyakarta]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/80762>.
- Purnomo, B. C., & Setiyo, M. (2017). Karakteristik Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Refrigerant Campuran Muscool 134 - Co₂. *Jurnal Teknologi*, 9(2), 57. <https://doi.org/10.24853/jurtek.9.2.57-64>.

- Qian, Y., Sun, S., Ju, D., Shan, X., & Lu, X. (2017). Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(October 2015), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.rser.-2016.11.059>.
- Saksono, P., & Gunawan. (2019). Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon (HCR) Sebagai Refrigeran Alternatif. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, 321–326.
- Soni, S., Mishra, P., Maheshwari, G., & S.Verma, D. (2022). Comparative energy analysis of R1234yf, R1234ze, R717 and R600a in Vapour Compression Refrigeration system as replacement of R134a. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1600–1603. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.-03.206>.
- Yan, G., Cui, C., & Yu, J. (2015). Energy and exergy analysis of zeotropic mixture R290/R600a vapor-compression refrigeration cycle with separation condensation. *International Journal of Refrigeration*, 53, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.01.007>.
-