

# Perbandingan Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap menggunakan Refrigeran *Dimethyl Ether* (DME) dan R134a

Widya Putri Nur Padilla<sup>1,\*</sup>, Windy Hermawan Mitrakusuma<sup>2</sup>, Bowo Yuli Prasetyo<sup>3</sup>, Sri Murniati<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

E-mail: <sup>1,\*</sup>widya.putri.tptu419@polban.ac.id@polban.ac.id; <sup>2</sup>windyhm@polban.ac.id; <sup>3</sup>bowo\_yuli@polban.ac.id; <sup>4</sup>sri.murniati@polban.ac.id

## ABSTRAK

Refrigeran R134a mengandung *Hydrofluorocarbon* (HFC) dengan nilai *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 1430 perlu dicarikan alternatif pengganti dengan karakteristik yang serupa, di antaranya *Dimethyl Ether* (DME/RE170). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan refrigeran R134a dengan DME dengan melakukan simulasi pada sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan *software Reference Fluid and Transport Properties* (REFPROP) versi 10.0.0.98 dengan variasi temperatur kondensasi, temperatur evaporasi, *subcooled*, *superheated*, efisiensi isentropik dan penggunaan *Liquid to Suction Heat Exchanger* (LSHX). Pada keadaan temperatur kondensasi yang sama, efisiensi sistem refrigerasi yang menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 7,51%. Pada keadaan temperatur evaporasi yang sama, efisiensi sistem refrigerasi menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 7,61% dibandingkan R134a. Pada temperatur *subcooled* yang sama, efisiensi sistem refrigerasi yang menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 4,99% dibandingkan R134a. Pada temperatur *superheated* yang sama, efisiensi sistem refrigerasi yang menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 5,57% dibandingkan R134a. Pada nilai efisiensi isentropik yang sama, efisiensi sistem refrigerasi yang menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 8,80% dibandingkan R134a. Pada sistem yang menggunakan LSHX dengan temperatur *superheated* yang sama, efisiensi sistem refrigerasi yang menggunakan DME rata-rata lebih tinggi 2,86% dibandingkan R134a. Dengan demikian, refrigeran DME dapat dijadikan refrigeran alternatif untuk menggantikan R134a karena rata-rata menghasilkan efisiensi sistem yang lebih tinggi.

## Kata Kunci

*Simulasi, Dimethyl Ether (DME), R134a, REFPROP, Sistem Refrigerasi Kompresi Uap*

## 1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan zaman saat ini berdampak pada dibutuhkannya sistem yang dapat memenuhi kenyamanan termal di berbagai sektor, mulai dari sektor rumah tangga hingga transportasi. Salah satu sistem yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut adalah sistem refrigerasi kompresi uap yang memiliki empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Hal terpenting lainnya ialah adanya media pendingin yang mengalir dalam sistem yang disebut refrigeran.

Refrigeran merupakan fluida yang digunakan untuk perpindahan panas dalam sistem refrigerasi yang berfungsi menyerap panas pada temperatur dan tekanan yang rendah kemudian memindahkannya pada temperatur dan tekanan fluida yang tinggi, biasanya terjadi perubahan fasa pada fluida.[1].

Penggunaan refrigeran *hydrochlorocarbon* (HFC) sudah banyak dilarang di bidang industri di seluruh dunia. Hal tersebut terjadi karena refrigeran HFC memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang tinggi sehingga menyebabkan

kerusakan lingkungan. Kerusakan tersebut adalah pemanasan global.[2]. Salah satu refrigeran hidrokarbon yang memiliki sifat termodinamika yang baik serta ramah lingkungan adalah *Dimethyl Ether* (DME/RE170).[3]. DME memiliki nilai *Ozone Depleting Potential* (ODP) sebesar 0 dan GWP sebesar 1 serta *atmospheric lifetime* selama 6 hari.[4].

Akan tetapi refrigeran DME masih belum banyak digunakan dan masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Berdasarkan penjelasan tersebut, untuk mengetahui refrigeran yang memiliki performansi terbaik dilakukan perbandingan data kinerja pada sistem refrigerasi dengan

memvariasikan refrigeran R134a dan DME menggunakan aplikasi REFPROP sebagai basis pengambilan data sifat termodinamika refrigeran.

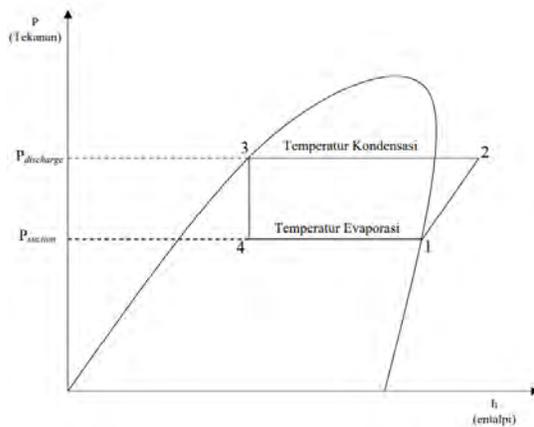
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

1. kinerja sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran DME agar dapat menggantikan R134a;
2. kelebihan dan kekurangan refrigeran DME dibandingkan R134a.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap memiliki empat komponen utama, yaitu kompresor sebagai tempat terjadinya proses kompresi atau menaikkan tekanan refrigeran, kondensor sebagai tempat terjadinya kondensasi atau tempat pelepasan kalor dari refrigeran ke lingkungan, alat ekspansi sebagai tempat terjadinya proses ekspansi atau penurunan tekanan refrigeran, dan evaporator sebagai tempat terjadinya proses evaporasi atau penyerapan kalor dari kabin yang dikondisikan.



Gambar 1. Diagram P-h sistem refrigerasi kompresi uap

#### Proses Kompresi (1 – 2)

Proses kompresi merupakan proses menaikkan tekanan refrigeran yang berlangsung secara isentropik (entropi konstan). Kondisi awal refrigeran saat memasuki kompresor adalah uap jenuh dengan tekanan rendah lalu keluar menjadi uap bertekanan tinggi. Untuk mengetahui besarnya kerja yang dilakukan oleh kompresor adalah

$$q_w = h_1 - h_2 \quad (1)$$

#### Proses Kondensasi (2 – 3)

Proses kondensasi merupakan proses pelepasan kalor dari refrigeran ke lingkungan yang terjadi di kondenser. Pada proses ini, terjadi perubahan fasa refrigeran dari uap menjadi cair jenuh. Proses ini juga terjadi secara isobar (tekanan konstan). Untuk mengetahui besarnya kalor yang dilepaskan di kondenser adalah

$$q_k = h_2 - h_3 \quad (1)$$

#### Proses Ekspansi (3 – 4)

Proses ekspansi merupakan proses penurunan tekanan refrigeran yang diakibatkan oleh hambatan aliran pada alat ekspansi (*throttling device*). Proses ini terjadi secara isoentalpi (entalpi konstan). Karena proses yang terjadi isoentalpi, maka dapat disimpulkan bahwa

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

#### Proses Evaporasi (4 – 1)

Proses evaporasi merupakan proses penyerapan kalor dari kabin/ruangan yang dikondisikan. Selain itu, terjadi perubahan fasa refrigeran dari air menjadi uap jenuh. Proses ini terjadi secara isobar (tekanan konstan). Untuk mengetahui jumlah kalor yang diserap selama proses evaporasi yaitu

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (4)$$

### 2.2 Kinerja Sistem Refrigerasi

#### COP<sub>carnot</sub>

COP<sub>carnot</sub> merupakan nilai COP maksimum yang dapat dicapai oleh suatu mesin refrigerasi. Untuk mengetahui nilai COP<sub>carnot</sub> adalah sebagai berikut

$$COP_{carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (4)$$

#### COP<sub>aktual</sub>

COP<sub>aktual</sub> merupakan nilai COP sebenarnya yang dapat dicapai oleh mesin refrigerasi. Untuk mengetahui nilai COP<sub>aktual</sub> adalah sebagai berikut

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{q_w} \quad (5)$$

#### Efisiensi Sistem Refrigerasi ( $\eta$ )

Efisiensi sistem refrigerasi merupakan hasil perbandingan antara COP<sub>aktual</sub> dengan COP<sub>carnot</sub>. Untuk mendapatkan nilai efisiensi sistem refrigerasi adalah sebagai berikut

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \quad (6)$$

### 2.3 Faktor yang Memengaruhi Kinerja Sistem

1. Perubahan temperatur kondensasi
2. Perubahan temperatur evaporasi
3. Perubahan temperatur subcooled
4. Perubahan temperatur superheated
5. Perubahan efisiensi isentropik
6. Pengaruh penggunaan LSHX pada sistem

### 2.4 Refrigeran yang digunakan

#### 2.4.1 Dimethyl Ether (DME/RE170)

*Dimethyl Ether* (DME/RE170) merupakan refrigeran ramah lingkungan, tidak berpotensi merusak lapisan ozon dan tidak mengakibatkan efek rumah kaca. Selain itu, hampir tidak beracun, dan mudah didapatkan sehingga relatif murah. Sedangkan untuk kekurangan yang dimiliki oleh DME adalah mudah terbakar. Berikut adalah karakteristik refrigeran DME.

Tabel 1. Karakteristik Refrigeran *Dimethyl Ether*

Nama	<i>Dimethyl Ether</i> , DME, RE170
NBP	-24,78°C
<i>Critical Temperature</i>	127,23°C
<i>Critical Pressure</i>	5,34 MPa
Massa Jenis Cair	661,43 kg/m <sup>3</sup> (pada 25 °C)
Massa Jenis Uap	12,44 kg/m <sup>3</sup> (pada 25 °C)
Massa Molar	46,07 kg/mol
Kalor Laten	453,67 kJ/kg (pada -15 °C)
ODP	0
GWP	1

#### 2.4.2 R134a

*Hydrofluorocarbons* (HFC) adalah senyawa yang mengandung hidrogen, fluor dan karbon. HFC memiliki nilai *Ozone Depletion Potential* (ODP) sebesar 0 yang berarti tidak berpotensi merusak lapisan ozon, tetapi masih berpotensi mengakibatkan pemanasan global karena masih mengandung unsur fluor. Salah satu jenis refrigeran HFC adalah R134a. Berikut ini karakteristik dari refrigeran R134a.

Tabel 2 Karakteristik Refrigeran R134a

Nama	R134a, HFC-134a
NBP	-26,07°C
<i>Critical Temperature</i>	101,06°C
<i>Critical Pressure</i>	4,06 MPa
Massa Jenis Cair	1206,70 kg/m <sup>3</sup> (pada 25 °C)
Massa Jenis Uap	32,35 kg/m <sup>3</sup> (pada 25 °C)
Massa Molar	102,03 kg/mol
Kalor Laten	209,49 kJ/kg (pada -15 °C)
ODP	0
GWP	1430

## 3. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan adalah analisis pada simulasi sistem refrigerasi kompresi uap

yang dilakukan dengan parameter sebagai berikut.

Variasi	T <sub>k</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	Δ <sub>Subcooled</sub> (K)	Δ <sub>Superheated</sub> (K)	η <sub>isentropik</sub>	LSHX (K)
1	45	5	2	2	0,5	3
2	50	-5	4	5	0,7	5
3	55	-15	6	8	0,9	7

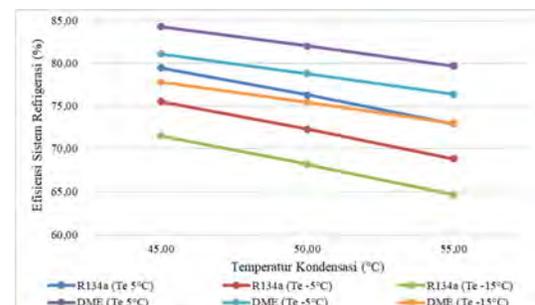
Pengambilan data dilakukan menggunakan refrigeran R134a dan *Dimethyl Ether* (DME) kemudian ditentukan data entalpi pada setiap titik menggunakan program REFPROP. Program ini digunakan untuk mengetahui sifat fluida dengan memasukan tingkat keadaan yang diketahui. [5]. Pengolahan data dilakukan sehingga dapat diamati efek refrigerasi, COP Aktual, dan efisiensi sistem refrigerasi. Adapun rincian dari pengerjaan analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat siklus kompresi uap R134a dan DME dengan simulasi REFPROP.
2. Menentukan nilai efek refrigerasi, COP<sub>aktual</sub>, dan efisiensi sistem refrigerasi.
3. Melakukan analisis perbandingan refrigeran R134a dan DME dari hasil yang diperoleh.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perubahan Temperatur Kondensasi

Pada Gambar 2 terlihat seiring meningkatnya temperatur kondensasi, efisiensi sistem refrigerasi menurun. Hal ini diakibatkan karena semakin tinggi temperatur kondensasi, efek refrigerasi semakin menurun sedangkan kerja kompresi spesifik tetap yang berdampak pada penurunan COP aktual, sehingga efisiensi sistem refrigerasi menurun. Efisiensi sistem refrigerasi yang dihasilkan DME lebih tinggi 7,51% dibandingkan sistem yang menggunakan R134a.

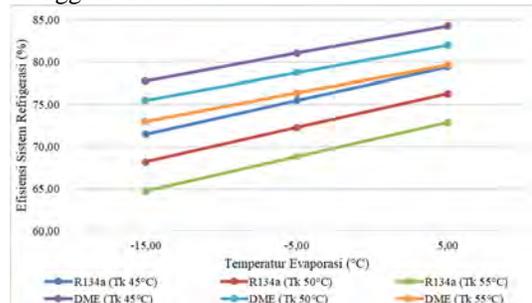


Gambar 2 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap Temperatur Kondensasi

### 4.2 Perubahan Temperatur Evaporasi

Pada Gambar 3 terlihat semakin tinggi temperatur evaporasi, maka efisiensi sistem

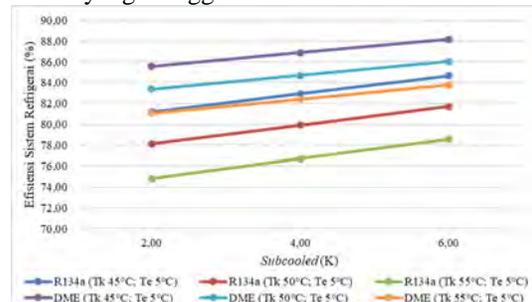
refrigerasi meningkat. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur evaporasi mengakibatkan efek refrigerasi meningkat, sedangkan kerja kompresi spesifik tetap sehingga COP aktual meningkat yang mengakibatkan efisiensi sistem refrigerasi meningkat. Efisiensi sistem refrigerasi yang dihasilkan DME lebih tinggi 7,61% dibandingkan sistem yang menggunakan R134a.



Gambar 3 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap Temperatur Evaporasi

#### 4.3 Perubahan Temperatur *Subcooled*

Pada Gambar 4, semakin tinggi selisih *subcooled* akan meningkatkan efisiensi sistem refrigerasi. Hal ini terjadi karena jika semakin tinggi selisih *subcooled* di keluaran kondenser akan mengakibatkan selisih entalpi keluar evaporator dan masuk evaporator semakin besar, sehingga efek refrigerasi dan COP aktual meningkat yang berdampak pada meningkatnya efisiensi sistem refrigerasi. Efisiensi sistem refrigerasi yang dihasilkan DME lebih tinggi 4,99% dibandingkan sistem yang menggunakan R134a.

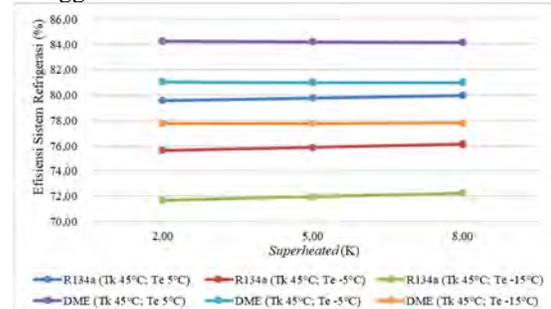


Gambar 4 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap Temperatur *Subcooled*

#### 4.4 Perubahan Temperatur *Superheated*

Pada Gambar 5, terjadinya *superheated* di keluaran evaporator tidak terlalu berdampak pada efek refrigerasi karena pemanasan berlanjut di keluaran evaporator merupakan *non-useful energy* atau energi yang tidak termanfaatkan, sehingga efek refrigerasi cenderung tetap yang berdampak pada COP aktual dan efisiensi sistem

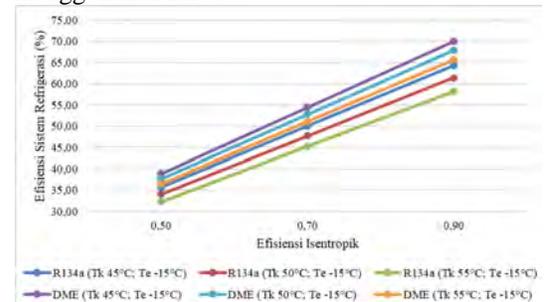
refrigerasi yang tidak terlalu berubah. Efisiensi sistem refrigerasi yang dihasilkan DME lebih tinggi 5,57% dibandingkan sistem yang menggunakan R134a.



Gambar 5 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap *Superheated*

#### 4.5 Perubahan Efisiensi Isentropik

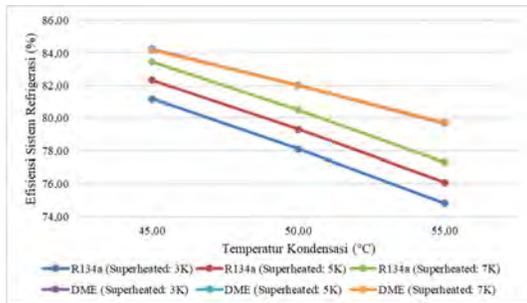
Pada Gambar 6, dapat dilihat jika nilai efisiensi isentropik semakin besar akan meningkatkan efisiensi sistem refrigerasi. Hal ini terjadi karena kerja kompresor terjadi tidak secara isentropik, sehingga kerja kompresor semakin kecil dengan efek refrigerasi yang relatif tetap, sehingga terjadi kenaikan COP aktual yang berdampak pada naiknya efisiensi sistem refrigerasi. Efisiensi sistem refrigerasi yang dihasilkan DME lebih tinggi 8,80% dibandingkan sistem yang menggunakan R134a.



Gambar 6 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap Efisiensi Isentropik

#### 4.6 Pengaruh Penggunaan LSHX

Pada Gambar 7, dapat dilihat penggunaan LSHX pada sistem yang menggunakan R134a mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan DME pada keadaan yang sama. Hal ini diakibatkan karena semakin tinggi nilai *superheated* yang ditentukan akan mengakibatkan nilai *subcooled* semakin tinggi juga sehingga efek refrigerasi yang dihasilkan tinggi, mengakibatkan COP aktual dan efisiensi sistem refrigerasi tinggi.



Gambar 7 Perubahan Efisiensi Sistem Refrigerasi terhadap Penggunaan LSHX

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

1. Refrigeran DME dapat menggantikan refrigeran R134a, tetapi masih memerlukan beberapa penyesuaian pada sistem jika akan digantikan.
2. Dari sisi efek refrigerasi, COP Aktual dan Efisiensi Sistem Refrigerasi, refrigeran DME rata-rata lebih tinggi dibandingkan refrigeran R134a dengan keadaan yang sama. Artinya, refrigeran DME lebih efektif dalam penyerapan kalor serta lebih efisien di dalam sistem.
3. Kekurangan dari refrigeran DME adalah memiliki selisih COP Aktual yang tidak terlalu jauh dengan R134a. Hal ini disebabkan karena COP Aktual berasal dari efek refrigerasi dibagi kerja kompresi, sehingga meskipun efek refrigerasi yang dihasilkan lebih besar, kerja kompresor yang dilakukan lebih besar juga.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya, untuk melakukan pengujian secara langsung pada sistem dengan kapasitas yang bervariasi dan dapat mengetahui komponen apa saja yang perlu diubah jika akan dilakukan penggantian dari refrigeran R134a ke DME.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia serta Politeknik Negeri Bandung, khususnya Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara atas dukungan dan motivasi dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), *Refrigeration SI Edition*. 2014.
- [2] C. Sunardi, T. Sutandi, A. D. D. Putra, and A. Kosasih, "Pengaruh Refrigeran R-22 Dan Mc-22 Terhadap Performansi Sistem Refrigerasi Brine Cooling," *Edusaintek*, pp. 44–54, 2019, [Online]. Available: <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/view/302>
- [3] H. M. M. Afroz and A. Miyara, "Binary mixtures of carbon dioxide and dimethyl ether as alternative refrigerants and their vapor-liquid equilibrium data prediction," vol. 3, no. 1, pp. 10–21, 2011.
- [4] B. O. Bolaji, O. A. Oyelaran, I. O. Abiala, T. O. Ogundana, and S. T. Amosun, "Energy and Thermal Conductivity Assessment of Dimethyl-Ether and its Azeotropic Mixtures as Alternative Low Global Warming Potential Refrigerants in a Refrigeration System," *Environ. Clim. Technol.*, vol. 25, no. 1, pp. 12–28, 2021, doi: 10.2478/rtuct-2021-0002.
- [5] E. W. Lemmon, I. H. Bell, M. L. Huber, and M. O. McLinden, "NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP), Version 10.0; Standard Reference Data; National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.," *NIST Stand. Ref. Databasev23*, pp. 288–290, 2018.