

KOMPARASI KINERJA REFRIGERATOR DENGAN REFRIGERAN HIDROKARBON HCR134a ALTERNATIF PENGGANTI R134a PADA PANJANG PIPA KAPILER 1,25 m

Azridjal Aziz¹, Izzuddin Ali Raja Siregar¹, Rahmat Iman Mainil¹, Afdhal Kurniawan Mainil²

¹Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpangbaru, Pekanbaru 28293

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu,
Jl. WR. Supratman Kel. Kandang Limun, Kota Bengkulu, 38371, Indonesia

E-mail: azridjal.aziz@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan uji komparasi mesin pendingin siklus kompresi uap dengan fluida kerja HCR134a (refrigeran hidrokarbon pengganti R134a) dan fluida kerja R134a yang beroperasi pada panjang pipa kapiler 1,25m dengan pendinginan udara. Analisis dilakukan terhadap pengaruh tekanan dan temperatur, arus listrik, kerja kompresi, dan koefisien performansi (COP) alat uji. Hasil penelitian menunjukkan, penggunaan HCR134a meningkatkan COP sebesar 29.92% dengan penggunaan arus listrik lebih rendah 10.8% dibandingkan dengan R134a. Dari uji komparasi dapat disimpulkan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon (HCR134a) memberikan kinerja yang lebih baik dan lebih hemat energi dibanding refrigeran halokarbon (R134a).

Kata kunci: pipa kapiler, refrigerant hidrokarbon, COP, fluida kerja

Abstract

In this study, a comparative test of refrigeration system device that operated with vapor compression cycle had been carried out with HCR-134a as working fluid (R134a replacement hydrocarbon refrigerant) and R134a working fluid working at a capillary pipe length of 1.25m. The analysis was carried out on the influence of pressure and temperature, electric current, refrigeration consumption, compression work, and performance coefficient (COP). The results showed that the use of HCR-134a increased COP by 29.92% while the use of electric current was 10.8% lower than that of R-134a. From the comparison test it can be concluded that the use of hydrocarbon refrigerant (HCR-134a) provides better performance and was more energy efficient than halocarbon refrigerants (R134a).

Keywords : capillary pipe, hydrocarbon refrigerants, COP, working fluid

PENDAHULUAN

AC (Air Conditioning) dan lemari es rumah tangga merupakan peralatan rumah tangga yang mengkonsumsi energi utama dibanding peralatan rumah tangga lainnya (Olatunji et al., 2019). Penelitian untuk mengembangkan mesin refrigerasi yang ramah lingkungan dan hemat energi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Analisis kinerja mesin refrigerasi kompresi uap penggunaan domestik yang menggunakan refrigeran hidrokarbon sebagai refrigeran alternatif

yang ramah lingkungan berkontribusi pada penghematan energi dilakukan oleh Thavamani & Senthil, 2020.

Zhang et al., 2019 melakukan evaluasi kinerja penggunaan campuran refrigeran R134a dengan refrigeran hidrokarbon yang diaplikasikan pada pompa kalor kompresi uap. Review penggunaan refrigeran hidrokarbon sebagai refrigeran alternatif dengan pendekatan termodinamik dan lingkungan serta evaluasi penggunaannya telah dilakukan oleh Harby, 2017; Lakhorkar, 2017; Razzaq et al., 2019;

Reddy et al., 2016. Penggunaan refrigeran hidrokarbon sebagai alternatif pada kulkas rumah tangga diteliti oleh Harby et al., 2016; Kamel.S.Hmooda, H.Pop, V.Apostol, 2017; Kharat et al., 2018; Razzaq et al., 2019; Sethi et al., 2016. Efek temperatur lingkungan pada penggunaan refrigeran hidrokarbon (R600a dan LPG (Liquefied petroleum gas) pada lemari es domestik yang sebelumnya menggunakan R134a menunjukkan hasil yang baik dan cocok penggunaannya, serta tidak ada pengaruh negatif terhadap kinerja lemari es (Olatunji et al., 2019). Gill & Singh, 2017 melakukan analisis eksperimental campuran R134a/LPG sebagai pengganti R134a pada sistem refrigerasi kompresi uap.

Bolaji & Huan, 2012 melakukan analisis komparatif performansi refrigeran hidrokarbon pada sistem refrigerasi dengan sebuah penukar kalor subdingin. Komparasi kinerja sistem refrigerasi dengan R134a dan refrigeran hidrokarbon menggunakan katup ekspansi berbeda dilakukan oleh Aziz et al., 2017. Analisis kinerja sistem refrigerasi kompresi uap yang beroperasi dengan refrigeran campuran hidrokarbon pada *water chiller* memberikan kinerja yang lebih baik, penelitian ini telah dilakukan oleh Saibhargav et al., 2019. Investigasi kinerja refrigeran hidrokarbon sebagai alternatif pengganti R134a dilakukan oleh beberapa peneliti (Dhavale & Deshmukh, 2016; Peyyala & Sudheer, 2017; Powade, 2018; Shaik & Babu, 2017).

Investigasi eksperimental distribusi refrigeran dan kebocoran yang mungkin terjadi sesuai karakteristik refrigeran hidrokarbon R290, pada jenis AC tipe terpisah/*split* memberikan hasil untuk mengurangi laju kebocoran yang terjadi dan meningkatkan faktor keamanan penggunaannya pada AC split telah dilaporkan oleh Tang et al., 2017. Analisis energi dan eksergi sebuah kulkas rumah tangga menggunakan refrigeran campuran hidrokarbon pada lingkungan tropis dengan penekanan pada pengaruh massa refrigeran (*refrigerant charge*) dan *capillary length* (panjang pipa kapiler) diteliti oleh Fatouh & Abou-Ziyan, 2018. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan karakteristik dibanding refrigeran R134a, COP lebih tinggi 14%, efisiensi eksergi naik 3,43% dan kapasitas pendinginan meningkat 20%.

El Sayed 2018 telah melakukan *review* tentang potensi penggantian HCFC/HFCs menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan. Penggunaan refrigeran hidrokarbon cukup memuaskan dan

cocok, karena memenuhi seluruh syarat sebagai refrigeran alternatif pengganti kecuali kekurangannya karena refrigeran hidrokarbon mudah terbakar (*highly flammable*). Evaluasi performansi energi pemakaian refrigeran R1234yf, R1234ze(E), refrigeran hidrokarbon (R600a, R290) dan R152a sebagai refrigeran alternatif terhadap R134a dengan GWP (*Global Warming Potential*) yang rendah.

Refrigeran R134a digunakan pada mesin refrigerasi domestik (kulkas, *showcase*, *freezer*) dan sistem kompresi uap lainnya (AC mobil, cold storage). R134a memiliki potensi penipisan ozon nol (ODP) dan sifat termodinamika yang hampir baik, tetapi memiliki Potensi Pemanasan Global (GWP) yang tinggi sebesar 1300 (**Tabel 1**). GWP lebih tinggi karena emisi R134a dari lemari es domestik mengarah pada identifikasi alternatif jangka panjang agar persyaratan kinerja sistem terpenuhi. Oleh karena untuk pemakaian jangka penggunaan R134a akan segera dilarang demi keamanan lingkungan. Beberapa refrigeran baru telah diteliti dimana sifat refrigerannya ramah lingkungan yang memiliki GWP rendah dan ODP rendah. Refrigeran hidrokarbon khususnya propana, butana dan isobutena diusulkan sebagai refrigeran ramah lingkungan alternatif pengganti R134a. Setelah meninjau berbagai literatur tentang refrigeran hidrokarbon (R290 dan R600a) dan campurannya, refrigeran hidrokarbon memberikan kinerja yang baik dalam lemari es domestik berkapasitas kecil untuk menggantikan R134a (Reddy et al., 2016).

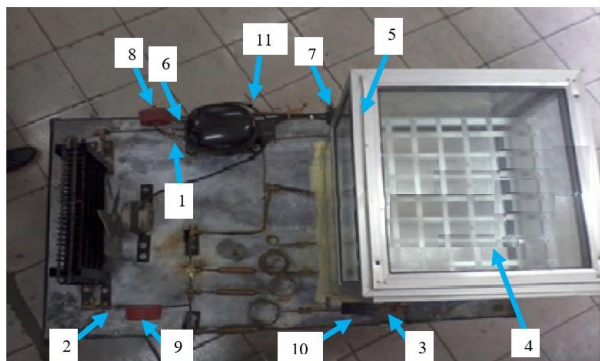
Tabel 1. Sifat-sifat Termodinamika Refrigeran R134a dan Refrigeran hidrokarbon (Zhang et al., 2019)

Property	R134a	R290	R600	R600a
Critical point (°C)	101	97	152	135
Critical pressure (kPa)	4059	4251	3796	3629
p_s at 0°C (kPa)	293	474	103	157
p_s at 40°C (kPa)	1017	1369	378	531
Latent heat at 0°C (kJ/kg)	199	375	385	354
Latent heat at 40°C (kJ/kg)	163	307	345	312
ODP	0	0	0	0
GWP ₁₀₀ ^{27,28}	1300	3	4	3
ASHRAE safety level ²⁹	A1	A3	A3	A3

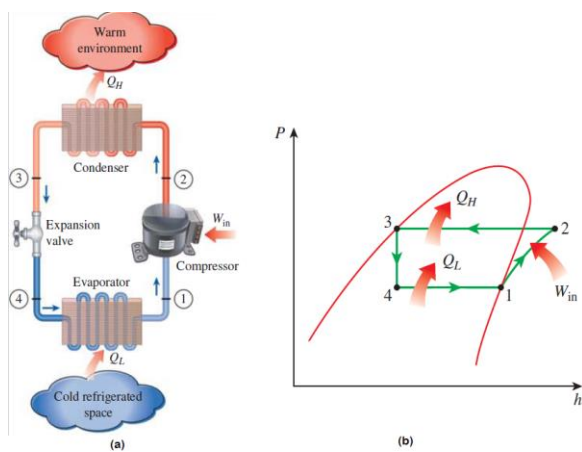
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan performansi mesin refrigerasi siklus kompresi uap menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR134a dengan menggunakan R134a. Mesin refrigerasi yang digunakan adalah alat uji refrigerator yang dioperasikan pada panjang pipa kapiler 1,25 m.

BAHAN DAN METODE

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini dikembangkan dari refrigerator/kulkas dengan fluida kerja R134a dan dapat disubsitusi/diganti langsung dengan refrigeran hidrokarbon pengganti R134a. Spesifikasi alat uji yang digunakan adalah: kompresor LG dengan daya maksimal 120 Watt, massa refrigeran R134a: 96 gram (HCR134a 40%: 38 gram), voltase: 220-240 V dan frekuensi: 50 Hz. Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Mesin uji refrigerasi kompresi uap tipe refrigerator fluida kerja R134a/HCR134a dengan titik pengambilan data temperatur (A. Aziz et al., 2017)



Gambar 2. Skematik diagram mesin refrigerasi (a) dan diagram tekanan-entalpi /P-h diagram (b) (Çengel et al., 2019)

Data-data yang didapat dari hasil pengujian berupa data tekanan, temperatur, dan arus listrik. Titik data temperatur dan tekanan yang diambil adalah: temperatur keluar kompresor (1), temperatur keluar kondensor (2), temperatur masuk evaporator (3), temperatur *box* (4), temperatur keluar evaporator (5), temperatur masuk kompresor (6), tekanan keluar evaporator (7), tekanan masuk kondensor

(8), tekanan keluar kondensor (9), tekanan masuk evaporator (10). Data diambil selama 120 menit setiap 5 menit dengan cara merekam data secara bersamaan, sehingga data yang diperoleh adalah data pada waktu yang sama.

Komponen utama mesin refrigerasi adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Skematik diagram mesin refrigerasi ditunjukkan pada **Gambar 2**. Secara umum ada dua jenis katup ekspansi yang digunakan yaitu jenis pipa kapiler dan jenis termostatik (*thermostatic expansion valve/TEV*). Katup ekspansi yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis pipa kapiler panjang 1,5 m. Kalor yang diserap di evaporator q_e (kJ/kg), Kerja kompresi w_k (kJ/kg) yang dilakukan kompresor dan kinerja mesin refrigerasi COP (*Coefficient of Performance*) berturut-turut menggunakan pers. 1, pers. 2 dan pers. 3.

$$q_e = \frac{Q_e}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \quad (1)$$

$$w_k = \frac{W_k}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \quad (2)$$

$$COP = \frac{q_e}{w_k} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

Penggunaan pipa kapiler pada mesin pendingin akan mempermudah pada waktu *start*, karena dengan mempergunakan pipa kapiler pada saat sistem tidak bekerja tekanan pada kondensor dan evaporator selalu sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

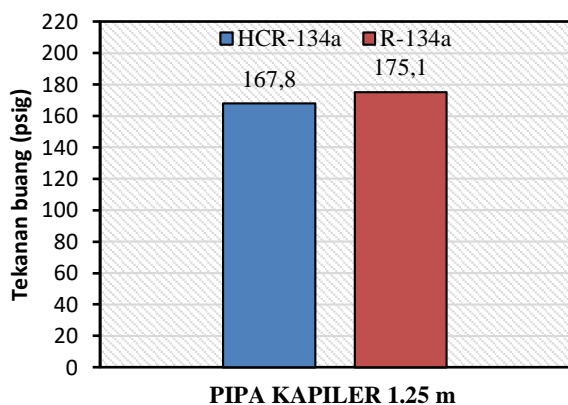
Tekanan Isap dan Tekanan Buang Kompesor

Mesin refrigerasi kompresi uap adalah mesin refrigerasi yang beroperasi pada dua sisi tekanan yaitu sisi tekanan evaporator/tekanan rendah/tekanan isap dan sisi tekanan kondensor/tekanan tinggi/tekanan buang. Tekanan isap adalah tekanan refrigeran yang berada antara sisi keluar katup ekspansi dan sisi masuk kompresor, tekanan ini merupakan tekanan evaporator. Sedangkan tekanan buang adalah tekanan refrigeran yang berada antara sisi keluar kompresor dan sampai sisi masuk katup ekspansi, tekanan ini merupakan tekanan kondensor.

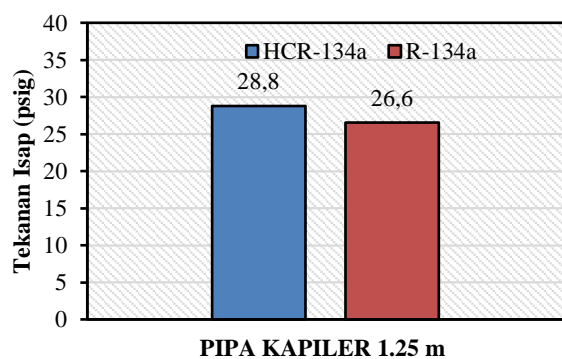
Tekanan buang rata-rata refrigeran hidrokarbon HCR134a dibanding refrigerant R134a dengan

panjang pipa kapiler 1,25 m ditunjukkan di **Gambar 3**. Sedangkan tekanan isap rata-rata refrigeran hidrokarbon HCR134a dibanding refrigerant R134a dengan panjang pipa kapiler 1,25 m ditunjukkan di **Gambar 4**.

Tekanan buang mesin refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR134a cenderung lebih rendah dari tekanan buang R134a (**Gambar 3**). Hal ini terjadi karena jumlah massa refrigerant hidrokarbon HCR134a yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi kompresi uap lebih sedikit dibanding massa refrigerant R134a. Pada tekanan isap, tekanan HCR134a cenderung sedikit berbeda dengan tekanan R134a (**Gambar 4**) walaupun terjadi perbedaan namun perbedaannya tidak terlalu berarti. Secara umum tekanan mesin refrigerasi menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR134a lebih rendah dibanding tekanan mesin refrigerasi menggunakan R134a.



Gambar 3. Tekanan buang rata-rata

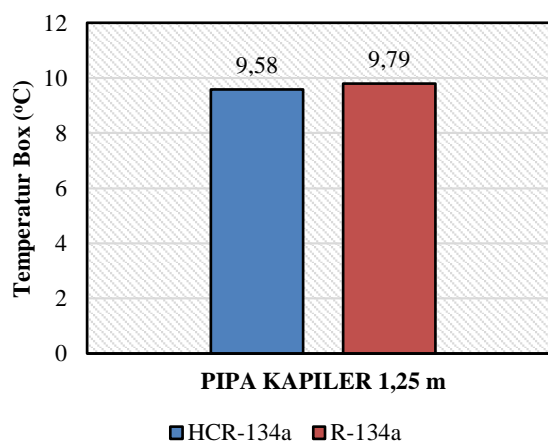


Gambar 4. Tekanan isap rata-rata

Temperatur Box

Dari grafik rata-rata temperatur **Gambar 5** dapat dilihat temperatur *box* dengan menggunakan refrigeran HCR134a menghasilkan temperatur sedikit lebih rendah dibanding dengan refrigeran R134a pada pipa kapiler 1,25m. Hal ini dikarenakan temperatur evaporator *in* pada pengujian pipa kapiler 1,25 m menggunakan

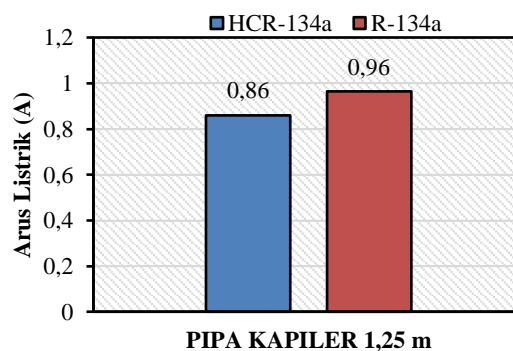
HCR134a lebih rendah daripada temperatur evaporator *in* pada pengujian pipa kapiler 1,25 m menggunakan R134a, sehingga membuat jumlah kalor yang dapat diserap refrigeran menjadi lebih banyak pula.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Temperatur Box

Arus Listrik

Gambar 6 menunjukkan nilai perbandingan penggunaan arus listrik antara refrigeran HCR134a dengan menggunakan refrigeran R134a. Dari hasil pengujian diperoleh arus listrik yang digunakan refrigeran HCR-134a lebih kecil 10,8% daripada refrigeran R-134a pada pengujian pipa kapiler 1,25 m, hal ini dikarenakan tekanan kondensor pada refrigeran HCR-134a lebih kecil daripada refrigeran R-134a pada pengujian pipa kapiler 1,25 m, sehingga membuat kerja kompresor lebih ringan dan menurunkan pemakaian arus listrik pada refrigeran HCR-134a.

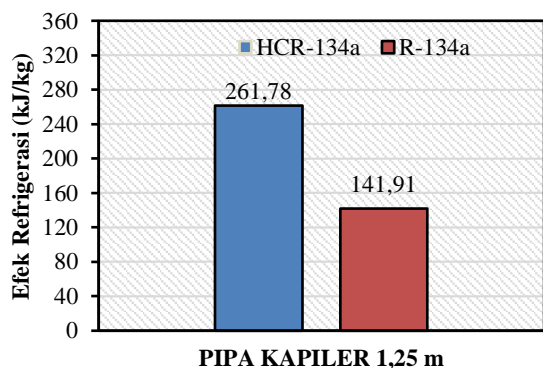


Gambar 6. Grafik Rata-Rata Arus Listrik

Efek Refrigerasi

Gambar 7 memperlihatkan perbandingan efek refrigerasi atau penyerapan kalor di evaporator, antara refrigeran HCR134a dengan refrigeran R134a. Dari hasil pengujian diperoleh efek refrigerasi refrigeran HCR134a lebih besar

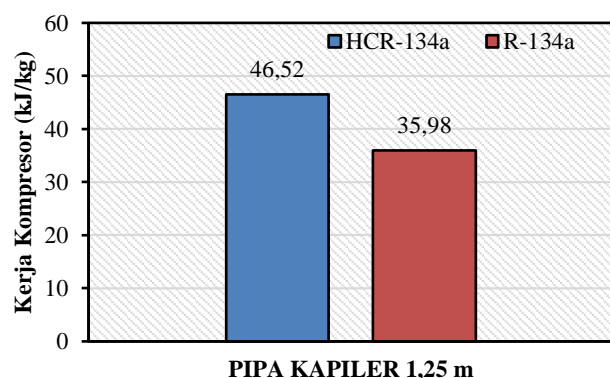
daripada refrigeran R134a, hal ini dikarenakan nilai kalor laten pada refrigeran HCR134a besar daripada refrigeran R134a, yang artinya jumlah kalor yang dapat diserap oleh refrigeran HCR134a pada evaporator lebih banyak dan menghasilkan efek refrigerasi yang lebih besar.



Gambar 7 Grafik Rata-Rata Efek Refrigerasi

Kerja Kompresor

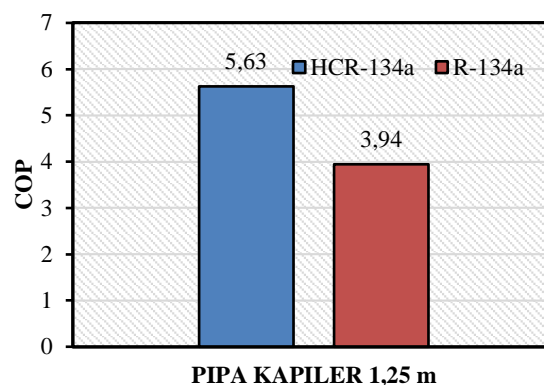
Gambar 8 memperlihatkan perbandingan nilai kerja kompresor antara HCR134a dan R134a. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kerja kompresi dengan menggunakan refrigeran HCR134a sedikit lebih besar dari refrigeran R134a, hal ini dikarenakan tekanan hasil kompresi yang dihasilkan refrigeran hidrokarbon lebih tinggi daripada refrigeran R134a. Namun secara umum koefisien kinerja performansi alat ini sedikit lebih besar menggunakan refrigerant HCR13a dibanding R 123a



Gambar 8. Grafik Kerja Kompresor rata-rata

Coefficient of Performance (COP)

Dari Gambar 9 dapat dilihat perbandingan COP antara HCR134a dengan R134a. Dari grafik tersebut dapat dilihat COP menggunakan HCR134a memberi hasil yang lebih besar pada pipa kapiler, hal ini dikarenakan refrigeran HCR-134a mempunyai nilai refrigerasi yang lebih besar daripada refrigeran R-134a.



Gambar 9 Grafik Rata-Rata COP

KESIMPULAN

Penggunaan refrigeran HCR134a memberikan performansi COP yang lebih baik daripada R134a, serta lebih hemat penggunaan arus listrik. Peningkatan performansi COP dengan HCR134a adalah sebesar 29,92% dan penghematan pemakaian arus listrik adalah sebesar 10,8%. HCR134a dapat menjadi solusi untuk menggantikan R134a yang memiliki GWP yang tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, A., Izzudin, I., & Mainil, A. K. (2017). Performance comparison of a refrigerator system using R134a and hydrocarbon refrigerant (HCR134a) with different expansion devices. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/237/1/012008>

Aziz, Azridjal, Mainil, R. I., Mainil, A. K., & Saputra, E. (2017). Experimental evaluation on the use of capillary tube and thermostatic expansion valve with heat recovery hot spot water heater in air source refrigeration system. *AIP Conference Proceedings*, 1788, 030023-1-7. <https://doi.org/10.1063/1.4968276>

Bolaji, B. O., & Huan, Z. (2012). Comparative analysis of the performance of hydrocarbon refrigerants with R22 in a sub-cooling heat exchanger refrigeration system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 226(7), 882-891. <https://doi.org/10.1177/0957650912454829>

Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2019).

Thermodynamics: An Engineering Approach, Ninth Edition.

- Dhavale, S., & Deshmukh, M. (2016). *Performance Comparison of Hydrocarbon Refrigerant as Isobutane R600a and Propane R290 in Domestic Refrigerator as Alternative Refrigerants to. 1*(3), 20–23.
- Fatouh, M., & Abou-Ziyan, H. (2018). Energy and exergy analysis of a household refrigerator using a ternary hydrocarbon mixture in tropical environment – Effects of refrigerant charge and capillary length. *Applied Thermal Engineering*, *145*, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.008>
- Gill, J., & Singh, J. (2017). Experimental Analysis of R134a/LPG as Replacement of R134a in a Vapor-Compression Refrigeration System. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, *25*(2), 1–13. <https://doi.org/10.1142/S2010132517500158>
- Harby, K. (2017). Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*(December 2015), 1247–1264. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.039>
- Harby, K., Gebaly, D. R., Koura, N. S., & Hassan, M. S. (2016). Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 347–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.313>
- Kamel.S.Hmooda, H.Pop, V.Apostol, A. . Q. A. (2017). Refrigerants Retrofit as Alternative for R12 and R134a in Household Refrigerators. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, *35*(1), 251–265.
- Kharat, A. E., Mate, D. M., & Kathwate, S. D. (2018). Experimental study of alternative refrigerants to replace R134a in a domestic refrigerator. *International Journal of Academic Research and Development*, *3*(4), 28–35. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31634.61129>
- Lakhorkar, V. N. (2017). Performance Evaluation of Domestic Refrigerator Using Eco-Friendly Refrigerant. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *V*(XI), 2271–2277. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.11220>
- Olatunji, O. R., Ohunakin, O. S., & Adelekan, D. S. (2019). Effect of Ambient Temperatures on an R134a Domestic Refrigerator Retrofitted with R600a and LPG Refrigerants. *Journal of Physics: Conference Series*, *1378*(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022100>
- Peyyala, A., & Sudheer, N. V. V. S. (2017). Experimental Investigation of COP Using Hydro Carbon Refrigerant in a Domestic Refrigerator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *225*(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012236>
- Powade, R. S. (2018). Performance Investigation of Refrigerants R290 and R134a as an Alternative to R22. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *6*(4), 4668–4676. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.4767>
- Razzaq, M. A., Ahamed, J. U., Hossain, M. A. M., & Hossain, S. (2019). A review on hydrocarbon (HCs) as an alternative refrigerant: based on thermodynamic and environmental approach. *Mechanical Engineering Research Journal*, *11*(May), 86–96.
- Reddy, D. V. R., Bhrarama, P., & Govindarajulu, K. (2016). *Hydrocarbon Refrigerant mixtures as an alternative to R134a in Domestic Refrigeration system : The state-of-the-art review*. *7*(6), 1–6.
- Saibhargav, A., Reddy, K. S., & Reddy, V. M. (2019). Performance Analysis of Vapour Compression Refrigeration System using HC Refrigerant Mixtures for Water Chiller. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(9), 2513–2517. <https://doi.org/10.35940/ijtee.i7862.078919>
- Sethi, A., Vera Becerra, E., & Yana Motta, S. (2016). Low GWP R134a replacements for small refrigeration (plug-in) applications. *International Journal of Refrigeration*, *66*, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.02.005>
- Shaik, S. V., & Babu, T. P. A. (2017). Theoretical Performance Investigation of Vapour Compression Refrigeration System Using HFC and HC Refrigerant Mixtures as Alternatives to Replace R22. *Energy Procedia*, *109*(November 2016), 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.053>
- Tang, W., He, G., Cai, D., Zhu, Y., Zhang, A., & Tian, Q. (2017). The experimental investigation of refrigerant distribution and leaking characteristics of R290 in split type household air conditioner. *Applied Thermal Engineering*, *115*(2017), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.083>
- Thavamani, J., & Senthil, R. (2020). Performance analysis of retrofitted domestic vapour compression refrigeration system using hydrocarbon refrigerants. *International Journal of Ambient Energy*, *0*(0), 1–25. <https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1751284>
- Zhang, L., Zhao, J. X., Yue, L. F., Zhou, H. X., & Ren, C. L. (2019). Cycle performance evaluation of various R134a/hydrocarbon blend refrigerants applied in vapor-compression heat pumps. *Advances in Mechanical Engineering*, *11*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1177/1687814018819561>