



Kinerja Lemari Es dengan Penukar Panas Pipa Ganda Refrigeran Alami (R1270)

Kamin Sumardi^{1*}, Asri Ratnasari² 

^{1,2} Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received June 16, 2022

Revised June 20, 2022

Accepted January 14, 2023

Available online April 25, 2023

Kata Kunci:

Heat Exchanger, Pipa Kapiler, R1270

Keywords:

Heat Exchanger, Capillary Tube, R1270



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Teknologi refrigerator terus berkembang menuju arah yang lebih baik dan efisien. Refrigerator harus diberikan sentuhan inovasi untuk mendapatkan kinerja yang paling baik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kinerja refrigerator dengan inovasi double pipe heat exchanger dan variasi panjang pipa kapiler. Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimen. Eksperimen dilakukan pada trainer refrigerator 1/6 PK, perbandingan ukuran double pipe heat exchanger 1/4:1/2, dan variasi panjang pipa kapiler yaitu 1,5m, 2m, 2,5m, dan 2,75m. Diameter pipa kapiler dipertahankan dengan ukuran 0,028 inci. Refrigeran awal yang digunakan yaitu refrigeran R-134a sebagai kemudian di retrofit dengan metode drop in substitute oleh refrigeran R-1270 sebagai refrigeran yang diuji. Beban yang digunakan adalah air mineral 1,5L. Hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan pipa kapiler 1,5m dan double pipe heat exchanger mampu meningkatkan nilai efek refrigerasi hingga 49%, nilai efisiensi kerja (CoP) meningkat 22% dibandingkan dengan sistem refrigerator yang menggunakan R-134a. Konsumsi daya listrik mengalami penurunan hingga 25%, sehingga mengurangi biaya tagihan listrik. Penelitian ini telah menunjukkan bahwa penggunaan refrigeran R-1270 pada refrigerator dengan double pipe heat exchanger dan panjang pipa kapiler dengan diameter 0,028 inci meningkatkan kinerja dan lebih hemat konsumsi energi listrik.

ABSTRACT

Refrigerator technology continues to develop towards a better and more efficient direction. Refrigerator must be given a touch of innovation to get the best performance. This study aims to obtain data on the performance of refrigerators with double pipe heat exchanger innovation and variations in the length of the capillary tube. The research method used is experimental. The experiment was carried out on a 1/6 PK refrigerator trainer, the ratio of the size of the double pipe heat exchanger was 1/4:1/2, and the variations in the length of the capillary pipe were 1.5m, 2m, 2.5m, and 2.75m. The diameter of the capillary tube is maintained at 0.028 inches. The initial refrigerant used is refrigerant R-134a, which is then retrofitted by the drop in substitute method by refrigerant R-1270 as the refrigerant being tested. The load used is 1.5L mineral water. The results showed that the use of 1.5m capillary pipe and double pipe heat exchanger was able to increase the value of the refrigeration effect up to 49%, the value of work efficiency (CoP) increased by 22% compared to the refrigerator system using R-134a. Electric power consumption has decreased by up to 25%, thereby reducing the cost of electricity bills. This study has shown that the use of refrigerant R-1270 in a refrigerator with a double pipe heat exchanger and a long capillary tube with a diameter of 0.028 inches improves performance and saves electricity consumption.

1. PENDAHULUAN

Refrigerasi adalah suatu proses penyerapan kalor dari ruangan/produk yang bertemperatur lebih tinggi kemudian memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang memiliki temperatur lebih rendah dan tetap menjaga temperatur sesuai dengan yang dibutuhkan. Refrigerator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menyimpan dan menjaga kualitas produk dengan cara mendinginkan produk sesuai dengan prinsip sistem refrigerasi. Di dalam sebuah sistem refrigerasi ada fluida yang bersirkulasi yang dinamakan dengan refrigerant (Dincer & Kanoğlu, 2010; S. V. Shaik & Babu, 2017). Refrigerator yang ada dipasaran saat ini masih menggunakan refrigeran sintetis yang kurang efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kinerja refrigerator yang lebih baik, hemat listrik dan ramah terhadap lingkungan. Penggunaan refrigeran alami (R1270) menjadi salah satu alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan. R1270 sudah diproduksi di dalam negeri sehingga mendukung ekonomi nasional.

Refrigeran adalah bahan pendingin berupa fluida yang digunakan untuk menyerap kalor melalui perubahan fasa cair ke gas (menguap) dan membuang kalor melalui perubahan fasa gas ke cair (mengembun). Refrigeran yang baik harus memenuhi syarat-syarat tertentu seperti tidak beracun, tidak

*Corresponding author.

E-mail addresses: kaminsumardi@upi.edu (Kamin Sumardi)

berwarna, tidak berbau dalam semua keadaan, tidak mudah terbakar, dan mempunyai titik didih yang rendah (Mafi, Shomali, & Ajorloo, 2017; Mutaufiq, Sulistyio, Sumardi, Berman, & Wiyono, 2021). Refrigeran yang umum digunakan pada refrigerator atau lemari es adalah refrigeran R-134a dan R-12. Kedua jenis fluida kerja ini tidak ramah lingkungan, karena keduanya memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang cukup tinggi. Alasan inilah yang menyebabkan refrigeran sintetis harus segera digantikan oleh refrigeran alami atau HFC yang ramah lingkungan namun memiliki performa yang baik seperti refrigeran sintetis. Refrigeran alami atau Hidrokarbon dapat digunakan sebagai pengganti R-134a dan R12 (Parashurama, Saleel, Govindgowda, & Khan, 2019; S. V. Shaik, Shaik, & Gorantla, 2020). Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa refrigeran R-1270 menunjukkan nilai efisiensi yang optimal dibandingkan refrigeran R-290, R600 dan R-600a (Ajuka, Odunfa, Ohunakin, & Oyewola, 2017; Liu & Lin, 2020). Perbandingan kinerja sistem juga diuji menggunakan R-22, R-32, R-134a, R-152a, R-290 dan R-1270. Secara keseluruhan R-1270 akan menjadi refrigeran ramah lingkungan yang cocok untuk menggantikan R-22. Hal ini ditinjau dari sudut pandang ODP, GWP, kapasitas volumetrik, debit temperatur dan kelarutan dengan minyak mineral (Longo, Righetti, & Zilio, 2019; Vali, Setty, & Babu, 2018).

Peningkatan kinerja refrigerator juga bisa dengan penambahan atau variasi komponen, salah satunya dengan cara memvariasikan panjang pipa kapiler yang digunakan dan menambahkan heat exchanger menggunakan prinsip double pipe atau penggabungan pipa suction line dan liquid line. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan panjang pipa kapiler berpengaruh terhadap kapasitas pendinginan dan nilai CoP trainer (Homzah, Hendradinata, & Akui, 2017; Singh, Kumar, & Gupta, 2021). Penggunaan HCR-134a mampu meningkatkan CoP sebesar 29,92% pada panjang pipa kapiler 1,25m (Aktehur & Öztürk, 2022; Aziz, Siregar, Mainil, & Mainil, 2020). Pengaruh panjang pipa kapiler pada refrigerator domestik dengan menggunakan R-600a menunjukkan bahwa pendinginan akan lebih cepat dicapai jika menggunakan R-600a dibandingkan dengan menggunakan R-12. CoP rata-rata yang diperoleh R-600a lebih tinggi 6,3% dibandingkan R-12. Konsumsi daya menggunakan R-600a mengalami penurunan 24% dibandingkan dengan R-12. Kapasitas pendinginan R-600a 9,18% lebih tinggi dibandingkan dengan R-12. Kombinasi yang baik digunakan jika menggunakan R-600a untuk unit refrigerator domestik yaitu dengan menggunakan pipa kapiler dengan panjang 1,5m dan masa refrigeran 60gr (El Sayed, El Morsi, & Mahmoud, 2017; Oyedepo, 2016). Penelitian dengan memvariasikan panjang pipa kapiler dan menggunakan R-600 sebagai refrigeran menunjukkan bahwa R-600a memiliki CoP 45% lebih tinggi dibandingkan dengan R-600. Konsumsi daya terendah mencapai penurunan 25% ditawarkan R-600 dengan panjang pipa kapiler yang digunakan 1,30m (Emani & Mandal, 2018; Madyira, Marangwanda, Ekundayo, Babarinde, & Akinlabi, 2019). Pada unit hard ice cream maker kerja kompresor paling rendah adalah dengan menggunakan variasi panjang pipa kapiler 1m dengan refrigeran Mc-22 (Hidayati & Ardiansyah, 2018; Zhang et al., 2020). Pengaruh beban dan diameter pipa kapiler terhadap nilai CoP menghasilkan kerja kompresor akan mengalami kenaikan apabila diberi pembebanan. Hasil penelitian, CoP yang terbaik diperoleh pada pipa kapiler dengan diameter 0,0163m. Daya mesin terbaik diperoleh pada pipa kapiler dengan diameter 0,0163m (Mastur, Supriyana, & Sutarno, 2020; Wu, 2015).

Hasil penelitian tentang penggunaan pipa ganda (double pipe) yang dilakukan pada unit Air Conditioning menghasilkan penurunan kerja kompresor 53% dan kenaikan CoP (Ghani, Gamaledin, Rashwan, & Atieh, 2018). Evaluasi eksperimental tube in tube telah diuji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi yang sama CoP R-1234yf meningkat 2,11%. Koefisien perpindahan panas keseluruhan tube in tube untuk R1234yf lebih rendah 11-17% dari R134a (Fang, Lin, & Ma, 2021; Wantha, 2019). Penambahan heat exchanger dalam sistem refrigerasi terbukti mampu meningkatkan kinerja refrigerator. Panjang pipa kapiler juga berpengaruh terhadap kinerja sistem refrigerator. Untuk itu pada pengujian kali ini menggabungkan double pipe heat exchanger dengan memvariasikan panjang pipa kapiler. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kinerja refrigerator yang optimal dan panjang pipa kapiler yang direkomendasikan untuk digunakan.

Penggunaan R1270 dalam refrigerator menjadi alternatif dalam rangka menghemat energi dan ramah lingkungan. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa refrigeran R1270 dapat digunakan pada sistem refrigerasi, sehingga dapat pula diterapkan dalam refrigerator dengan sistem refrigerasi kompresi uap. Penggantian R134a oleh R1270 menjadi kebutuhan mendesak dalam sistem refrigerasi. Dukungan penelitian menjadi dasar bahwa penggunaan R1270 pada refrigerator dapat dipertanggungjawabkan.

2. METODE

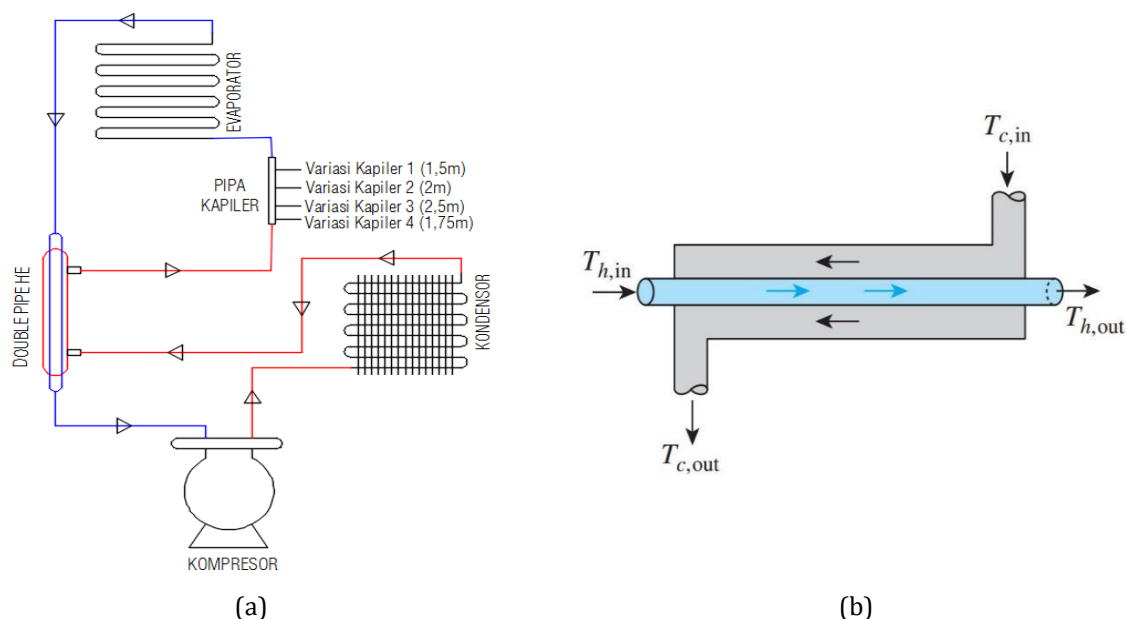
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Subyek penelitian yaitu refrigerator dengan kapasitas 1/6 Hp, daya 180 watt 220 volt, 1,6 A dan menggunakan R134a. Penelitian dilakukan dengan cara pengujian secara langsung pada unit refrigerator yang ditambahkan double pipe heat exchanger dengan dibuat variasi panjang pipa kapiler yaitu 1,5m, 2m, 2,5m dan 2,75m menggunakan refrigeran R-1270

dengan beban air 1.500 ml. Tahapan pengujian yang dilakukan adalah memastikan trainer yang akan digunakan untuk pengujian dalam kondisi baik, kemudian melakukan kalibrasi alat ukur seperti tang amper, thermometer, manifold gauge dan lain-lainnya (Gambar 2). Kemudian memasang double pipe heat exchanger berukuran $\frac{1}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ ". Selanjutnya pengujian dilakukan dengan melakukan variasi panjang pipa kapiler dengan inside diameter yang tetap.

Instrumen penelitian menggunakan lembar pengamatan setiap parameter. Data diambil berdasarkan tabel instrumen pengambilan data. Semua alat pengujian dan instrumen sudah melewati proses validasi dan kalibrasi dengan teliti. Pengolahan data menggunakan metode analitik kuantitatif berdasarkan data yang diperoleh dan dibandingkan hasil terdahulu dan kajian teori dengan Ph-diagram dan table of properties R134a dan R1270.

Pengambilan data diawali dengan penggunaan pipa kapiler dengan inside diameter yang tetap yaitu 0,028 inci variasi panjang 1,5m. Setelah data diambil dari refrigeran R134a, selanjutnya trainer diretrofit oleh R1270 dengan metode drop in substitute (tanpa mengganti komponen). Kemudian dengan proses dan langkah yang sama dilakukan dengan menambahkan double pipe heat exchanger dan mengganti panjang pipa kapiler menjadi 2m, 2,5m, dan 2,75m. Berat refrigeran R1270 yang diisi berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu sebesar 30% dari berat yang diisi R-134a. Pengujian dilaksanakan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi panjang pipa kapiler agar data valid. Pengambilan data dimulai dari menit ke 0 hingga menit ke 120 dengan interval waktu setiap lima menit. Skema pemipaan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1.

Ada empat komponen utama sistem refrigerasi yaitu kompresor, kondensor, pipa kapiler dan evaporator. Kemudian, ada penambahan heat exchanger yang ditempatkan diantara kompresor dan evaporator. Pada gambar terdapat empat variasi panjang pipa kapiler artinya dalam pengujian dilakukan empat kali penggantian pipa kapiler dengan panjang yang berbeda, hal ini dapat dilihat pada Gambar 1. Pada saat pengujian dibutuhkan 7 buah termometer sebagai alat ukur pengambilan data dengan penempatan pada kondensor, kabin evaporator, langsung pada beban, inlet-outlet suction line, dan inlet-outlet liquid line. Berisi bagaimana data dikumpulkan, sumber data dan cara analisis data.



Gambar 1. (a) Desain Penelitian. (b) Skema Perpipaan Heat Exchanger

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data hasil pengukuran semua parameter pada R134a atau refrigeran bawaan (baseline) disajikan pada Tabel 1. Data hasil pengukuran setelah ditambah double pipe heat exchanger dan variasi panjang pipa kapiler disajikan pada Tabel 2. Data penelitian hasil pengujian diolah menggunakan P-h Diagram dan aplikasi coolpack untuk R-134a dan R-1270. Perhitungan dengan menggunakan aplikasi coolpack tersebut diperoleh nilai enthalpy dari setiap masing-masing pengukuran. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai dari refrigeration effect (RE), work of compression (Wk), daya teoritis (HP), konsumsi daya listrik (Watt), dan coefficient of performance (CoP). Perbandingan kinerja

refrigerator saat beroperasi dengan baseline, variasi panjang pipa kapiler 1,5m, variasi 2m, variasi 2,5m dan variasi 2,75m hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik dan pembahasan.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran pada R134a Tanpa Alat Tambahan

Waktu		Temperatur		Tekanan		Arus
t	Beban	Evaporator	Kondensor	Suction	Discharge	I
(menit)	(°C)	(°C)	(°C)	(Bar)	(Bar)	(Ampere)
5	20,5	5,7	34,6	1,36	10,66	0,65
20	9,5	2,7	34,9	1,36	10,66	0,65
40	5,5	-2,5	35,4	1,36	10,66	0,65
60	3,3	-11,2	35,4	1,22	10,31	0,66
80	-3,5	-12,6	35,7	1,22	10,31	0,66
100	-3,5	-15,2	36,2	1,22	10,31	0,66
120	-3,8	-15,3	36,7	1,22	10,31	0,66

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran pada R1270 dengan *Double Pipe Heat Exchanger* dan Variasi Panjang Pipa Kapiler

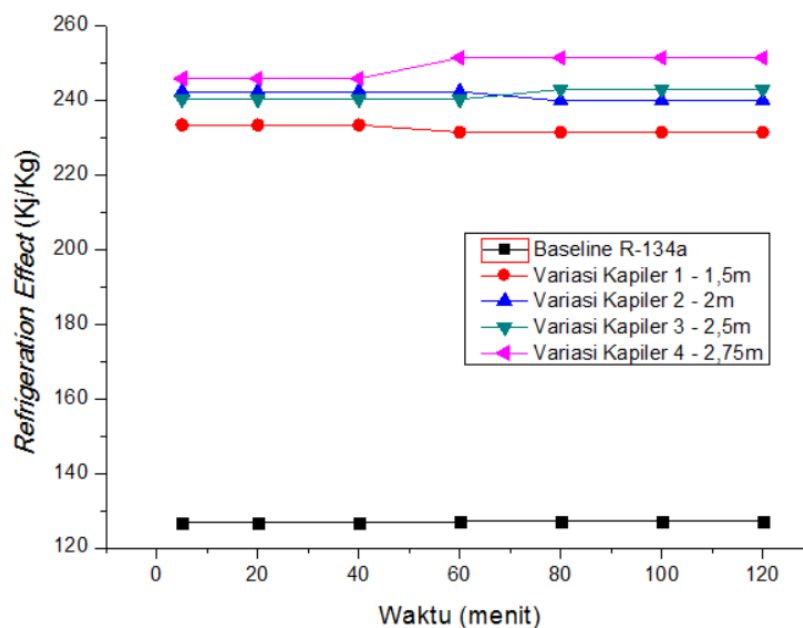
Pipa Kapiler 1,5m						
Waktu		Temperatur		Tekanan		Arus
t	Beban	Evaporator	Kondensor	Suction	Discharge	I
(menit)	(°C)	(°C)	(°C)	(Bar)	(Bar)	(Ampere)
5	20,4	5,5	39,3	2,05	17,89	0,71
20	13,2	-5	39,6	2,05	17,89	0,71
40	3,9	-11,4	39,2	2,05	17,89	0,71
60	-1,2	-14,2	39,6	1,91	17,89	0,72
80	-3,9	-16,4	38	1,91	17,89	0,72
100	-5,9	-18,1	36,2	1,91	17,89	0,72
120	-6,7	-19,5	37,1	1,91	17,89	0,72
Pipa Kapiler 2m						
5	21,8	5,7	32	1,56	15,69	0,68
20	16,8	2	33,8	1,56	15,69	0,68
40	7,4	-11,1	35,1	1,56	15,69	0,68
60	3,6	-12,9	36,7	1,56	15,69	0,68
80	-2,2	-15,1	38	1,63	16,17	0,68
100	-3,5	-16,1	37,8	1,63	16,17	0,68
120	-5,5	-16,3	37,8	1,63	16,17	0,68
Pipa Kapiler 2,5m						
Waktu		Temperatur		Tekanan		Arus
t	Beban	Evaporator	Kondensor	Suction	Discharge	I
(menit)	(°C)	(°C)	(°C)	(Bar)	(Bar)	(Ampere)
5	25,3	5,9	36	1,63	16,17	0,68
20	14,3	-5,8	37,1	1,63	16,17	0,68
40	1,9	-12,8	38,1	1,63	16,17	0,68
60	-2,4	-16,9	37,7	1,50	15,48	0,68
80	-2,2	-15,7	37,7	1,50	15,83	0,65
100	-3,2	-15,7	37,8	1,50	15,83	0,65
120	-3,2	-15,7	37,8	1,50	15,83	0,65
Pipa Kapiler 2,75m						
5	24	12,6	28,4	1,36	0,64	0,64
20	20,5	6,1	33,8	1,36	0,64	0,64
40	13,6	0,4	34,6	1,36	0,64	0,65
60	8,2	-2	35,3	1,36	0,64	0,64
80	4,9	-2,8	35,4	1,29	0,66	0,66
100	2,9	-4,1	35,8	1,29	0,66	0,66
120	1,4	-5,8	35,5	1,29	0,66	0,65

Pembahasan

Efek Refrigerasi (RE)

Nilai efek refrigerasi (refrigeration effect) didapatkan dari selisih dua nilai enthalpy yaitu pada garis saturated vapor tekanan suction dan saturated liquid tekanan discharge. Nilai RE menunjukkan banyaknya kalor yang mampu diserap oleh refrigeran pada evaporator. Semakin banyak jumlah kalor dalam satuan kilo Joule yang mampu diserap per satu kilogram refrigeran menunjukkan semakin baik proses evaporasi sistem tersebut (Aziz et al., 2020; Sumardi, Berman, & Mutaufiq, 2021). Nilai efek refrigerasi terhadap variasi panjang kapiler menggunakan R-1270 ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai efek refrigerasi pada dilihat pada Gambar 2 berdasarkan satuan waktu yang diambil setiap 20 menit. Nilai efek refrigerasi terendah dicapai dengan menggunakan R-134a dengan nilai RE di menit awal 126,75 kJ/kg dan mengalami sedikit peningkatan di menit ke-60 dengan nilai RE 127,11 kJ/kg. Sedangkan nilai efek refrigerasi tertinggi dicapai dengan menggunakan refrigeran R-1270 dengan modifikasi variasi panjang kapiler 2,75m dengan nilai RE sebesar 245,81 kJ/kg pada menit pertama hingga menit ke 30 dan mengalami peningkatan yang cukup signifikan menjadi 251,38 kJ/kg.

Secara keseluruhan nilai efek refrigerasi pada sistem yang ditambahkan double pipe heat exchanger dan menggunakan refrigeran R-1270 mengalami peningkatan hingga 45% dari baseline R-134a. Hal ini bisa terjadi karena R-1270 memiliki masa jenis yang lebih rendah dari R-134a sehingga nilai RE pun meningkat. Hal tersebut menandakan bahwa proses pendinginan menggunakan R-1270 lebih baik dibandingkan dengan menggunakan R-134a. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian yang menganalisis kinerja sistem refrigeran R-32, R-22 dan R-1270 dilihat dari grafiknya menunjukkan kenaikan nilai efek refrigerasi seiring penurunan temperatur konstan kondensasi pada setiap refrigeran (Sun, et. al., 2022; Pratama, et. al., 2021). Ketiga jenis refrigeran yang diuji, R-1270 memiliki nilai efek refrigerasi yang paling tinggi yaitu berkisar 230 kJ/kg – 300 kJ/kg.



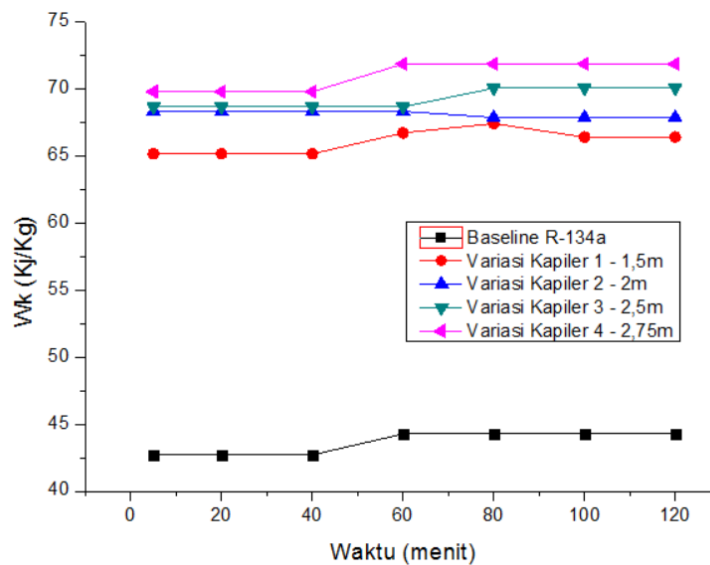
Gambar 2. Efek Refrigerasi pada Unit Refrigerator dengan R1270, Variasi Panjang Pipa Kapiler dan Double Pipe Heat Exchanger

Kerja kompresi (Wk)

Kerja kompresi (work of compression) adalah besarnya kalor yang dihasilkan oleh refrigeran yang dimampatkan pada kompresor. Semakin kecil nilai Wk akan semakin baik karena semakin kecil jumlah kalor yang dimampatkan oleh kompresor (Cabello, Sánchez, Llopis, Andreu-Nacher, & Calleja-Anta, 2022; Parashurama et al., 2019). Nilai kerja kompresi (Gambar 3) yang menggunakan refrigeran R-134a sebagai baseline dan nilai kerja kompresi dengan variasi panjang pipa kapiler menggunakan refrigeran R-1270.

Nilai kerja kompresi menggunakan R-1270 jauh meningkat dibandingkan dengan menggunakan R-134a dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai kerja kompresi untuk unit dengan menggunakan R-134a berada pada kisaran nilai 42,72 kJ/kg – 44,28 kJ/kg. Sedangkan untuk unit yang menggunakan variasi panjang kapiler dan menggunakan R-1270 nilai Wk terendah dicapai pada penggunaan variasi kapiler 1,5m yaitu sebesar 65,16 kJ/kg dan besar peningkatan hingga 66,40 kJ/kg (Panato, Porto, & Bandarra, F, 2017).

Sementara itu nilai W_k tertinggi dicapai pada penggunaan variasi kapiler 4 (2,75m) dengan nilai W_k hingga 71,85 kJ/kg. Nilai kerja kompresi berbanding lurus dengan nilai efek refrigerasi sehingga kapasitas pendinginan dan koefisien kinerja dari sistem meningkat (Moreira, Ayub, & Ribatski, 2021; Hidayati & Ardiansyah, 2018).



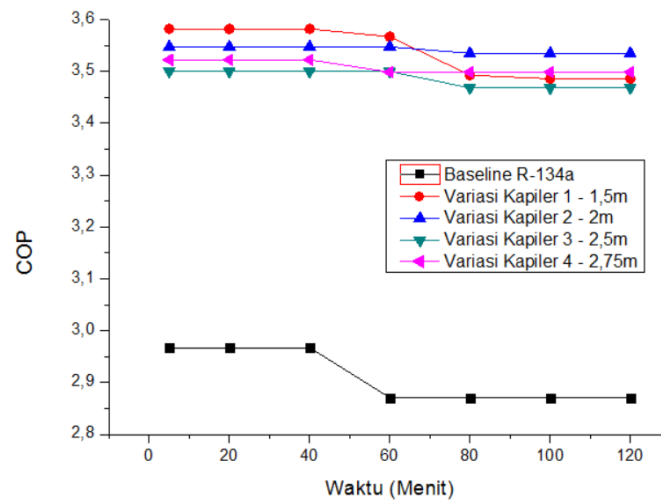
Gambar 3. Kerja Kompresi pada Unit Refrigerator dengan R1270, Variasi Panjang Pipa Kapiler dan Double Pipe Heat Exchanger

Kenaikan kerja kompresi yang menggunakan R-1270 mencapai 39% dibandingkan dengan baseline R-134a. Pada keadaan rentang temperatur kondensasi yang konstan dari tertinggi hingga terendah tiap refrigeran mengalami penurunan nilai kinerja kompresor yang cukup besar, namun kinerja kompresor meningkat seiring dengan perubahan temperatur evaporasi (Ku, 2014; Pratama & Sukarmin, 2021). Ketiga jenis refrigeran yang dibandingkan (R-32, R-22, dan R-1270) terlihat jelas dalam grafik bahwa nilai kerja kompresi yang paling tinggi adalah menggunakan R-1270 dengan nilai kerja kompresi berkisar 77 kJ/kg - 25 kJ/kg.

Coeffisien of Performance (CoP)

Coefficient of Performance (CoP) digunakan untuk mengetahui efisiensi kinerja sebuah sistem (Mastur et al., 2020; Sumardi, Naufal, Maulana, & Berman, 2021; Verma & Chaudhary, 2017). Nilai CoP untuk unit yang menggunakan R-134a sebagai baseline dan nilai CoP untuk unit dengan variasi panjang pipa kapiler dapat dilihat pada Gambar 4. Yang menunjukkan bahwa nilai CoP mengalami peningkatan yang sangat signifikan dari baseline R-134a dan retrofit R-1270. Nilai CoP pada baseline berada pada nilai 2,87-2,97. Sedangkan nilai CoP tertinggi menggunakan R-1270 yaitu sebesar 3,58 pada variasi kapiler 1,5m. Pada variasi kapiler 2m, nilai CoP sebesar 3,55 dan hanya mengalami sedikit penurunan menjadi 3,53. Sementara itu, nilai CoP terendah ditunjukkan oleh variasi kapiler 2,5m dengan nilai 3,47 dan pada variasi kapiler 2,75m, nilai CoP mengalami peningkatan menjadi 3,50.

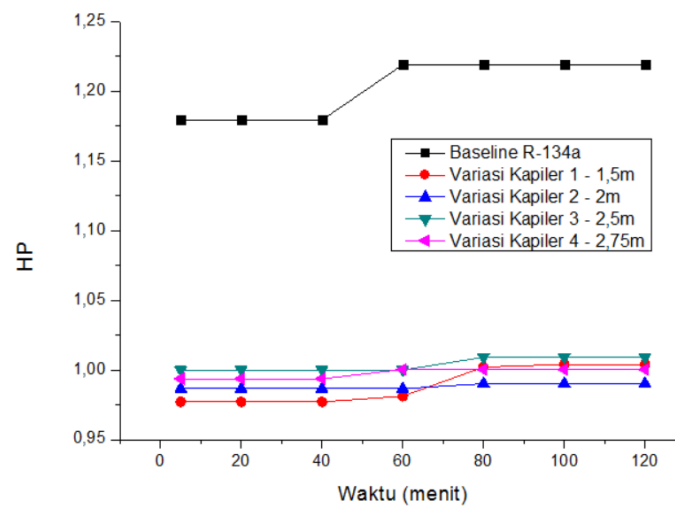
Jika dibandingkan secara keseluruhan, maka CoP sistem refrigerator menggunakan refrigeran R-1270 memiliki nilai CoP yang lebih baik karena dapat meningkatkan efisiensi kinerja hingga 22% dibandingkan dengan sistem refrigerator yang menggunakan refrigeran R-134a. Hal ini dapat terjadi karena sistem refrigerator yang menggunakan R-1270 memiliki nilai efek refrigerasi yang besar dan kerja kompresi yang kecil sehingga nilai CoP pun meningkat. Hasil penelitian dari pasangan refrigeran alami, R-1270 /R170 menunjukkan nilai CoP yang lebih tinggi dan lebih ramah lingkungan (Lacerda et al., 2010; Siddegowda, Sannappagowda, & Kempegowda, 2018; Yilmaz, Mancuhan, & Yilmaz, 2020).



Gambar 4. CoP Pada Unit Refrigerator dengan R1270, Variasi Panjang Pipa Kapiler dan Double Pipe Heat Exchanger

Daya Teoritis (Hp)

Perbandingan nilai Hp untuk unit refrigerator dengan menggunakan R-134a dan unit refrigerator dengan menggunakan R-1270 disajikan pada Gambar 5. Unit refrigerator dengan menggunakan R-134a memiliki nilai Hp yang paling tinggi yaitu sebesar 1,21 dibandingkan dengan unit yang memvariasikan panjang pipa kapiler menggunakan R-1270 yang ditunjukkan pada Gambar 5. Besar nilai HP menunjukkan besarnya tenaga yang dibutuhkan oleh kompresor tersebut (Madyira et al., 2019; Sánchez, Cabello, Llopis, Catalán-Gil, & Nebot-Andrés, 2019). Secara keseluruhan unit dengan variasi panjang pipa kapiler menggunakan R-1270 memiliki nilai Hp yang lebih rendah 19% dibandingkan dengan unit refrigerator yang menggunakan R-134a. Hal ini terjadi dikarenakan laju alir masa refrigeran R-1270 lebih kecil daripada R-134a, sehingga kompresor juga akan bekerja lebih ringan.

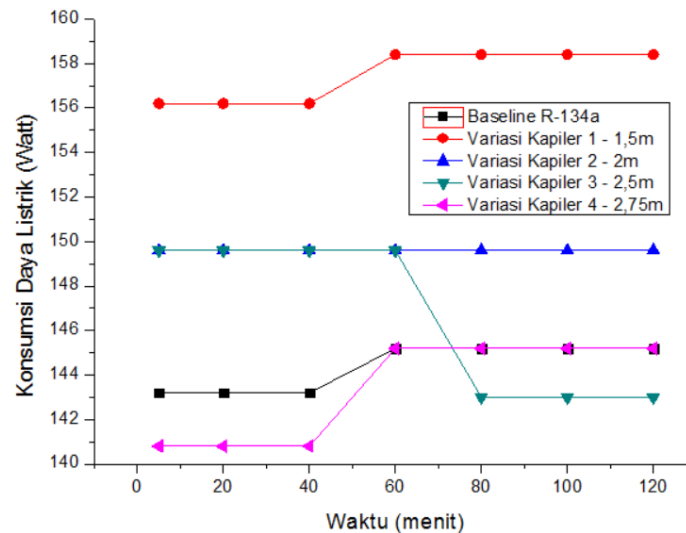


Gambar 5. Daya Teoritis pada unit Refrigerator dengan R1270, Variasi Panjang Pipa Kapiler dan Double Pipe Heat Exchanger

Konsumsi Daya Listrik (P)

Perbandingan konsumsi daya listrik untuk unit refrigerator menggunakan refrigeran R-134a dan unit refrigerator menggunakan refrigeran R-1270 yang terlihat pada Gambar 6. Unit refrigerator menggunakan R-134a memiliki nilai konsumsi daya listrik yang tinggi yaitu hingga mencapai 191,4 watt dengan waktu operasi selama 120 menit. Sementara itu, untuk unit refrigerator menggunakan R-1270 variasi panjang pipa kapiler 1 hingga variasi pipa kapiler 4 menunjukkan nilai yang lebih rendah dari R-134a hanya berkisar 143,64-150,61 watt selama beroperasi 120 menit.

Tidak hanya nilai H_p yang mengalami penurunan, akan tetapi besarnya konsumsi daya listrik juga mengalami penurunan. Hal ini membawa dampak positif, karena konsumsi daya yang mengalami penurunan berarti menunjukkan penghematan energi pula (Ghani et al., 2018; Saengsikhiao, Taweekun, Maliwan, Sae-ung, & Theppaya, 2020). Besarnya penghematan dari R-1270 yaitu 20% dibandingkan baseline R-134a.



Gambar 6. Konsumsi Listrik pada Unit Refrigerator dengan R1270, Variasi Panjang Pipa Kapiler dan Double Pipe Heat Exchanger

4. SIMPULAN

Hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa kinerja refrigerator dengan R1270 terbaik pada variasi panjang pipa kapiler 1,5m dengan outside diameter 0,028 inci. Penggunaan refrigeran R-1270 pada refrigerator mampu mengurangi konsumsi daya listrik, temperatur yang rendah dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan R134a. Refrigeran R1270 layak digunakan dan lebih efisien dibanding R134a dengan menerapkan syarat dan ketentuan yang sesuai dengan standar penanganannya.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Universitas Pendidikan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini dengan kontrak No: 874 /UN40.D/PT/2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ajuka, L. O., Odunfa, M. K., Ohunakin, O. S., & Oyewola, M. O. (2017). Energy and exergy analysis of vapour compression refrigeration system using selected eco-friendly hydrocarbon refrigerants enhanced with tio₂-nanoparticle. *International Journal of Engineering & Technology*, 6(4), 91–97. <https://doi.org/10.1441/ijet.v6i4.7099>.
- Akemur, C., & Öztürk, İ. T. (2022). Thermodynamic performance enhancement of booster assisted ejector expansion refrigeration systems with R1270/CuO nano-refrigerant. *Energy Conversion and Management*, 253, 115191. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115191>.
- Aziz, A., Siregar, I. A. R., Mainil, R. I., & Mainil, A. K. (2020). Komparasi Kinerja Refrigerator dengan Refrigeran Hidrokarbon HCR134a Alternatif Pengganti R134a pada Panjang Pipa Kapiler 1,25m. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 19(2), 76–81. Retrieved from <https://jst.ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/download/7628/6627>.
- Cabello, R., Sánchez, D., Llopis, R., Andreu-Nacher, A., & Calleja-Anta, D. (2022). 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. *International Journal of Refrigeration*, 137, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.02.007>.
- Dinçer, I., & Kanoğlu, M. (2010). *Refrigeration Systems and Applications 2nd ed.* West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

- El Sayed, A. R., El Morsi, M., & Mahmoud, N. A. (2017). Thermodynamic analysis of a simple refrigeration cycle using hydrocarbon refrigerants as substitute to R22. *Int. J. Adv. Eng. Manage. Res*, 2(2), 245-273.
- Emani, M. S., & Mandal, B. K. (2018). The use of natural refrigerants in refrigeration and air conditioning systems: a review. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377(1), p.012064. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/377/1/012064>.
- Fang, X., Lin, J., & Ma, X. (2021). Simulation study on compression characteristics of low GWP refrigerants in the cylinder of rotary compressors. *Applied Thermal Engineering*, 193, 117056. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117056>.
- Ghani, S., Gamaledin, S. M. A., Rashwan, M. M., & Atieh, M. A. (2018). Experimental investigation of double-pipe heat exchangers in air conditioning applications. *Energy and Buildings*, 158, 801-811. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.051>.
- Hidayati, B., & Ardiansyah, A. (2018). Analisa Pengaruh Panjang Pipa Kapiler terhadap Performansi Hard Ice Cream Maker dengan menggunakan R-22 dan MC-22. *PETRA: Jurnal Teknologi Pendingin Dan Tata Udara*, 5(1), 1-6. Retrieved from <http://jurnal.polsky.ac.id/index.php/petra/article/download/147/143/%0A>.
- Homzah, O. F., Hendradinata, H., & Akui, B. (2017). Pengaruh Variasi Panjang dan Diameter Pipa Kapiler terhadap CoP Pada Trainer Sistem Pendingin Dasar. *PETRA: Jurnal Teknologi Pendingin Dan Tata Udara*, 3(1), 15-22. Retrieved from <https://jurnal.polsky.ac.id/index.php/petra/article/view/141/137>.
- Ku, H. K. (2014). Performance Analysis of R-1270 (Propylene) Refrigeration System Using Internal Heat Exchanger. *Journal of Power System Engineering*, 18(4), 36-42. <https://doi.org/10.9726/kspse.2014.18.4.036>.
- Lacerda, A., De Carvalho, U., Henrique, F., Corrêa De Oliveira, P., De Lima, R., Mariano, R., ... Souto-Maior, A. M. (2010). BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY Growth, Sporulation and Production of Bioactive Compounds by *Bacillus subtilis* R14. *Arch. Biol. Technol.* V, 53353(3), 643-652.
- Liu, J., & Lin, Z. (2020). Thermodynamic analysis of a novel dual-temperature air-source heat pump combined ejector with zeotropic mixture R1270/R600a. *Energy Conversion and Management*, 220, 113078. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113078>
- Longo, G. A., Righetti, G., & Zilio, C. (2019). Heat-transfer assessment of the low GWP substitutes for traditional HFC refrigerants. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 139, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.144>.
- Madyira, D. M., Marangwanda, G. T., Ekundayo, F. M., Babarinde, T. O., & Akinlabi, S. A. (2019). Investigation of Household Refrigerator System with Varied Capillary Tube Length. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(4), 042056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/4/042056>.
- Mafi, M., Shomali, M., & Ajorloo, H. (2017). A feasibility study on substitution of environmentally friendly refrigerants in common refrigeration systems. *Modares Mechanical Engineering*, 16(12), 779-782. Retrieved from <http://mme.modares.ac.ir/article-15-310-en.html>.
- Mastur, M., Supriyana, N., & Sutarno, S. (2020). Studi Eksperimen Pengaruh Beban dan Diameter Pipa Kapiler terhadap Coefficient of Performance (CoP) pada Mesin Pendingin. *Iteks*, 12(1), 51-59. Retrieved from <https://www.ejournal.stt-wiworotomo.ac.id/index.php/iteks/article/view/289/352>.
- Mutaufiq, Sulistyono, H., Sumardi, K., Berman, E. T., & Wiyono, A. (2021). Performance Investigation of Cooling Machine Practice Props After Retrofitted by Natural Refrigerants. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 20(2), 136-145. <https://doi.org/10.26874/jt.vol20no2.419>.
- Oyedepo, S. O. (2016). Effect of capillary tube length and refrigerant charge on the performance of domestic refrigerator with R12 and R600a. *International Journal of Advanced Thermofluid Research*, 2(1), 2-14.
- Panato, V. H., Porto, M. P., & Bandarra, F. E. P. (2017). Experimental performance of an R-22-based refrigeration system for use with R-1270, R-438A, R-404A and R-134a. *International Journal of Refrigeration*, 83, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.010>.
- Parashurama, S., Saleel, C. A., Govindgowda, M. S., & Khan, S. A. (2019). Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 496-501.
- Pratama, E. Y., & Sukarmin. (2021). Pengembangan Media Interaktif Haca (Hydrocarbon) Dalam Mereduksi Miskonsepsi Peserta Didik Dengan Strategi Conceptual Change Text Pada Materi Hidrokarbon. *Jurnal Teknologi Pendidikan (JTP)*, 14(1), 41. <https://doi.org/10.24114/jtp.v14i1.22641>.

- Saengsikhiao, P., Taweekun, J., Maliwan, K., Sae-ung, S., & Theppaya, T. (2020). Development of Environmentally-Friendly and Energy Efficient Refrigerant for Medium Temperature Refrigeration Systems. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, 71(1), 12–31. <https://doi.org/10.37934/arms.71.1.1231>.
- Sánchez, D., Cabello, R., Llopis, R., Catalán-Gil, J., & Nebot-Andrés, L. (2019). Energy assessment and environmental impact analysis of an R134a/R744 cascade refrigeration plant upgraded with the low-GWP refrigerants R152a, R1234ze (E), propane (R290) and propylene (R1270). *International Journal of Refrigeration*, 104, 321–334. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.028>.
- Shaik, S. V., Shaik, S., & Gorantla, K. (2020). Investigation on thermodynamic performance analysis and environmental effects of various new refrigerants used in air conditioners. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 41415–41436. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09478-6>.
- Shaik, S. V., & Babu, T. A. (2017). Theoretical performance investigation of vapour compression refrigeration system using HFC and HC refrigerant mixtures as alternatives to replace R22. *Energy Procedia*, 109, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.053>.
- Siddegowda, P., Sannappagowda, G. M., & Kempegowda, R. D. (2018). Development of alternative binary mixtures to replace HFC 134a in domestic refrigerator. *Chemical Engineering Transactions*, 71, 1399–1404. <https://doi.org/10.3303/CET1871234>
- Singh, K. K., Kumar, R., & Gupta. (2021). A. Multi-objective Optimization of Thermodynamic and Economic Performances of Natural Refrigerants for Cascade Refrigeration. *Arab. J. Sci. Eng*, 46, 12235–12252. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05924-w>.
- Sumardi, K., Berman, E. T., & Mutaufiq, M. (2021). The Performance of Vapor Compression Refrigeration System Using R-1270. *Flywheel*, 7(1), 21–27. <https://doi.org/10.36055/fwl.v0i0.9998>.
- Sumardi, K., Naufal, D., Maulana, M. F., & Berman, E. T. (2021). Feasibility of R1270 as an Alternative Refrigerant to Replace R134a in Refrigerator. In *6th UPI International Conference on TVET 2020*, 55–58. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210203.086>.
- Vali, S. S., Setty, T. P., & Babu, A. (2018). Analytical computation of thermodynamic performance parameters of actual vapour compression refrigeration system with R22, R32, R134a, R152a, R290 and R1270. In *MATEC Web of Conferences*, 144, 04009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814404009>.
- Verma, R., & Chaudhary, S. (2017). Analysis of Constant Pressure and Constant Area Mixing Ejector Expansion Refrigeration System using R-1270 as Refrigerant. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 897–9011.
- Wantha, C. (2019). Analysis of heat transfer characteristics of tube-in-tube internal heat exchangers for HFO-1234yf and HFC-134a refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113747. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113747>.
- Wu, Z. J. (2015). The Experiment on System Performance Comparing Analysis and Displacement between R1270 and R22. In *Applied Mechanics and Materials*, 799, 770–773. Retrieved from <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.770>.
- Yilmaz, B., Mancuhan, E., & Yilmaz, D. (2020). Theoretical Analysis of A Cascade Refrigeration System with Natural and Synthetic Working Fluid Pairs for Ultra Low Temperature Applications. *Journal of Thermal Sciences and Technology*, 40(1), 141-153.
- Zhang, Y., He, Y., Wang, Y., Wu, X., Jia, M., & Gong, Y. (2020). Experimental investigation of the performance of an R1270/CO2 cascade refrigerant system. *International Journal of Refrigeration*, 114, 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.02.017>.