



Analisis Pengaruh Retrofit Refrigeran R407C Ke R450A Mesin Pendingin HVAC pada Instalasi Lepas Pantai

Slamet Subagio, Putri Sundari

Universitas Gresik, Indonesia

Email: ssubagyo2007@yahoo.com, psundari72@gmail.com

Abstrak

Article Info:

Submitted:

07-05-2025

Final Revised:

17-05-2025

Accepted:

27-05-2025

Published:

28-05-2025

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh retrofit refrigeran dari R407C ke R450A pada sistem pendingin HVAC di instalasi lepas pantai. Latar belakang penelitian ini didasari oleh kebutuhan akan sistem pendingin yang lebih ramah lingkungan dan efisien, serta regulasi internasional yang mendorong pengurangan refrigeran dengan potensi pemanasan global (GWP) tinggi. Metode yang digunakan meliputi simulasi termodinamika sistem basic cycle menggunakan perangkat lunak Generaton Properties v1.4.2, pengumpulan data primer dari lokasi lapangan, serta analisis kinerja parameter seperti COP, EER, daya kompresor, tekanan kerja, dan laju aliran massa refrigeran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa R450A memiliki COP lebih tinggi (2,072), EER lebih baik (7,07 Btu/W.h), serta tekanan kerja yang lebih rendah dibandingkan R407C. Selain itu, R450A memiliki GWP yang lebih rendah (547 dibandingkan 1624), yang berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca. Retrofit ke R450A juga dapat dilakukan tanpa perubahan besar pada komponen utama sistem HVAC, menjadikannya solusi yang layak secara teknis dan ekonomis. Implikasi penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem pendingin yang efisien dan ramah lingkungan di sektor industri energi lepas pantai, serta menjadi referensi praktis bagi teknisi dan insinyur dalam melakukan retrofit refrigeran di lapangan.

Kata Kunci: Retrofit, R407C, R450A, Efisiensi Energi, Emisi

Abstract

This study aims to analyze the effect of refrigerant retrofit from R407C to R450A on HVAC refrigeration systems in offshore installations. The background of this research is based on the need for more environmentally friendly and efficient refrigeration systems, as well as international regulations that encourage the reduction of refrigerants with high global warming potential (GWP). The methods used include simulation of the thermodynamics of the basic cycle system using Generaton Properties v1.4.2 software, primary data collection from the field site, as well as performance analysis of parameters such as COP, EER, compressor power, working pressure, and refrigerant mass flow rate. The results showed that R450A had a higher COP (2.072), better EER (7.07 Btu/W.h), and lower working pressure than R407C. In addition, R450A has a lower GWP (547 compared to 1624), which contributes to the reduction of greenhouse gas emissions. Retrofitting to the R450A can also be done without major changes to the main components of the HVAC system, making it a technically feasible and economical solution. The implications of this research make a real contribution to the development of efficient and environmentally friendly

refrigeration systems in the offshore energy industry sector, as well as being a practical reference for technicians and engineers in conducting refrigerant retrofits in the field.

Keywords: Retrofit, R407C, R450A, Energy Efficiency.

Corresponding: Slamet Subagio
Email: ssubagyo2007@yahoo.com



PENDAHULUAN

Industri kelautan, khususnya yang berkaitan dengan eksplorasi dan produksi minyak dan gas, memerlukan sistem pendingin yang efisien dan andal. Sistem HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) memainkan peran penting dalam menjaga suhu dan kualitas udara di fasilitas kelautan, karena sistem tersebut bertanggung jawab untuk menciptakan dan memelihara lingkungan dalam ruangan yang nyaman dan sehat. Berdasarkan artikel dari Absolute HVAC LLC, sistem HVAC membantu menghilangkan polutan dan alergen dari udara, serta mengatur suhu dan kelembaban yang dapat mencegah pertumbuhan jamur dan bakteri. Sistem yang dirancang dengan baik dan dirawat juga dapat membantu mengurangi biaya energi dan meningkatkan umur peralatan. Namun, penggunaan refrigeran seperti R407C memiliki beberapa kelemahan, termasuk dampak lingkungan yang lebih besar dan efisiensi energi yang lebih rendah (Arora, 2012; Khazaii & Khazaii, 2016; Mendoza-Miranda et al., 2016; Prayogi, 2022; Reddy et al., 2016).

Dengan meningkatnya kesadaran akan perubahan iklim dan regulasi lingkungan yang lebih ketat, seperti yang diatur dalam Protokol Montreal dan Amandemen Kigali, yang mengatur pengurangan hidrofluorokarbon (HFC) untuk melindungi lapisan ozon dan mengurangi emisi gas rumah kaca, serta didukung oleh kebijakan nasional seperti Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Peraturan Presiden Nomor 77 Tahun 2019 tentang Pengesahan Amandemen Kigali, industri mulai beralih ke refrigeran yang lebih ramah lingkungan dan efisien. R450A telah terbukti menjadi alternatif yang menjanjikan karena potensi pemanasan global (GWP) yang lebih rendah dan efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan R407C (Abidin et al., 2021; Brain et al., 2023; Yang & Li, 2010).

Masalah kebocoran refrigeran pada tubing dan rendahnya efisiensi mesin pendingin menggunakan R407C (tekanan kerja 414,7 – 2102,3 kPa, GWP ~1624) sering mengganggu operasional. Retrofit ke R450A mendesak dilakukan karena memiliki tekanan kerja lebih rendah (212–1160,1 kPa) dan GWP jauh lebih rendah (~547), yang dapat meningkatkan kehandalan sistem, mengurangi risiko kebocoran, dan mendukung efisiensi energi. Seiring dengan Penelitian Josua P. Meyer (tahun 2006) tentang refrigeran R407C dan R450A menunjukkan bahwa meskipun keduanya memiliki karakteristik termodinamika yang mirip, R450A lebih unggul dalam hal emisi karbon yang lebih rendah dan efisiensi energi. menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan (Dincer & Rosen, 2015; Stanford III & Spach, 2019; Yang & Li, 2010; Yıldırım et al., 2025).

Analisis Penelitian ini membahas langkah-langkah dan pertimbangan penting dalam mengganti refrigeran R407C ke R450A pada sistem HVAC di instalasi lepas pantai. Serta bertujuan untuk membantu teknisi HVAC memahami proses retrofit dan memastikan pengoperasian yang aman dan efisien dari sistem setelah perubahan refrigeran (Fauzi, 2020; Hendri et al., 2014; Mutaufiq et al., 2021; Prihatmoko, 2016).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis implementasi retrofit refrigeran R407C ke R450A pada mesin pendingin HVAC di instalasi lepas Pantai. Diharapkan penelitian ini akan membantu industri dalam transisi ke bahan pendingin yang lebih ramah lingkungan dan efisien.

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk menganalisis dampak penggunaan refrigeran R450A terhadap performa sistem pendingin di instalasi lepas pantai, termasuk efisiensi energi, kapasitas pendinginan, dan stabilitas operasional; mendapatkan spesifikasi komponen sistem HVAC untuk memastikan kompatibilitas dan efisiensi penggunaan R450A serta dampak lingkungan yang dihasilkan dibandingkan dengan R407C; serta melakukan perbandingan efisiensi energi, tekanan kerja refrigeran, dan kinerja sistem HVAC sebelum dan sesudah proses retrofit dari R407C ke R450A (Anam, 2022; Isnanda et al., 2019; Temaja et al., 2018). Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi praktisi tentang peningkatan efisiensi energi setelah penggunaan R450A, yang dapat mengurangi biaya operasional dan konsumsi energi; membantu institusi dan industri mesin pendingin dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dengan beralih ke R450A yang memiliki potensi pemanasan global (GWP) lebih rendah; serta memberikan panduan bagi praktisi dan insinyur di industri lepas pantai mengenai proses retrofit, tantangan yang mungkin dihadapi, dan langkah-langkah yang perlu diambil.

Penelitian ini menghadirkan kebaruan dalam konteks penerapan *retrofit refrigerant* dari R407C ke R450A secara khusus pada instalasi mesin pendingin HVAC di fasilitas lepas pantai, sebuah ranah yang sebelumnya jarang dieksplorasi secara mendalam. Meskipun Josua P. Meyer (2006) telah membandingkan karakteristik termodinamika R407C dan R450A secara umum, penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menggunakan simulasi termodinamika sistem basic cycle sesuai kondisi riil di instalasi offshore, serta menggunakan perangkat lunak Generaton Properties v1.4.2 untuk validasi entalpi dan efisiensi. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa retrofit ke R450A dapat dilakukan tanpa modifikasi besar, sehingga lebih ekonomis dan realistis dibandingkan dengan studi oleh Mendoza Miranda et al. (2016), yang lebih fokus pada evaporator micro-fin tube dan sistem yang berbeda. Penelitian ini juga menyajikan data kinerja operasional yang detail, seperti daya kompresor, laju aliran massa, COP, dan EER berdasarkan variasi suhu evaporasi, yang memberikan panduan praktis dan aplikatif bagi teknisi HVAC di sektor industri lepas pantai.

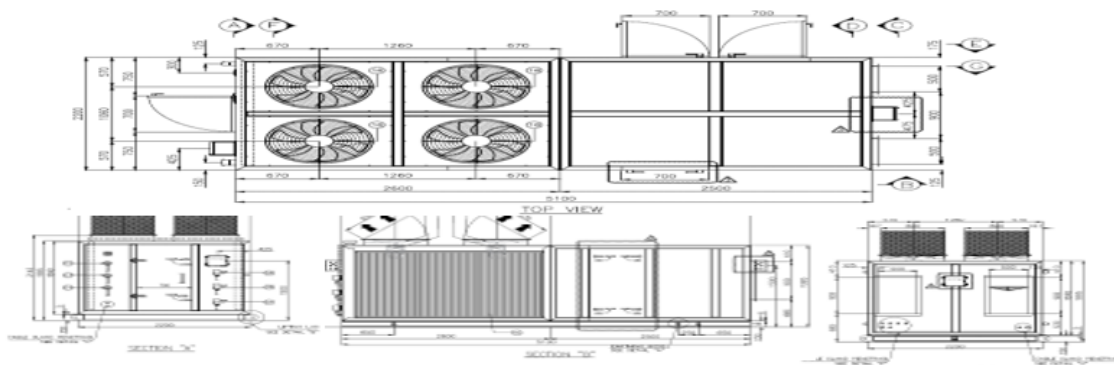
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini berdasarkan studi lapangan atau case study. Data yang akan digunakan adalah data primer yang diambil dari Perusahaan X dan data sekunder yang

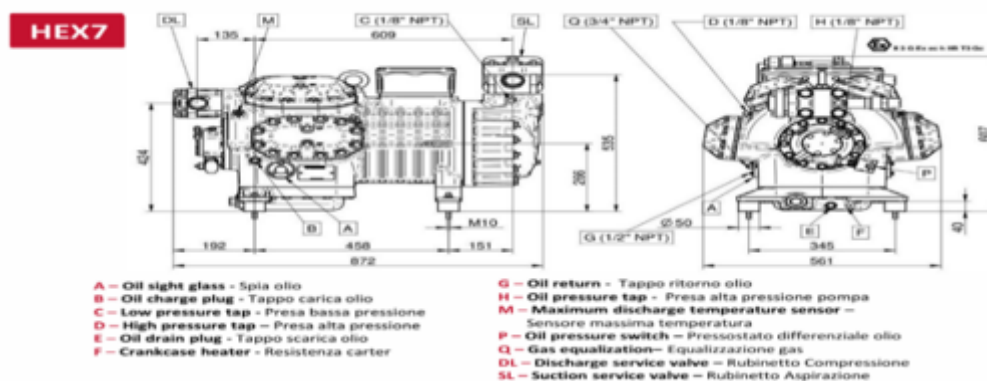
diambil dari beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini,serta penggunaan aplikasi perangkat lunak Generaton Properties versi 1.4.2. sebagai referensi untuk mencari sifat-sifat termodinamika dan perpindahan panas suatu fluida. Penelitian ini menggunakan simulasi kinerja termodinamika sistem kompresi uap bertemperatur rendah dengan basic cycle menggunakan R407C dan R450A.Tabel 4.1 menunjukkan data parameter yang ditentukan dan temperatur yang disimulasikan melalui aplikasi perangkat lunak Generaton Properties versi 1.4.2.

Penelitian dilakukan di lokasi tempat kerja Perusahaan X yaitu BTJT WHP-B yang berjarak kurang lebih 110 km dari Onshore Receiving Facility yang beralamat di komplek Industri Maspion,Beta Maspion, Jalan Sigma Manyar Gresik Jawa Timur, Penelitian dilakukan pada awal bulan November 2024

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data primer yaitu data yang diperoleh dari dokumen-dokumen tertulis di PT X yang mendukung penelitian ini,serta data data dari hasil pengukuran penggunaan referigeran R407C dan refrigeran R450A.Berikut ini gambar layout untuk Unit HVAC yang kita gunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. layout untuk Unit HVAC
(Sumber PT.X)



Gambar 2. Unit Kompresor HVAC
(Sumber Dorin Compressor mfg)

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Josua P. Meyer (tahun 2006) tentang

refrigeran R407C dan R450A menunjukkan bahwa meskipun keduanya memiliki karakteristik termodinamika yang mirip, R450A lebih unggul dalam hal emisi karbon yang lebih rendah dan efisiensi energi.

Akan tetapi kali ini sistem yang digunakan adalah sistem refrigerasi basic cycle dimana sesuai dengan kondisi peralatan HVAC di lepas pantai yang sedang diteliti, dengan menggunakan refrigeran R450A setelah proses retrofit. Untuk melakukan validasi hasil kalkulasi termodinamika dapat dengan perangkat lunak Generaton Properties versi 1.4.2 untuk menemukan nilai enthalpi refrigeran dengan cepat dan tepat, Serta membantu dalam melakukan plot P-h Diagram pada sebuah siklus refrigerasi kompresi uap dengan akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Lokasi Dan Waktu Penelitian

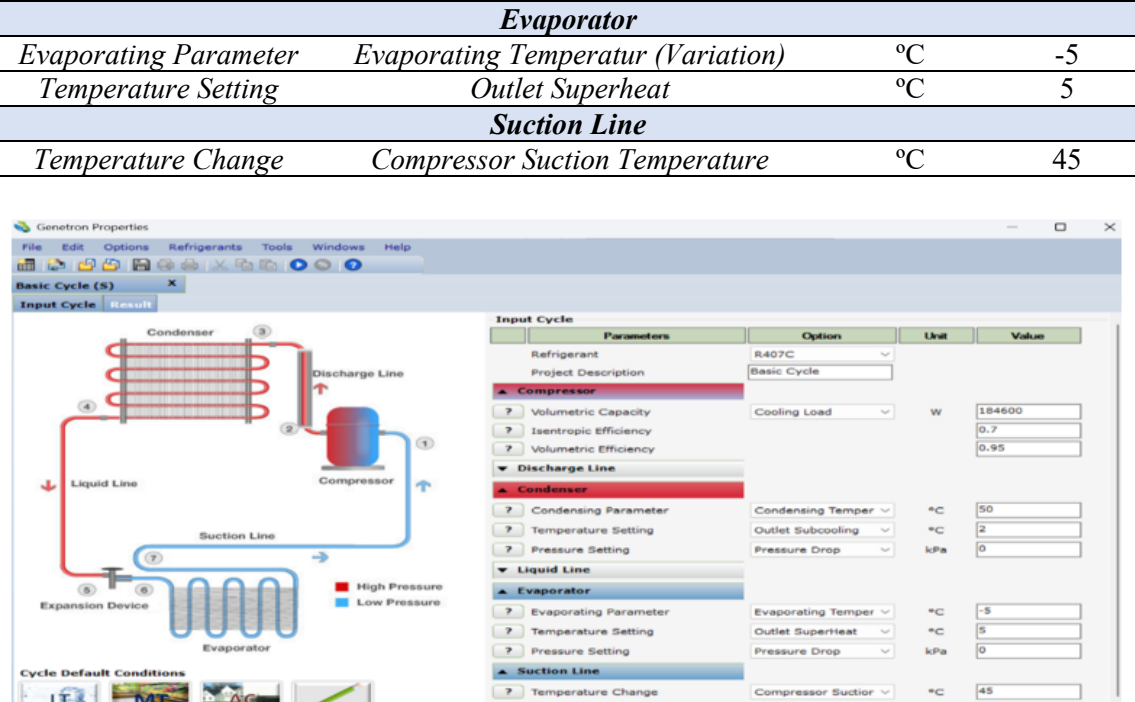
Penelitian dilakukan di lokasi tempat kerja lepas Pantai Perusahaan X yaitu BTJT WHP-B yang berjarak kurang lebih 110 km dari Onshore Receiving Facility yang beralamat di komplek Industri Maspion, Beta Maspion, Jalan Sigma Manyar Gresik Jawa Timur, Penelitian dilakukan pada awal bulan November 2024

Data hasil pengujian kedua refrigerant R407C dan R450A

Analisis pengaruh retrofit refrigerant R407C ke R45A pada mesin pendingin HVAC dengan sistem pengkondisian udara basic cycle standar dilakukan dengan Temperatur Kondensasi yang dipertahankan dan Temperatur evaporasi yang divariasikan dengan menggunakan perangkat lunak Genetron Properties versi 1.4.2. Data kapasitas volumetrik, kapasitas kompresor, efisiensi insentropik, efisiensi volumetrik, suhu keluar maksimum, perubahan suhu, parameter kondensasi, pengaturan suhu, parameter penguapan, pengaturan suhu, perubahan suhu, dan perbandingan kedua refrigeran diperlukan untuk analisis retrovit refrigerant pada pengkondisian udara mesin pendingin HVAC serta dengan memperhatikan perbedaan tekanan kerja untuk masing-masing refrigerant yang dipakai dalam Analisa retrofit refrigeran ini. Berikut ini tabel parameter data yang digunakan dalam Analisa pengaruh retrofit refrigerant R407C ke R450A.

Tabel 1. Tabel Parameter data yang digunakan dalam analisa pengaruh retrofit

Parameter Data	Opsi yang digunakan	Satuan unit	Nilai
<i>Refrigerant</i>	R407C dan R450A		
<i>System</i>	<i>Basic cycle</i>		
Compressor			
<i>Volumetric Capacity</i>	<i>Semi Hermetic-Reciprocating-8 Cylinder</i>	$\dot{W}$	184600
<i>Isentropic Efficiency</i>		-	0,7
<i>Volumetric Efficiency</i>		-	0,95
Discharge line			
<i>Temperature Change</i>	<i>Temperature Change</i>	$^{\circ}\text{C}$	0
Condenser			
<i>Condensing parameter</i>	<i>Condensing Temperature (Fix's)</i>	$^{\circ}\text{C}$	50
<i>Temperature Setting</i>	<i>Outlet Subcooling</i>	$^{\circ}\text{C}$	2



Gambar 3. Siklus mesin pendingin HVAC basic cycle Generaton Properties versi 1.4.2 (Sumber Honeywell International, Inc)

Hasil data analisis retrofit refrigeran dan pembahasan

Hasil simulasi dan analisis kinerja mesin pendingin HVAC menggunakan sistem pendingin basic cycle refrigeration dengan fluida kerja refrigeran R407C. Suhu kondensasi dipertahankan konstan karena suhu gas refrigeran melalui kondensor harus lebih tinggi dari suhu lingkungan, sehingga kondensasi terjadi di kondensor dan mengubah bentuk refrigeran menjadi cair kembali. Dengan suhu evaporasi yang diubah bervariasi dari $T_e = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan suhu kondensasi yang dijaga tetap konstan pada $T_c = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pada sistem basic cycle refrigeration kita dapat melihat kondisi mengapa suhu evaporasi selalu berubah berpengaruh terhadap daya kompresor, laju aliran massa, koefisien prestasi, rasio efisiensi energi, tekanan kerja refrigeran, dan kinerja pelepasan kalor kondensor, ditampilkan pada Tabel 4.2 untuk siklus dengan basic cycle refrigeration analisis pengaruh retrofit refrigerant R407C ke R450A pada mesin pendingin HVAC .

Tabel 2. Tabel data analisis refrigeran R407C dengan Generaton Properties versi 1.4.2

No	T_E °C	T_C °C	Q_E kW	Q_C kW	$\dot{W}_{COMP}$ kW	$\dot{m}$ kg/s	COP	EER Btu/ $\dot{W}$.h	CR	P_{Suct} kPa	P_{Disch} kPa
1	-5	50	184,6	327,39	92,48	1,291	1,99	6,81	5,069	414,7	2102,3
2	-10	50	184,6	347,95	107,18	1,316	1,72	5,87	6,097	344,8	2102,3
3	-15	50	184,6	370,20	123,42	1,342	1,49	5,10	7,395	284,2	2102,3
4	-20	50	184,6	394,37	141,39	1,370	1,30	4,45	9,050	232,3	2102,3

5	-	50	184,6	420,72	161,32	1,400	1,14	3,09	11,18	188	2102,3
	25										
6	-	50	184,6	449,52	183,45	1,432	1,00	3,43	13,95	150,6	2102,3
	30										
7	-	50	184,6	481,09	208,08	1,466	0,88	3,03	17,62	119,3	2102,3
	35										

Hasil simulasi dan analisis kinerja mesin pendingin HVAC menggunakan sistem pendingin basic cycle refrigeration dengan fluida kerja refrigeran R450A. Suhu kondensasi dipertahankan konstan karena suhu gas refrigeran melalui kondensor harus lebih tinggi dari suhu lingkungan, sehingga kondensasi terjadi di kondensor dan mengubah bentuk refrigeran menjadi cair kembali. Dengan suhu evaporasi yang diubah bervariasi dari $T_e = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan suhu kondensasi yang dijaga tetap konstan pada $T_c = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pada sistem basic cycle refrigeration kita dapat melihat kondisi mengapa suhu evaporasi selalu berubah berpengaruh terhadap daya kompresor, laju aliran massa, koefisien prestasi, rasio efisiensi energi, tekanan kerja refrigeran, dan kinerja pelepasan kalor kondensor, ditampilkan pada Tabel 4.3 untuk siklus dengan basic cycle refrigeration Analisis pengaruh retrofit refrigerant R407C ke R450A pada mesin pendingin HVAC

Tabel 3. Tabel data analisis refrigeran R450A dengan Generaton Properties versi 1.4.2

No	T_E $^{\circ}\text{C}$	T_C $^{\circ}\text{C}$	Q_E kW	Q_C kW	$\dot{W}_{COMP}$ kW	$\dot{m}$ kg/s	COP	EER Btu/W.h	CR	P_{Suct} kPa	P_{Disch} kPa
1	-5	50	184,6	333,69	89,09	1,500	2,07	7,07	5,472	212	1160,1
2	-10	50	184,6	356,09	103,71	1,543	1,78	6,07	6,645	174,6	1160,1
3	-15	50	184,6	380,56	120,04	1,588	1,54	5,25	8,142	142,5	1160,1
4	-20	50	184,6	407,36	138,28	1,636	1,34	4,55	10,069	115,2	1160,1
5	-25	50	184,6	436,82	158,69	1,687	1,16	3,96	12,579	92,2	1160,1
6	-30	50	184,6	469,29	181,60	1,742	1,01	3,47	15,886	73	1160,1
7	-35	50	184,6	505,18	207,35	1,801	0,89	3,03	20,298	57,2	1160,1

Pembahasan persamaan dengan temperatur evaporator -5 oC Refrigeran R450A

Berdasarkan pengambilan data pada mesin pendingin HVAC dengan menggunakan refrigeran R450A diketahui tekanan rendah sistem sebesar 212 kPa dan tekanan tinggi sebesar 1160,1 kPa. Temperatur Evaporator adalah -5 oC, temperatur refrigerant masuk kompresor adalah 45 oC, temperatur keluar kompresor adalah 116,13 oC sedangkan temperatur refrigerant masuk katup ekspansi adalah 47,69 oC (nilai konstan pada simulasi $\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) dimana sistem dianggap ideal dengan basic cycle, laju aliran refrigerant 1,500 kg/s, dan kapasitas Mesin pendingin HVAC 184,6 kW

Maka:

- ☐ Hitung nilai kalor yang dilepas di kondensor (Q_c)
- ☐ Hitung nilai kerja kompresor (W_{comp})

- Tentukan berapa nilai COP sistem tersebut

Penyelesaian :

Diketahui :

$$P_1 = 212 \text{ kPa} = 2,12 \text{ Bar}$$

$$P_2 = 1160,1 \text{ kPa} = 11,601 \text{ Bar}$$

$$\text{Mass flow refrigerant } (\dot{m}): 1,500 \text{ kg/s}$$

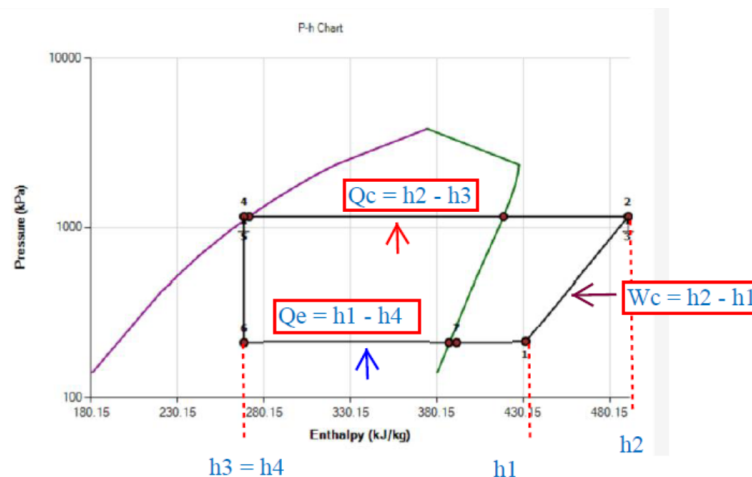
$$Q_{\text{Evaporator}} = 184,6 \text{ kW}$$

$$T_4 = -5 \text{ oC}$$

$$T_1 = 45 \text{ oC}$$

$$T_2 = 116,13 \text{ oC}$$

$$T_3 = 47,69 \text{ oC}$$



Gambar 4. Diagram P-h Produk Refrigeran R450A dengan siklus *basic cycle* pada temperatur Evaporator $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari gambar 4.2 diagram p-h diatas maka didapat nilai entalphy :

$$h_1 = 431,41 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 490,77 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 268,45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 268,45 \text{ kJ/kg}$$

Kalor yang diserap di evaporator dianggap kondisi nilainya tetap:

$$Q_{\text{Evaporator}} = 184,6 \text{ kW}$$

Kalor yang dilepas di kondensor:

$$Q_{\text{Kondensor}} = (h_2 - h_3) \times \dot{m}_{\text{Refrigeran}} \text{ (kW)}$$

$$Q_{\text{Kondensor}} = (490,77 - 268,45) \times 1,500 = 333,48 \text{ kW}$$

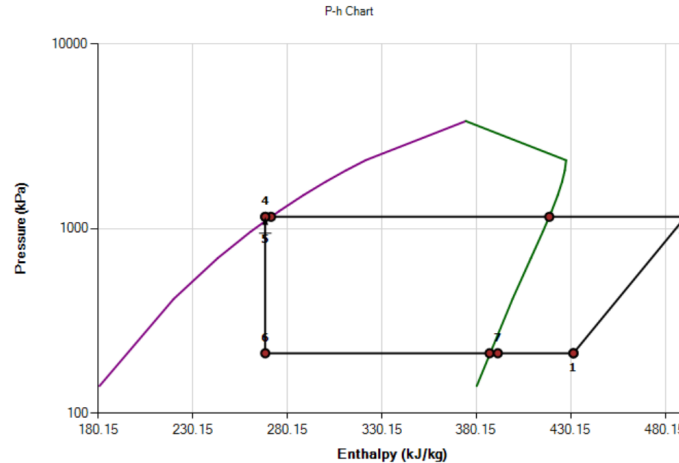
Kerja kompresor:

$$\dot{W}_{\text{Kompresor}} = (h_2 - h_1) \times \dot{m}_{\text{refrigerant}} \text{ (kW)}$$

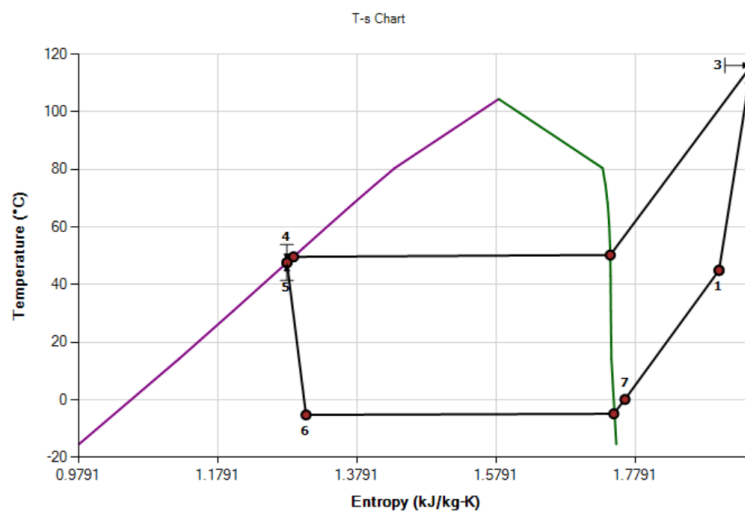
$$\dot{W}_{\text{Kompresor}} = (490,77 - 431,41) \times 1,500 = 89,04 \text{ kW}$$

Coefficient of Performance (COP) system pendingin:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{Evaporator}}}{W_{\text{Kompresor}}} = \text{COP} = \frac{184,6 \text{ kW}}{89,04 \text{ kW}} = 2,07$$



Gambar 5. Diagram P-h siklus basic cycle pada temperatur Evaporator -5 oC dengan Refrigeran R450A

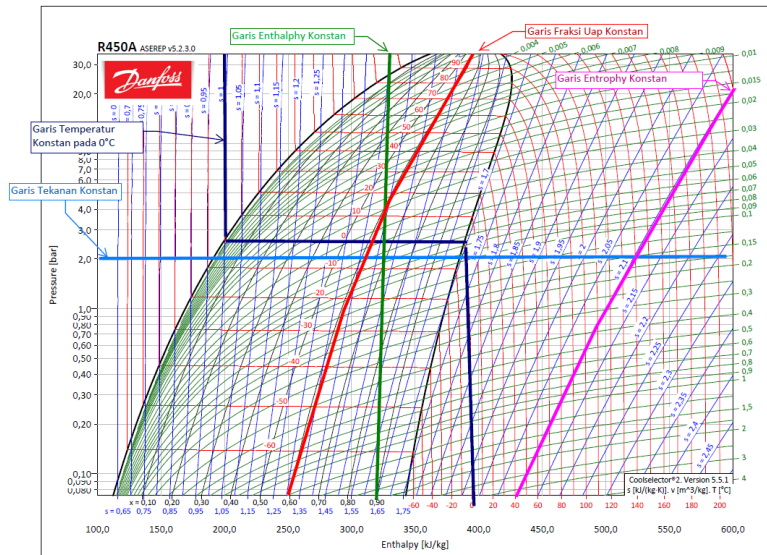


Gambar 5. Diagram T-s siklus basic cycle pada temperatur Evaporator -5 oC dengan Refrigeran R450A

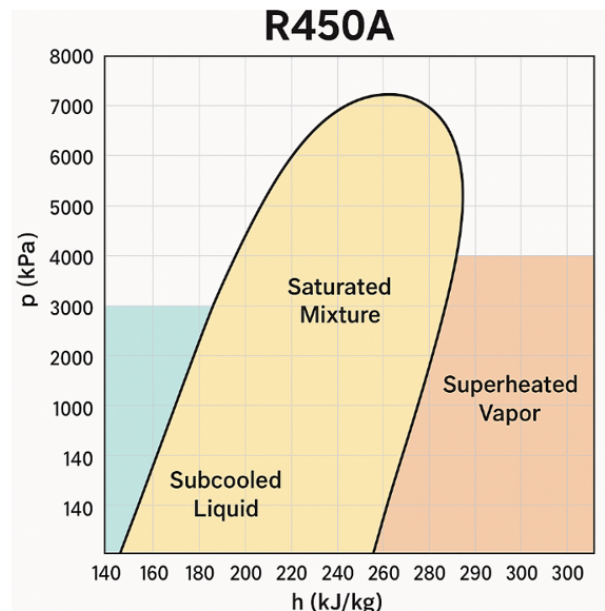
Pada gambar 5 diagram T-s sumbu x menunjukkan temperatur (T) dan sumbu y menunjukkan entropy (s) dan seperti terlihat pada gambar 4.3 diagram P-h sumbu x menunjukkan entalpy (h) dan sumbu y menunjukkan tekanan (P). Selain dua besaran tersebut terdapat garis-garis kurva lain yaitu suhu, entropi dan volume spesifik. Terdapat 3 daerah penting yang menunjukkan kondisi dari refrigeran ketika berada dalam suatu sistem refrigerasi.

Proses 1 - 2 kinerja kompresor, temperatur masuk untuk kompresor (45 oC) dan keluar (116,13 oC) dan suhu saturasi untuk masuk (116,13 oC) dan keluar (50 oC).

Kondensasi dapat dilihat pada proses 3 masuk untuk temperatur (116,13 oC) dan pada proses 4 keluar (-5 oC) dan suhu saturasi untuk masuk (50 oC) dan keluar (-5 oC). Proses ekspansi dapat dilihat pada proses 5 masuk temperatur (47,69 oC) dan proses 6 keluar temperatur (-5,2 oC) dan suhu saturasi untuk masuk (47,69 oC) dan keluar (-5,2 oC) dan Evaporasi dapat dilihat pada proses 6 masuk untuk temperatur (-5,2 oC) dan 7 keluar untuk temperatur (0,2 oC) dan suhu saturasi untuk masuk (-5,2 oC) dan keluar (-5,2 oC)



Gambar 6. Diagram P-h Refrigeran R450A
(Sumber Danfos-Coolselector®2)



Gambar 7. Diagram P-h untuk kondisi Refrigeran R450A dalam system refrigerasi.

Berikut ini daerah penting yang menunjukkan kondisi dari refrigeran ketika berada dalam suatu sistem refrigerasi seperti yang di tunjukan pada gambar 4.6

Daerah subcooled liquid

Saat posisi refrigeran keluar dari kondensor dan masuk ke katup ekspansi, kondisi refrigeran dalam fasa cair terjadi di daerah ini. Di daerah ini, garis cair jenuh menjamin kondisi refrigeran 100% cair. berada di sebelah kiri kubah (dome). Di sini, refrigeran masih berupa cairan penuh, belum mulai menguap.

Daerah campuran saturated

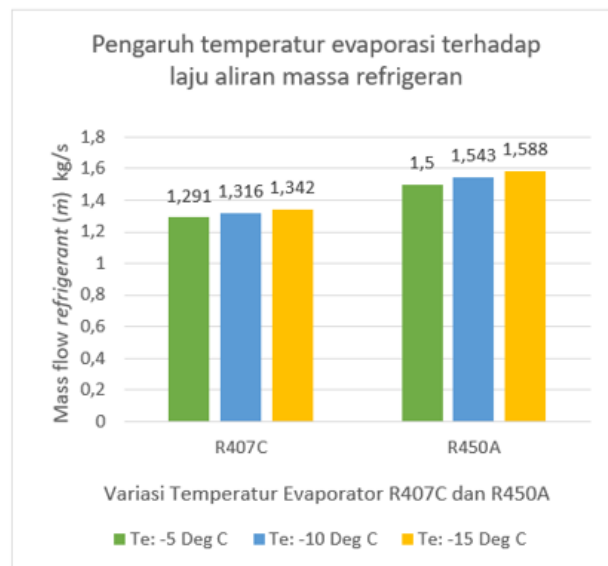
Dalam wilayah ini, ada dua jenis garis jenuh: garis cair jenuh dan uap jenuh. Ini karena refrigeran berada dalam kondisi dua fasa: cair dan uap. Letaknya di dalam kubah. Campuran antara cairan dan uap. Proses evaporasi (penguapan) dan kondensasi terjadi di sini.

Daerah superheated vapor

Uap di daerah ini dipanaskan lebih lanjut, dan garis uap jenuh menjaga kondisi refrigeran 100% uap. Letaknya di sebelah kanan kubah. Di area ini, semua zat sudah berubah menjadi uap dan mulai naik suhunya di atas titik jenuh (Caya et al., 2024; Prayogi, 2022).

Pada gambar 4.5 Selain garis-garis besar di atas dan tiga area penting yang menunjukkan kondisi refrigeran, ada kubah saturasi, yang ditunjukkan dengan garis ungu dan hijau. Di dalam kubah terdapat bagian yang menunjukkan fasa zat, yang terdiri dari gas dan cair. Di kanan kubah terdapat garis saturasi gas jenuh (gas jenuh), yang menunjukkan bahwa zat dalam keadaan jenuh gas. Jika sedikit saja ke kiri maka sudah terjadi superheated. Sedangkan Superheated adalah keadaan di mana suatu zat yang sudah dalam keadaan gas jenuh mengalami kenaikan suhu. Bagian kiri menampilkan garis saturasi cair, atau cair jenuh, di mana zat berada dalam keadaan tepat cair jenuh. Jika sedikit saja bergerak ke kanan, sebagian zat akan menguap menjadi gas, dan jika sedikit saja bergerak ke kiri, zat akan menjadi cair jenuh, dan suhunya akan turun

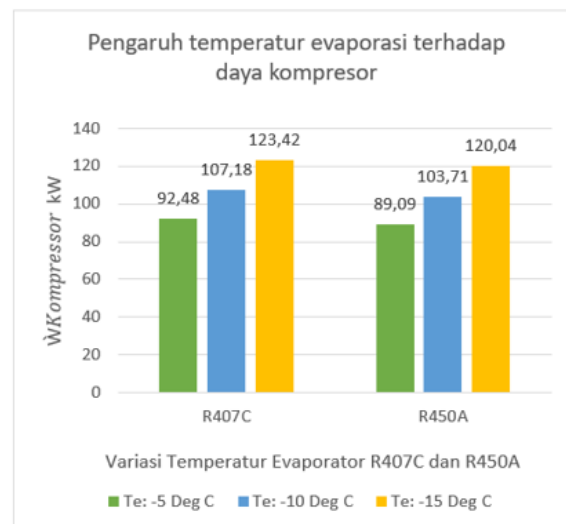
Kinerja termodinamika mesin pendingin diwakili oleh variasi suhu evaporasi dan laju aliran massa pendingin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Mesin pendingin R407C dan R450A menggunakan sistem basic cycle. Untuk refrigerant R407C dan R450A, laju aliran massa refrigerant sangat berbeda signifikan, temperatur kondensasi tetap konstan pada 50 °C, yang menunjukkan bahwa meningkatnya suhu evaporasi menyebabkan penurunan laju aliran massa refrigerant dalam sistem.



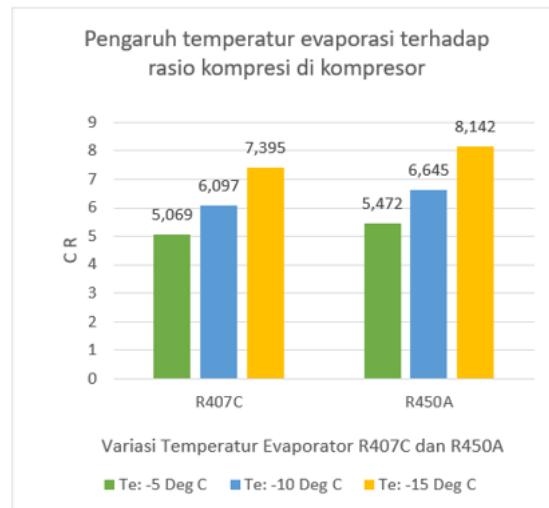
Gambar 8. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa refrigeran

Hubungan antara suhu evaporasi dan daya kompresor untuk mesin pendingin menggunakan refrigerant R407C dan R450A adalah sebagai berikut: Jika suhu evaporasi turun, daya kompresor yang dibutuhkan akan meningkat.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa nilai kedua refrigerant yang dianalisa, R407C dan R450A, tidak sama besarnya. Ini karena nilai entalpi mereka yang berbeda. Oleh karena itu, jelas bahwa R407C akan membutuhkan lebih banyak daya kompresor daripada R450A.

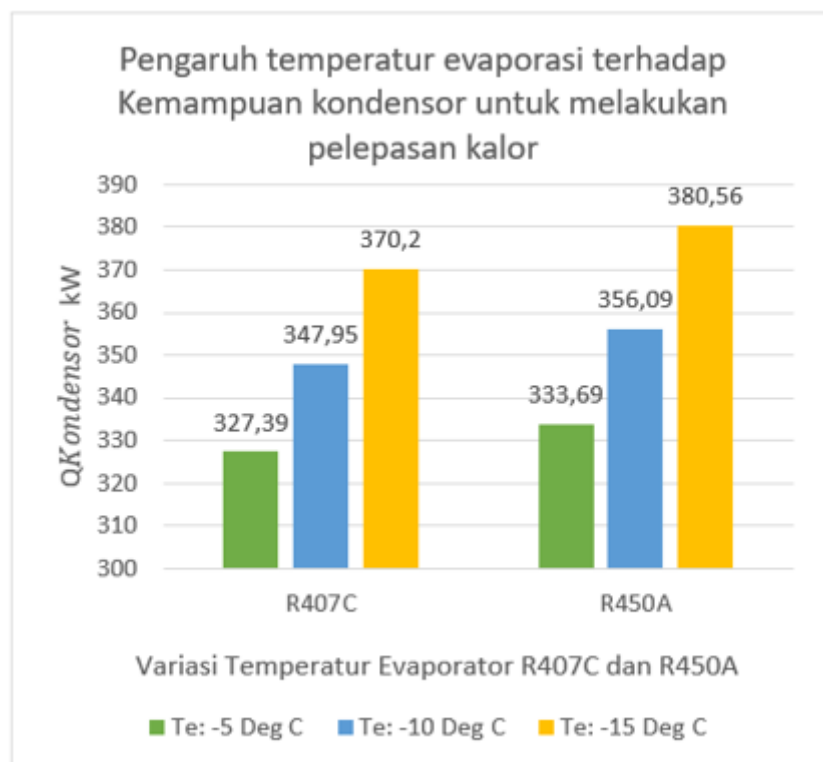


Gambar 9. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap daya kompresor



Gambar 10. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap rasio kompresi di kompresor

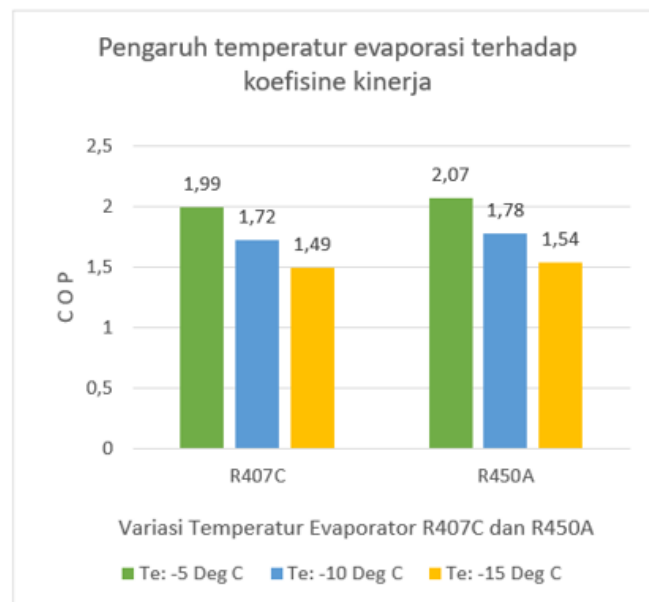
Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa, dalam hal pengaruh suhu evaporasi terhadap rasio kompresi kompresor, peningkatan suhu evaporasi akan menyebabkan penurunan rasio kompresi kompresor. Meskipun nilai rasio kompresi untuk kedua sistem yang dikaji agak berbeda, jika dilihat bersamaan dengan Tabel 1 bahwa saat pengujian kompresor untuk kedua sistem tersebut memiliki dimensi atau ukuran yang sama. dimana refrigeran R407C dan R450A menggunakan kompresor yang ukurannya sama besar yaitu kapasitas 184,6 kW



Gambar 11. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap kemampuan kondensor untuk melakukan pelepasan kalor

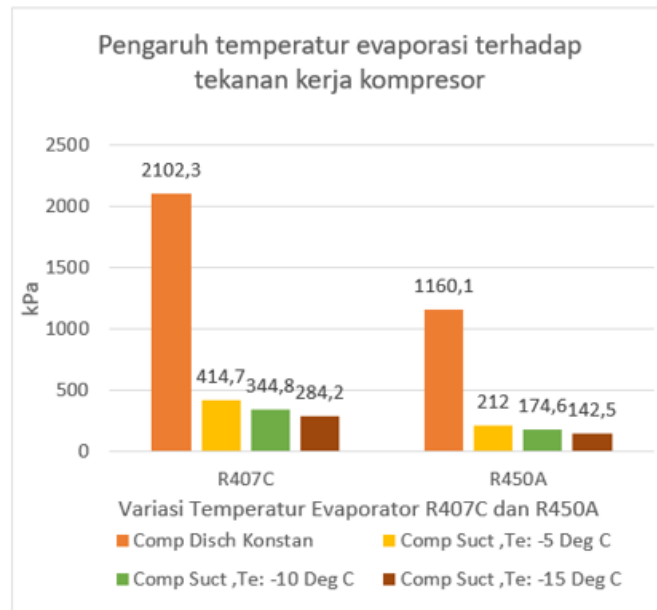
Gambar 11 menunjukkan hubungan antara suhu evaporasi dan laju pelepasan kalor di kondensor untuk refrigeran R407C dan R450A. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk desain kondensor dan untuk menghitung aliran fluida pendingin. Sebagai hasil dari peningkatan suhu evaporasi, pelepasan kalor di kondensor akan menurun. Nilai entalpi pendinginan refrigeran R450A dan R407C sedikit berbeda, sehingga nilai pelepasan kalor di kondensor R407C lebih kecil. Akibatnya, refrigeran R450A membuang lebih banyak kalor ke lingkungan daripada refrigeran R407C.

Untuk refrigeran R450A dan R407C, Gambar 4.11 menunjukkan pengaruh suhu evaporasi terhadap koefisien prestasi (COP). Ini menunjukkan bahwa koefisien kinerja kedua refrigeran meningkat seiring dengan suhu evaporasi. Nilai entalpi pendingin R450A lebih tinggi daripada R407C, yang menunjukkan bahwa pendingin R450A memiliki kinerja yang lebih baik. Ini disebabkan oleh fakta bahwa nilai entalpi kedua pendingin ini agak berbeda, karena koefisien prestasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kinerja mesin pendingin lebih baik.

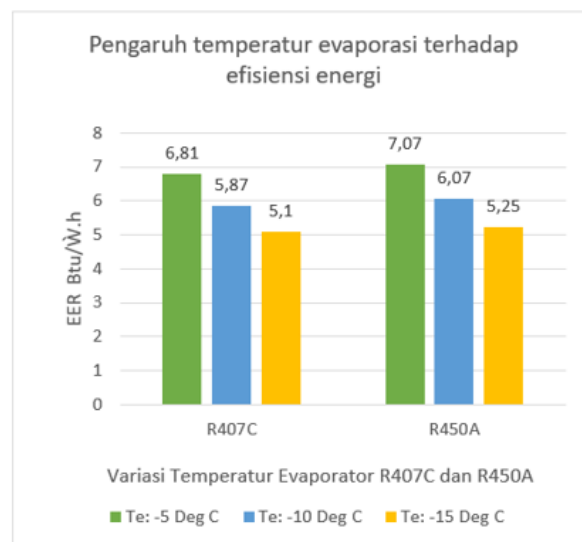


Gambar 12. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap koefisien kinerja

Pada gambar 12 menunjukan bahwa tekanan kerja masukan kompresor (Suction) dan keluaran kompresor (discharge) pada variasi temperatur evaporator memiliki perbedaan yang sangat signifikan Dimana tekanan kerja kompresor yang menggunakan refrigeran R407C lebih besar dari pada refrigeran R450A, sehingga kompresor yang menggunakan refrigeran R450A memiliki tekanan kerja yang lebih kecil, ini sangat diperlukan dalam desain peralatan atau system pendingin apabila membutuhkan opsi tekanan kerja yang lebih rendah atau sesuai. pengaturan tekanan kerja yang optimum dari suatu kompresor, hal ini untuk menghindari kebocoran atau kegagalan operasi mesin pendingin lebih lanjut.



Gambar 13. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap tekanan kerja kompresor



Gambar 14. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi energi

Gambar 14 menunjukkan bagaimana suhu evaporasi mempengaruhi rasio efisiensi energi ($EER = \text{Energy Efficiency Ratio}$ dengan satuan $\text{Btu}/\text{W.h}$) dari kedua refrigeran R407C dan R450A. Terlihat bahwa EER refrigeran R407C dan R450A meningkat seiring dengan suhu evaporasi yang lebih tinggi. Disebabkan nilai enthalpy refrigerant R450A memiliki EER yang lebih tinggi daripada refrigeran R407C, yang menunjukkan bahwa pendingin R450A bekerja lebih efisien. Karena nilai entalpi refrigeran yang lebih besar dari kedua refrigerant tersebut, refrigeran R450A yang menggunakan basic cycle refrigeration akan lebih hemat energi. Ini karena nilai EER yang lebih tinggi akan menghemat lebih banyak energi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, R450A menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan R407C dalam sistem pendingin HVAC, dengan efisiensi isentropik COP aktual yang lebih tinggi (2,072 vs 1,996), Energy Efficiency Ratio (EER) yang lebih besar (7,07 Btu/W.h), serta konsumsi daya kompresor yang lebih rendah dan aliran massa yang lebih besar. Selain itu, R450A memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang lebih rendah, sehingga lebih ramah lingkungan, serta tekanan kerja yang lebih rendah, yang berkontribusi pada pengurangan risiko kebocoran dan peningkatan keandalan operasional. Berdasarkan temuan ini, disarankan agar penelitian selanjutnya mencakup evaluasi kinerja jangka panjang R450A dalam berbagai kondisi operasional, analisis biaya retrofit secara menyeluruh, kajian dampak lingkungan melalui Life Cycle Assessment, pengujian pada sistem HVAC skala nyata, eksplorasi integrasi dengan energi terbarukan, serta simulasi dinamis menggunakan perangkat lunak termodinamika untuk menguji potensi efisiensi dan keberlanjutan R450A secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M. F., Budiono, G., Hariadi, B., Setyadjit, K., & Yuliananda, S. (2021). Audit Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Ruangan dalam Upaya Efisiensi Energi Listrik di Gedung Perkantoran PT. Varia Usaha Beton Plant Tambakoso Waru. *El Sains Jurnal Elektro*, 3(2). <https://doi.org/10.30996/elsains.v3i2.5991>
- Anam, A. N. (2022). Perbandingan Penggunaan Refrigeran R-410a Dan Musicool-22 Melalui Proses Retrofit Pada Ac Merk Daikin 2 Pk. *Skripsi*.
- Arora, R. C. (2012). *Refrigeration and air conditioning*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Brain, W., Windiyaningsih, C., & Istiqlal, H. (2023). Analisis Implementasi Metode Prototyping Pada Sistem Informasi Pemeliharaan Alat Pendingin di Rumah Sakit Khusus Daerah Duren Sawit. *Jurnal Manajemen Dan Administrasi Rumah Sakit Indonesia (MARSI)*, 7(1). <https://doi.org/10.52643/marsi.v7i1.2932>
- Caya, N. F., Daniar, R., & Tahdid, T. (2024). Efisiensi Termal Water Tube Boiler Ditinjau Dari Rasio Udara Bahan Bakar Solar Dan Water Level Control Pada Produksi Superheated Steam. *Jurnal Penelitian Sains*, 26(3), 290–297.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). *Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and applications*. Academic Press.
- Fauzi, A. (2020). *Pentingnya Faktor Lingkungan ODP dan GWP Dalam Pemilihan Refrigeran*. BPPSDM MekanisasiKP Bantul.
- Hendri, Prayudi, & Nurhasanah, R. (2014). Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Ruangan Dengan Refrigeran R134a dan MC 134. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*, 13(October).
- Isnanda, I., Rosa, Y., Adril, E., & Feidihal, F. (2019). Pengaruh Retrofit Refrigeran CFC-12 Dengan HCR-12 Terhadap Kinerja Refrigerator Domestik dan Perawatannya. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(2). <https://doi.org/10.30630/jtm.12.2.232>
- Khazaii, J., & Khazaii. (2016). *Advanced Decision Making for HVAC Engineers*. Springer.
- Mendoza-Miranda, J. M., Mota-Babiloni, A., & Navarro-Esbrí, J. (2016). Evaluation of R448A and R450A as low-GWP alternatives for R404A and R134a using a micro-fin tube evaporator model. *Applied Thermal Engineering*, 98, 330–339.

- Mutaufiq, Sulistyo, 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). <https://doi.org/10.26874/jt.vol20no2.419>
- Prayogi, U. (2022). Analisa Perbandingan Global Warming Potential (Gwp) Dan Ozone Depletion Potential (Odp), Pada Refrigeran R32, R290, R407c, R410a, Sebagai Pengganti R22. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 11(1), 14–20.
- Prihatmoko, D. (2016). Perancangan Dan Implementasi Pengontrol Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 7(1). <https://doi.org/10.24176/simet.v7i1.495>
- Reddy, T., Kreider, J. F., Curtiss, P. S., & Rabl, A. (2016). *Heating and cooling of buildings: principles and practice of energy efficient design*. CRC press.
- Stanford III, H. W., & Spach, A. F. (2019). *Analysis and design of heating, ventilating, and air-conditioning systems*. CRC Press.
- Temaja, I. W., Ery Arsana, M., & Ike Midiani, L. P. (2018). Kajian Eksperimental Campuran R-32/R-290 Pengganti Refrigeran R-32 Pada Ac Split Domestik. *Matrix*, 8(3).
- Yang, H., & Li, H. (2010). A generic rating-data-based (grdb)dx coils modeling method. *HVAC and R Research*, 16(3). <https://doi.org/10.1080/10789669.2010.10390908>
- Yıldırım, R., Akyüz, A., Kumaş, K., Tuncer, A. D., & Gungor, A. (2025). A comprehensive overview of refrigerants from the past to the modern day: energy, exergy, and environmental perspectives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1–23.