

Studi Eksperimen Dan Simulasi Termodinamika Mini Refrigerator

Firdaut Loja Dama¹, Dominggus G.H Adoe¹, Matheus M. Dwinanto^{1*}

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: matheus.dwinanto@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Mesin pendingin rumah tangga refrigerator (lemari es) merupakan peralatan rumah tangga yang banyak dipakai dalam keluarga di Indonesia. Namun penggunaan fluida kerja masih menggunakan jenis fluida kerja menimbulkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur evaporasi terhadap koefisien kerja dan efisiensi eksergi dengan menggunakan fluida kerja R600a sebagai fluida yang ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Cooltols*. Hasil penelitian menunjukkan dengan peningkatan temperatur evaporasi berdampak pada peningkatan koefisien kerja, kalor yang diserap evaporator tetapi menurunkan daya kompresor, dan kalor yang dilepas kondensor. Peningkatan penghancuran eksergi paling besar terdapat di evaporator serta efisiensi eksergi semakin meningkat. Sehingga R600a sangat cocok digunakan pada lemari es.

ABSTRACT

Household refrigeration machines (fridges) are household appliances that are widely used in families in Indonesia. However, the use of working fluids still uses this type of working fluid which causes thinning of the ozone layer and global warming. Therefore, this research aims to analyze the effect of evaporation temperature on work coefficient and exergy efficiency by using R600a working fluid as an environmentally friendly fluid. This research uses experimental and simulation methods using Cooltols software. The research results show that increasing the evaporation temperature has an impact on increasing the work coefficient, the heat absorbed by the evaporator but reducing the compressor power, and the heat released by the condenser. The greatest increase in exergy destruction is found in the evaporator, where exergy efficiency increases. So R600a is very suitable for use in refrigerators.

Keywords: R600a, refrigerator, exergy efficiency, COP, evaporation temperature

PENDAHULUAN

Mesin pendingin rumah tangga refrigerator (lemari es) merupakan peralatan rumah tangga yang banyak dipakai dalam keluarga di Indonesia. Yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan makanan agar tetap awet dan tahan lama, selain itu juga digunakan untuk membuat air dingin atau es[1].

Refrigerator terdapat beberapa komponen utama yaitu kompresor, kondensor, ekspansi, evaporator, dan refrigeran yang merupakan fluida kerja. Refrigeran adalah zat yang bertindak sebagai agen pendingin dengan cara menyerat panas dari zat atau benda lain. Rusaknya lapisan ozon dan efek pemanasan global disebabkan oleh

penggunaan refrigeran yang mengandung unsur klorin (Cl) dan flourin (F). Sumber unsur klorin dan flourin dapat berupa refrigeran golongan CFC (*Cloro Flour Carbon*) yang mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan dan keterbatasan air bersih, kerusakan rantai makanan di laut, musnahnya ekosistem terumbu karang, dan sumber daya laut lainnya, menurunnya hasil produksi pertanian yang dapat mengganggu ketahanan pangan dan bencana alam[2].

Salah satu solusi yang mungkin untuk menghindari CFC dan HCFC adalah penggunaan refrigerant alami seperti hidrokarbon salah satunya adalah isobotana (R600a). refrigeran R600a telah diidentifikasi sebagai refrigeran masa depan yang memiliki

kompatibilitas mineral konvensional ramah lingkungan, biaya yang rendah, ketersediaan yang sangat besar, serta kelarutan yang sangat baik. Hidrokarbon memiliki sifat fisika, kimia, dan termodinamika yang baik yaitu hemat energi[3].

Pengaruh muatan massa refrigeran dengan menggunakan karakteristik kinerja yang meliputi koefisien kinerja, efek pendingin dan memasukkan kerja kompresor. Refrigeran hidrokarbon yang dipilih yaitu R600a adalah jenis yang ramah lingkungan, dengan potensi penipisan ozon nol dapat dicampur dengan minyak mineral. Berdasarkan hasil uji eksperimen, muatan refrigeran 15 g layak untuk menjalankan sistem refrigerasi kompresi uap yang dikembangkan secara efisien dibawah suhu ruangan normal di daerah tropis[4].

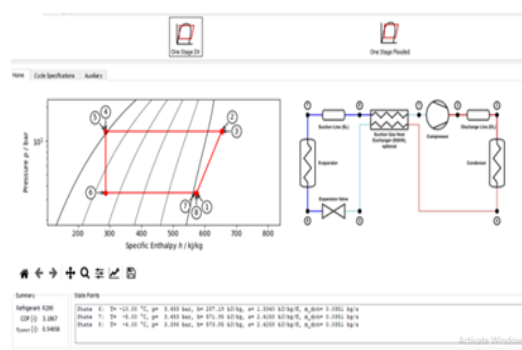
Investigasi eksperimen COP menggunakan hidrokarbon refrigeran di kulkas domestik. Dalam penelitian tersebut menggunakan isobotana (R600a) yang digunakan sebagai refrigeran di kulkas domestik, pada penelitiannya digunakan untuk menggantikan R124a sebagai refrigerannya. Mereka menguji kinerja lemari es dengan mengisi 70 g R600a dan memeriksa kinerjanya. Eksperimen telah dilakukan dibawa beban yang berbeda dimana pembacaan suhu sebagai komponen dengan bantuan thermometer digital pada interval masing – masing 5 menit. Tekanan refrigeran awalnya 5 psi dan perubahannya tidak signifikan. Mereka menemukan bahwa pembacaan avometer berkisar antara 0,5 A hingga 1 A dan pembacaan voltmeter berfluktuasi dalam kisaran 210 V hingga 220 V untuk perhitungan lebih lanjut mereka mengambil nilai 0,5 A dan 215 V karena nilai-nilai tersebut lebih konsisten. Namun dari pandangan COP sedikit berbeda dengan R134a tetapi COP R600a dapat ditingkatkan dengan beberapa teknik. Hasil pengujiannya menyatakan bahwa R600a adalah refrigeran yang ramah lingkungan[5].

Eksperimen pada kinerja kulkas rumah tangga dengan campuran R290/R600a dibawah perbedaan suhu sekitar. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa R290/R600a memberikan kinerja yang lebih baik dalam COP dan bisa menjadi alternatif jangka panjang terbaik untuk menghapus R134a[6]. Oleh karena itu, peneliti menggunakan metode eksperimen dan simulasi dengan perangkat lunak Cooltools dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Studi eksperimen dan simulasi termodinamika mini refrigerator dengan perangkat lunak *Cooltools* versi 1.0.4. *Cooltools* adalah kumpulan model simulasi untuk sistem pendingin dan masing-masing memiliki tujuan tertentu seperti analisis siklus, ukuran komponen utama, analisis energi dan optimasi. *Cooltools* masih dalam pengembangan tetapi bertujuan untuk menjadi pengganti perangkat lunak *Coolpack* lama yang mendukung model pendingin dan siklus baru. Model pengondisian udara kompresi uap dalam perangkat lunak *cooltools* di sajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik sistem kompresi uap pada cooltools.

Hubungan kekekalan energi untuk setiap komponen dapat dinyatakan sebagai berikut:

a. Daya kompresi pada kompresor adalah :

$$W_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

- b. Kondensor terjadi proses kondensasi yaitu perubahan fasa refrigeran dari gas ke cair maka nilai kalor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_c = m(h_2 - h_3) \quad (2)$$

- c. Proses ekspansi terjadi pada katub ekspansi untuk menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran, maka dihitung dengan persamaan:

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

- d. Pada evaporator terjadi proses evaporasi yaitu proses penyerapan kalor oleh refrigeran, dihitung dengan persamaan:

$$Q_e = m(h_1 - h_4) \quad (4)$$

- e. Efisiensi termal sistem kompresi uap dihitung dengan persamaan:

$$\eta_{Comp} = \frac{\dot{W}_{isent}}{W} = \frac{h_2s - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

- f. Koefisien kinerja sistem merupakan rasio kapasitas pendinginan terhadap kerja kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

Beberapa parameter dan asumsi dalam studi ini disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut:

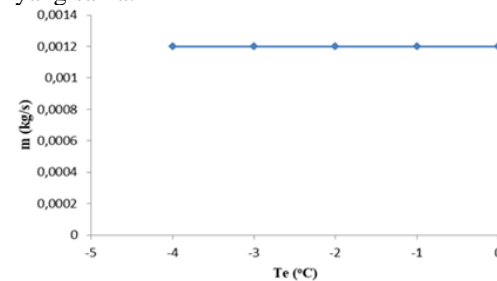
Tabel 1. Parameter-parameter penelitian.

Parameter	Satuan	Nilai
Kapasitas pendingin	kW	0,3
Temperatur evaporasi	°C	-4 – 0
Temperatur kondensa	°C	44,5
Temperatur <i>subcooling</i>	°C	7,75-15
Temperatur <i>superheating</i>	°C	58-61,3
Temperatur	-	0,8
Rugi kalor kompresor	%	10

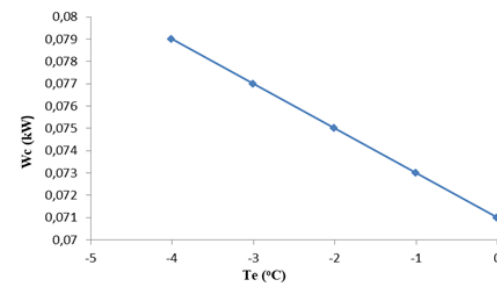
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan koefisien energi

Pengaruh temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa fluida R600a pada sistem kompresi uap mini refrigerator dengan masing-masing temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi dipertahankan konstan 44,5 oC. Pada gambar 2 terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi mengakibatkan laju aliran massa fluida tetap konstan, demikian sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh laju aliran pada mini refrigerator bersifat steady state atau alirannya bersifat konstan atau tidak berubah dalam selang waktu tertentu. Laju aliran massa refrigeran juga berpengaruh pada perbedaan nilai entalpi yang semakin besar pada keluar evaporator dan nilai entalpi pada masuk evaporator yang tetap untuk tekanan yang sama.



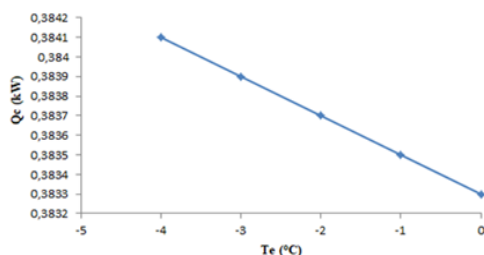
Gambar 2. Temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa.



Gambar 3. Temperatur evaporasi terhadap kerja kompresor.

Pada gambar 3 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap kerja kompresor. Pada gambar menunjukkan bahwa

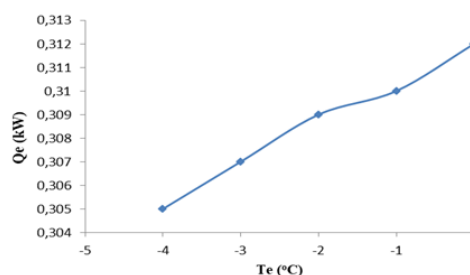
semakin meningkat temperatur evaporasi maka semakin menurun kerja kompresor. Hal ini disebabkan pada perubahan entalpi keluar yang semakin tinggi sedangkan entalpi masuk semakin rendah pada saat temperatur evaporasi meningkat. Daya kompresor merupakan masukan energi terbesar yang dibutuhkan untuk mensirkulasikan sejumlah tertentu massa refrigeran sehingga proses penyerapan kalor di evaporator dan pelepasan kalor di kondensor dapat berlangsung dalam sistem. Secara umum kapasitas pendingin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu evaporator dan penurunan suhu kondensor. Oleh karena itu, kapasitasnya akan paling besar bila suhu evaporator dan kondensor diminimalkan.



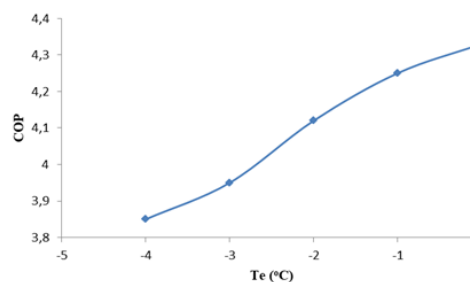
Gambar 4. Temperatur evaporasi terhadap kalor yang diserap di kondensor.

Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka laju pelepasan kalor di kondensor akan menurun, begitupun sebaliknya. Rasio pelepasan kalor adalah perbandingan antara kalor yang dibuang kondensor dibandingkan dengan kalor yang diserap evaporator. Pelepasan kalor kondensor lebih kecil daripada kalor yang diserap evaporator. Hal ini disebabkan karena beban pendingin pada evaporator.

Pada gambar 5 menyajikan pengaruh temperatur evaporasi terhadap kapasitas laju aliran evaporator dimana pada gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka semakin meningkat kalor yang diserap evaporator, begitupun sebaliknya. Nilai pelepasan kalor pada evaporator diperlukan untuk menghitung koefisien kinerja sistem.



Gambar 5. Temperatur evaporasi terhadap kalor yang diserap evaporator



Gambar 6. Temperatur evaporasi terhadap koefisien kerja

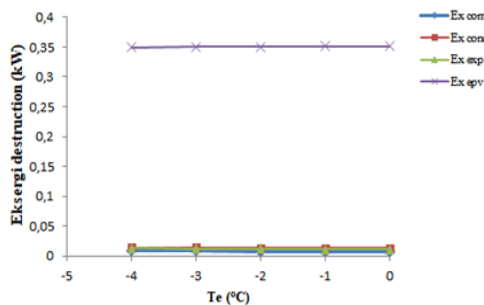
Gambar 6 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap koefisien kinerja (COP). Dalam gambar tersebut terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka koefisien kinerja juga akan meningkat, begitupun sebaliknya. Temperatur evaporasi memiliki pengaruh yang besar terhadap kinerja sistem refrigerasi. Nilai koefisien kinerja berpengaruh pada daya kompresi pada kompresor, semakin besar daya kompresi maka koefisien kinerja semakin kecil. Koefisien kinerja meningkat karena daya listrik yang diserap kompresor menurun sedangkan beban pendingin meningkat.

Analisis Efisiensi Eksergi

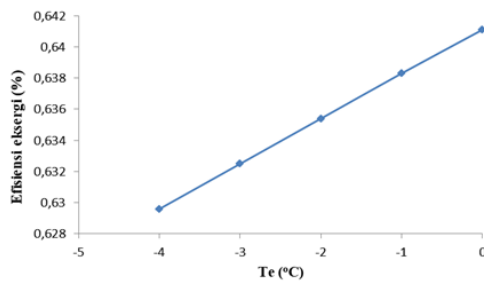
Pengaruh peningkatan temperatur evaporasi terhadap eksergi kompresor dengan fluida kerja R600a dalam sistem kompresi uap dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan 44,5 °C. Untuk eksergi pada setiap komponen disajikan pada gambar 7 dimana gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan

meningkatnya temperatur evaporasi maka kehancuran eksergi pada setiap komponen pada sistem kompresi uap skala kecil, kehancuran eksergi paling besar terjadi di evaporator, sedangkan komponen lain memiliki kehancuran eksergi paling sedikit. Hal ini disebabkan perbedaan suhu antara suhu ruang dingin dan suhu evaporator yang makin menurun.

Perbedaan suhu yang lebih tinggi menyebabkan eksergi yang lebih tinggi. Dalam penelitian Kabul dkk, menyatakan bahwa pada saat yang sama tingkat eksergi kondensor tampak jauh lebih sedikit daripada evaporator. Alasannya adalah refrigeran mengalami proses penambahan panas yang hampir isothermal selama perubahan fasa di evaporator dengan perbedaan suhu yang relatif antara evaporator dan ruang dingin[7].



Gambar 7. Temperatur evaporasi terhadap kehancuran eksergi.



Gambar 8. Temperatur evaporasi terhadap efisiensi eksergi.

Ahamed menemukan bahwa kerugian eksergi lebih tinggi terjadi pada kondensor

dari pada evaporator[8]. Demikian juga dengan Joybari juga menemukan bahwa kehancuran eksergi lebih tinggi terjadi pada kompresor diikuti kondensor[9]. Berbeda dengan hasil penelitian mereka, dalam studi eksperimen dan studi simulasi termodinamika mini refrigerator ini ditemukan bahwa kehancuran eksergi paling besar adalah evaporator daripada kehancuran eksergi kondensor. Hal ini disebabkan oleh perpindahan kalor yang terjadi antara medium yang didinginkan oleh refrigeran pada evaporator dan menghasilkan entropi. Nilai entropi yang dihasilkan oleh evaporator lebih besar daripada entropi yang dihasilkan kondensor.

Hubungan antara temperatur evaporasi terhadap efisiensi sistem disajikan pada gambar 8. Terlihat pada gambar dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka efisiensi juga meningkat. Efisiensi eksergi sistem didapatkan dari pembagian antara COP aktual dengan COP Carnot. Telah dibahas bahwa kenaikan temperatur evaporasi maka COP aktual dan COP Carnot akan cenderung naik. Karena hal itu tersebut maka efisiensi sistem akan naik. Nilai efisiensi berbanding terbalik antara COP aktual dengan COP Carnot dimana semakin besar COP Carnot maka semakin kecil efisiensi sistem, sedangkan semakin besar COP aktual maka semakin besar efisiensi eksergi pada sistem.

KESIMPULAN

Dari data hasil eksperimen dan simulasi pada mini refrigerator dengan fluida kerja R600a, maka didapat kesimpulan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon seperti isobotana atau R600a pada sistem bekerja dengan baik. Pada penelitian ini ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut : Untuk koefisien kinerja sistem terhadap pengaruh temperatur evaporasi akan sangat berdampak pada penurunan kerja kompresor dan kalor yang di lepas oleh kondensor, tetapi

meningkatkan kalor yang diserap evaporator dan koefisien kinerja pada sistem juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan perbedaan entalpi keluar dan entalpi masuk pada setiap komponen mini refrigerator. Untuk eksergi *destruction* yang dipengaruhi temperatur evaporasi, kehancuran eksergi paling besar terjadi pada evaporator diikuti kondensor sedangkan kompresor memiliki kehancuran eksergi paling rendah. Temperatur evaporasi menyebabkan efisiensi eksergi meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Poernomo, "Analisis karakteristik unjuk kerja sistem pendingin (air conditioning) yang menggunakan freon r-22 berdasarkan pada variasi putaran kipas pendingin kondensor," vol. 12, 2015.
- [2]. A. Rozaq, N. A. Siddiq, K. Putra, dan S. Muyasaroh, "Studi eksperimental nanorefrigeran tio2-R600a sebagai refrigeran masa".
- [3]. T. Yusof dan A. Yusoff, "Analisis pengisian refrigerant charge yang optimal dari mini bar refrigerator menggunakan metode eksperimental," Jul 2011.
- [4]. S. O. Banjo, B. O. Bolaji, O. O. Ajayi, B. P. Olufemi, I. Osagie, dan A. O. Onokwai, "Performance enhancement using appropriate mass charge of R600a in a developed domestic refrigerator," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 331, no. 1, hlm. 012025, Sep 2019.
- [5]. A. Peyyala dan N. V. V. S. Sudheer, "Experimental Investigation of COP Using Hydro Carbon Refrigerant in a Domestic Refrigerator," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 225, hlm. 012236, Agu 2017.
- [6]. S. Ronald, D. Matheus, dan T. Adi, "studi kinerja teoritis pengkondisian udara menggunakan R32,R290,R410a," hlm. 7, 2022.
- [7]. A. Kabul, Ö. Kizilkan, dan A. K. Yakut, "Performance and exergetic analysis of vapor compression refrigeration system with an internal heat exchanger using a hydrocarbon, isobutane (R600a)," *Int. J. Energy Res.*, vol. 32, no. 9, hlm. 824–836, Jul 2008.
- [8]. J. U. Ahamed, R. Saidur, H. H. Masjuki, dan M. A. Sattar, "An Analysis of Energy, Exergy, and Sustainable Development of a Vapor Compression Refrigeration System Using Hydrocarbon," *International Journal of Green Energy*, vol. 9, no. 7, hlm. 702–717, Okt 2012.
- [9]. M. M. Joybari, M. S. Hatamipour, A. Rahimi, dan F. G. Modarres, "Exergy analysis and optimization of R600a as a replacement of R134a in a domestic refrigerator system," *International Journal of Refrigeration*, vol. 36, no. 4, hlm. 1233–1242, Jun 2013