

# Kaji Eksperimental Variasi Massa Pengisian Dimethyl Ether Sebagai Pengganti Refrigeran R134a Terhadap Kinerja Cold Handling Unit

Vanra Fitri Zuhdiyah<sup>1\*</sup>, Rizki Muliawan<sup>1</sup>, Annisa S Kurniasetiawati<sup>1</sup>

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

E-mail : vanra.fitri.tptu421@polban.ac.id

E-mail : rizki.muliawan@polban.ac.id

E-mail : annisa.syafitrik@polban.ac.id

## ABSTRAK

R134a merupakan refrigeran berjenis HFC yang memiliki nilai ODP rendah, namun memiliki nilai GWP yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan bertambahnya pemanasan global. *Dimethyl Ether* (DME) merupakan refrigeran yang ramah lingkungan karena memiliki nilai ODP dan GWP yang rendah. Berdasarkan tekanan kerja dan karakteristiknya yang serupa dengan R134a, DME dapat dijadikan refrigeran pengganti R134a. Pada penelitian ini, massa pengisian ideal DME didapatkan melalui perbandingan massa jenis antara R134a dan DME pada suhu evaporasi -5°C yaitu 54%. Oleh karena massa pengisian R134a pada *Cold Handling Unit* adalah 120 gram, maka pengisian ideal DME adalah 120 gram x 54% = 65 gram. Pengujian kinerja *Cold Handling Unit* dilakukan dengan variasi massa pengisian DME sebesar 44%, 54%, dan 64%, atau setara dengan massa pengisian 53 gram, 65 gram, dan 77 gram. Hasil percobaan menunjukkan bahwa COP aktual *Cold Handling Unit* saat menggunakan R134a sebesar 3,6 dan mencapai nilai tertinggi pada DME pengisian 64% sebesar 4,8. Sedangkan untuk pengisian 44% dan 54% berturut-turut adalah 4,6 dan 4,77. Kapasitas pendinginan saat menggunakan R134a sebesar 0,463 kW dan pada penggunaan DME, dengan seiring bertambahnya variasi massa pengisian refrigeran mengalami peningkatan, dengan nilai kapasitas pendinginan tertinggi pada DME pengisian 64% sebesar 0,455 kW.

### Kata Kunci

R134a, *Dimethyl Ether*, *Cold Handling Unit*, COP, Kapasitas Pendinginan

*R134a is an HFC-type refrigerant with low ODP but high GWP, which contributes to global warming. Dimethyl Ether (DME) is an environmentally friendly refrigerant with both low ODP and GWP. Due to its similar working pressure and characteristics to R134a, DME can be used as a substitute. In this study, the ideal DME charge mass was obtained by comparing the density of R134a and DME at an evaporation temperature of -5°C, resulting in 54%. Given the R134a charge of 120 grams in the Cold Handling Unit, the ideal DME charge is 65 grams. Performance testing was carried out with DME charge variations of 44%, 54%, and 64% (53 g, 65 g, and 77 g). The results showed the actual COP of the Cold Handling Unit using R134a was 3.6, while the highest COP using DME was 4.8 at 64% charge. For 44% and 54% charges, COP were 4.6 and 4.77, respectively. Cooling capacity with R134a was 0.463 kW, and using DME increased with charge variation, peaking at 0.455 kW with 64% charge.*

### Keywords

R134a, *Dimethyl Ether*, *Cold Handling Unit*, COP, Cooling Capacity

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan sistem pendingin semakin banyak digunakan di bidang industri dan komersial. Salah satunya adalah penggunaan *Cold Handling Unit* yang merupakan *box* pendingin dengan temperatur kabin yang diatur rendah diantara 2°C-8°C untuk penyimpanan vaksin. Pendinginan dalam sistem pendingin tersebut dapat terjadi karena memanfaatkan fluida kerja dalam bentuk refrigeran yang bersirkulasi di dalam sistem refrigerasi sebagai media penyerapan dan pelepasan panas. Pemilihan jenis refrigeran yang tepat akan membantu mencapai tujuan keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan kinerja sistem pendingin.

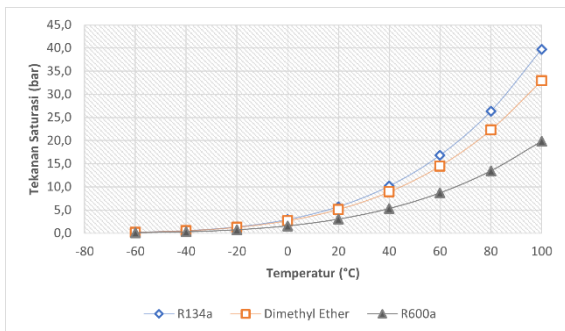
Keberlanjutan lingkungan tersebut penting, dikarenakan adanya jenis refrigeran yang dapat mempengaruhi pemanasan global dan penipisan lapisan ozon, yaitu refrigeran yang terdapat unsur khlorin (Cl) didalamnya

seperti jenis CFC (*chlorofluorocarbon*) yang telah diberhentikan penggunaannya sejak disepakatinya Protokol Montreal pada tahun 1987, dikarenakan dapat merusak proses terbentuknya lapisan ozon (O<sub>3</sub>) dan memiliki nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) yang tinggi.

Refrigeran HFC (*hydrofluorocarbon*) merupakan jenis refrigeran yang tidak terdapat unsur khlorin di dalamnya, sehingga tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon. Salah satu refrigeran jenis HFC yang umum digunakan dalam mesin pendingin adalah R134a, namun refrigeran tersebut memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) sebesar 1430 dengan *atmospheric lifetime* 13,8 tahun (1). Maka untuk mengurangi meningkatnya pemanasan global, penggunaan refrigeran dengan nilai GWP yang rendah akan lebih baik.

*Dimethyl Ether* (DME) atau RE170 dianggap sebagai refrigeran yang cocok untuk dijadikan alternatif dari R134a (2). Refrigeran ini, memiliki nilai ODP 0, GWP 1, dan

atmospheric lifetime selama 6 hari (3). Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap sistem *Cold Handling Unit* yang menggunakan refrigeran R134a lalu dilakukan pergantian refrigeran menjadi DME secara bertahap yang selanjutnya dilakukan analisis terhadap kinerja sistem.



Gambar 1. Hubungan Tekanan Saturasi Dengan Suhu Untuk Refrigeran R134a, DME, dan R600a

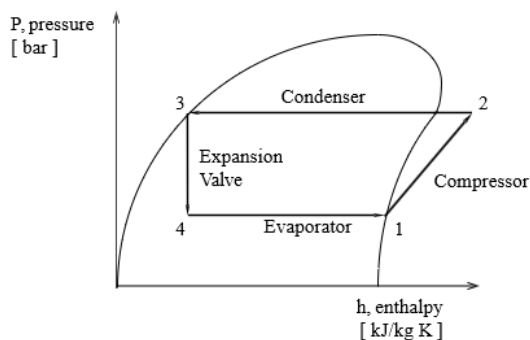
Tabel 1. Perbandingan Sifat-Sifat R134a dan Dimethyl Ether

Sifat-sifat	R134a	RE170
Rumus Kimia	1,1,1,2-Tetrafluoroethane	Dimethyl Ether
Normal Boiling Point (°C)	-26,07	-24,78
Critical Temperature (°C)	101,06	127,23
Massa Molar (kg/mol)	102,3	46,07
Density at -5°C (kg/m <sup>3</sup> )	1314,3	708,4

Dapat terlihat pada Gambar 1, bahwa tekanan saturasi untuk DME tidak terlalu jauh dengan R134a, yang berarti tekanan kerja R134a hampir sama dengan DME. Pada Tabel 1, juga terlihat bahwa karakteristik DME hampir sama dengan R134a.

Penggunaan DME ini, sebagai substitusi sumber energi untuk mempertimbangkan dampak lingkungan, DME mudah terurai di udara maka tidak menyebabkan kerusakan lapisan ozon dan dapat meminimalisir gas rumah kaca hingga 20 % (5). Sifat fisik DME mirip dengan bahan utama LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yaitu propana dan butana (6). Kekurangan dari penggunaan DME sebagai refrigeran adalah tingkat mudah terbakarnya (*flammable*) yang tinggi, sehingga dalam penggunaannya DME lebih aman diterapkan pada unit yang berkapasitas kecil serta dalam penanganannya harus lebih berhati-hati.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. Diagram P-h Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Penelitian ini dilakukan pada sistem *Cold Handling Unit* yang merupakan sistem refrigerasi kompresi uap yang tersusun dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Komponen-komponen tersebut dialiri oleh fluida kerja yang bersirkulasi dalam bentuk refrigeran. Untuk menganalisa kondisi dari sistem refrigerasi kompresi uap, keadaan refrigeran, dan menghitung kapasitas sistem, dapat menggunakan diagram tekanan-entalpi seperti pada Gambar 2, sebagai berikut:

### 2.1 Proses Kompresi

Untuk mengetahui nilai dari kerja kompresor adalah

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

### 2.2 Proses Kondensasi

Untuk mengetahui besarnya kalor yang dilepas di kondensor adalah

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (2)$$

### 2.3 Proses Ekspansi

Proses ekspansi terjadi secara isentalpi, dimana tidak ada pengurangan atau penambahan entalpi, tetapi terjadi penurunan tekanan dan juga temperatur

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

### 2.4 Proses Evaporasi

Untuk menghitung besar kalor yang diserap di evaporator adalah

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

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan secara eksperimental pada sistem *Cold Handling Unit* dengan kapasitas kompresor 1/6 pk, yang digunakan untuk penyimpanan vaksin sehingga suhu kabin diatur dengan rentang 2°C-8°C, dan temperatur evaporasinya sebesar -5°C.



Gambar 3 *Cold Handling Unit*

Produk yang digunakan pada penelitian ini, berupa air sebanyak 1 liter yang disimulasikan sebagai vaksin, dikarenakan air memiliki karakteristik fisik yang menyerupai vaksin. Menurut Departemen Kesehatan Pemerintah Australia (2019), vaksin harus disimpan dalam kisaran suhu antara 2°C hingga 8°C, dengan suhu optimal penyimpanan adalah 5°C (8), maka berdasarkan standar tersebut, pada penelitian ini, air yang disimulasikan sebagai vaksin dimasukkan ke dalam kabin dengan suhu awal produk 5°C, tepat pada suhu kabin yang telah mencapai 2°C.

Penggunaan air sebagai beban produk tiruan dari vaksin juga telah digunakan oleh Luqiana et al., (2021) pada penelitian pembuatan *cooling box* untuk penyimpanan vaksin *Sinovac* (9), dimana aspek biologis tidak menjadi fokus utama analisis.

Dalam penelitian ini, massa refrigeran R134a yang terdapat dalam sistem sebesar 120 gram. Untuk mengganti refrigeran tersebut dengan *dimethyl ether* serta menentukan massa yang harus dimasukkan ke dalam sistem, diperlukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{density DME}}{\text{density R134a}} \times 100\% \\ &= \frac{708,4 \text{ kg/m}^3}{1314,3 \text{ kg/m}^3} \times 100\% = 54\% \\ &= 54\% \times 120 \text{ gram} = 65 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dengan demikian massa ideal *dimethyl ether* yang akan dimasukkan ke dalam sistem adalah sebanyak 65 gram. Kemudian dilakukan variasi massa pengurangan dan penambahan *dimethyl ether* dengan selisih 10%, sehingga didapatkan variasi massa sebagai berikut:

Variasi massa 1: 44% × 120 gram = 53 gram  
Variasi massa 2: 54% × 120 gram = 65 gram  
Variasi massa 3: 64% × 120 gram = 77 gram

Perubahan parameter pada *Cold Handling Unit* yang akan diamati akibat variasi massa pengisian DME pada penelitian ini adalah COP aktual, COP Carnot, efisiensi sistem ( $\eta$ ), kapasitas pendinginan ( $Q_e$ ), dan konsumsi energi listrik (kWh) yang dapat ditentukan melalui Persamaan (5), (6), (7), (8), dan (9).

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

$$COP_{carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (6)$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (7)$$

$$Q_e = \dot{m} \times q_e \quad (8)$$

$$W = P \times t \quad (9)$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

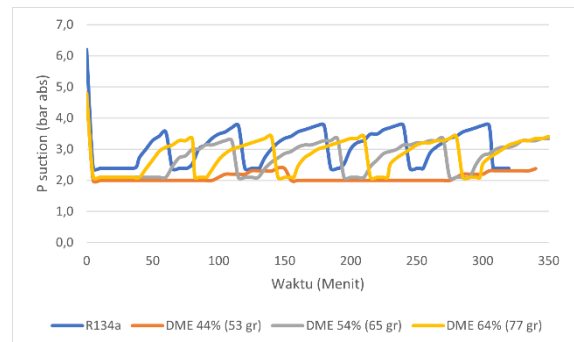
Pada penelitian ini data pengukuran yang dianalisa menggunakan nilai rata-rata parameter pada saat sistem dalam kondisi *steady* yang disajikan pada Tabel 3, sebagai berikut:

Tabel 3. Data pengukuran

No	Parameter	R134a (120gr)	DME 44% (53gr)	DME 54% (65gr)	DME 64% (77gr)	Satuan
1	Tekanan Suction	2,4	2	2,1	2,1	Bar (abs)
2	Tekanan Discharge	9,2	7,2	7,5	7,8	Bar (abs)
3	Temperatur Suction	-0,9	-1,85	-1,7	-1,87	°C
4	Temperatur Discharge	59,3	59,9	58,8	58,4	°C
5	Temperatur Keluar Kondensor	32,3	29,5	29,1	30,7	°C
6	Temperatur Lingkungan	23,1	22,6	23,1	23,5	°C
7	Arus Listrik	0,8	0,63	0,65	0,66	A
8	Faktor Daya	0,71	0,62	0,63	0,65	-
9	Tegangan	224,1	221,7	222,9	223,2	V

Berdasarkan data pengukuran tersebut didapatkan analisa kinerja sistem *Cold Handling Unit* pada setiap variasi refrigeran sebagai berikut,

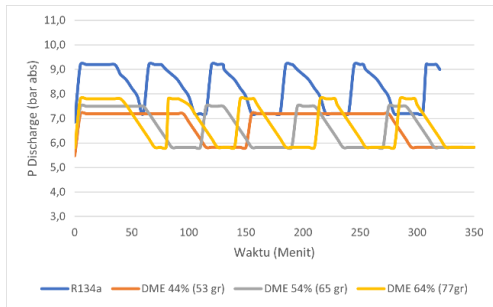
##### 4.1 Tekanan Suction Terhadap Waktu



Gambar 4. Tekanan Suction Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 9, R134a memiliki tekanan suction yang lebih tinggi dari penggunaan DME, hal ini menunjukkan bahwa R134a memiliki tekanan uap tinggi dan mampu mencapai efisiensi pendinginan yang lebih cepat, sedangkan DME menunjukkan tekanan yang lebih rendah dikarenakan karakteristik dari DME yang memiliki entalpi penguapan yang lebih tinggi. DME membutuhkan lebih banyak energi untuk berubah fasa dari cair ke uap, sehingga sistem harus bekerja pada tekanan yang lebih rendah agar suhu penguapan DME cukup rendah untuk mencapai kondisi pendinginan yang setara dengan R134a. Selain itu, densitas dari DME yang lebih rendah menyebabkan jumlah molekul DME dalam volume yang sama, lebih sedikit dibandingkan R134a, sehingga tekanan yang dihasilkan pada sisi *suction* menjadi lebih kecil.

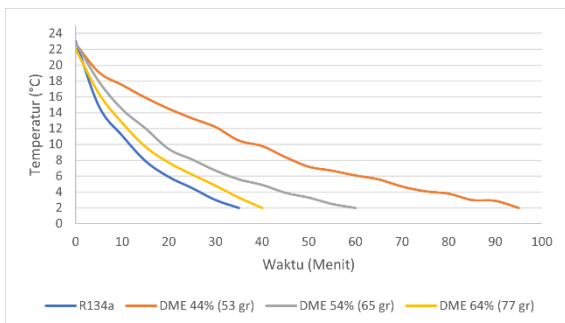
#### 4.2 Tekanan *Discharge* Terhadap Waktu



Gambar 5. Tekanan *Discharge* Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 10, Penggunaan R134a memiliki tekanan *discharge* yang lebih tinggi dibandingkan DME, dikarenakan R134a memiliki tekanan uap jenuh yang lebih tinggi artinya pada temperatur kondensasi yang sama R134a menghasilkan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan DME, R134a juga memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan DME, sehingga jumlah molekul per satuan volume juga lebih banyak dan saat dikompresi oleh kompresor, jumlah molekul yang lebih padat ini akan menghasilkan tekanan yang lebih besar. DME 44% memiliki tekanan *discharge* yang paling rendah dikarenakan jumlah massa refrigeran yang paling sedikit dengan massa jenis yang lebih rendah, sehingga saat proses kompresi menghasilkan tekanan yang lebih rendah. Seiring dengan penambahan massa refrigeran DME yaitu pada variasi 54% (65 gr) dan 64% (77 gr), tekanan *discharge* juga mengalami peningkatan, hal ini disebabkan massa refrigeran yang masuk ke dalam kompresor meningkat, sehingga lebih banyak molekul yang dapat dikompresi dan tekanan *discharge* yang dihasilkan akan menjadi lebih besar namun lebih rendah dari R134a.

#### 4.3 Capaian Temperatur Kabin Terhadap Waktu

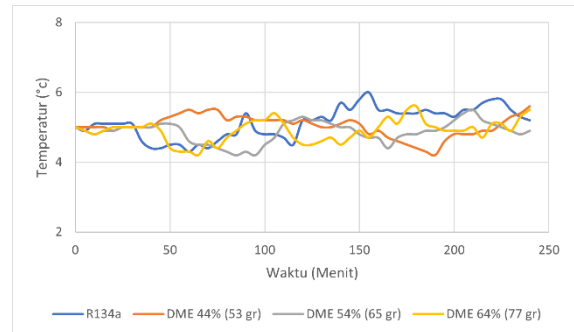


Gambar 6. Waktu Capaian Kabin 2°C

Pada Gambar 11, terlihat bahwa kondisi awal temperatur kabin hampir sama, tercatat untuk R134a sebesar 23°C, untuk DME 44% sebesar 22,7°C, untuk DME 54% sebesar 22,8°C, dan untuk DME 64% sebesar 22°C. Untuk mencapai temperatur kabin yang sama pada 2°C, dibutuhkan waktu yang berbeda-beda. R134a menunjukkan penurunan suhu paling cepat dengan waktu 35 menit untuk mencapai temperatur kabin, DME 44% membutuhkan waktu selama 95 menit, DME 54% membutuhkan waktu selama 60 menit, dan DME 64% membutuhkan waktu selama 40 menit. Dalam hal ini, R134a memiliki kemampuan untuk menyerap

kalor lebih cepat dibandingkan DME dikarenakan laju aliran massa refrigeran dan kapasitas pendinginannya lebih besar dibandingkan penggunaan DME. Penggunaan DME 64% menunjukkan performa terbaik diantara semua variasi pengisian DME, dengan waktu pendinginan yang mendekati performa pendinginan saat sistem menggunakan R134a, dengan selisih waktu pendinginan sebesar 5 menit, hal ini sebanding dengan besarnya laju aliran massa dan kapasitas pendinginan dari DME 64% yang lebih besar daripada variasi pengisian DME yang lainnya.

#### 4.4 Temperatur Produk Terhadap Waktu



Gambar 7. Temperatur Produk Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 12, Pengamatan temperatur produk dilakukan selama 4 jam setelah produk masuk ke dalam kabin, berdasarkan hasil pengamatan, suhu rata-rata air saat menggunakan R134a adalah 5,1°C, dengan pendinginan yang lebih fluktuatif dikarenakan siklus dari kerja kompresor yang lebih aktif, selama 4 jam, R134a telah mengalami empat kali *cut-in* sehingga grafik dari temperatur air lebih fluktuatif.

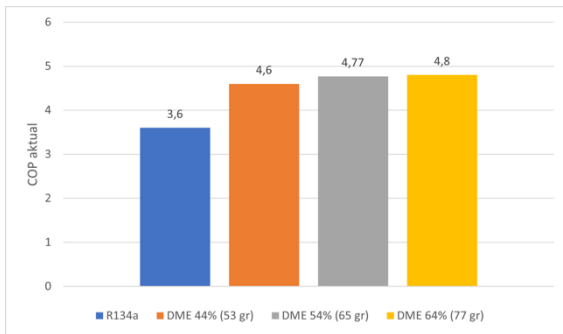
Pada DME 44% memiliki rata-rata suhu produk sebesar 5°C, dengan pendinginan yang lebih lambat dikarenakan dalam rentang 4 jam setelah air masuk ke dalam kabin, sistem hanya mengalami satu kali *cut-in*, yaitu pada menit ke-55 sampai menit ke-180. Sistem saat menggunakan DME 44% memiliki kapasitas pendinginan dan laju aliran massa refrigeran yang paling kecil sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk penyerapan kalor dari air dan kabin.

Pada DME 54% dan 64% suhu rata-rata air sebesar 4,9°C, dalam rentang 4 jam sistem hanya mengalami 3 kali *cut-in*, sehingga fluktuasi suhu air lebih halus dibandingkan saat menggunakan R134a. Sistem saat menggunakan DME memiliki laju aliran massa refrigeran dan kapasitas pendinginan yang lebih kecil dari R134a, namun hal itu membuat penurunan suhu lebih bertahap sehingga dapat memberikan performa pendinginan yang lebih stabil untuk aplikasi penyimpanan vaksin yang sensitif terhadap perubahan suhu yang agresif.

#### 4.5 COP (Coefficient of Performance) Aktual

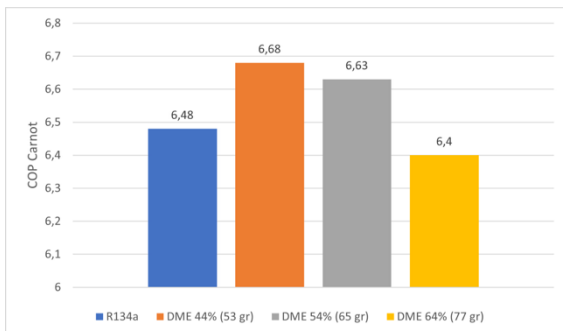
Pada Gambar 13, nilai  $COP_{aktual}$  didapatkan dari perhitungan hasil perbandingan antara efek refrigerasi dengan kerja kompresi yang dilakukan pada halaman sebelumnya. Diketahui bahwa nilai  $COP_{aktual}$  tertinggi berada pada DME 64% dengan nilai sebesar 4,8 dengan selisih yang sedikit dibandingkan dengan  $COP_{aktual}$  pada

DME 54% yaitu sebesar 0,4, kemudian  $COP_{aktual}$  pada DME 44% sebesar 4,6 lebih tinggi dari  $COP_{aktual}$  pada R134a yang bernilai 3,6. Dalam hal ini, R134a memiliki  $COP_{aktual}$  paling rendah, menandakan bahwa sistem membutuhkan energi lebih besar untuk menghasilkan pendinginan yang sama dibandingkan DME, dimana efek refrigerasi dari R134a lebih kecil dari penggunaan DME. Sementara itu, semakin meningkatnya massa DME, meningkatkan kapasitas sistem hingga mendekati titik optimal pada 64% (massa 77gr), ditandai dengan keseimbangan antara kerja kompresi dengan efek refrigerasi, sehingga menghasilkan nilai  $COP_{aktual}$  tertinggi.



Gambar 8. COP Aktual

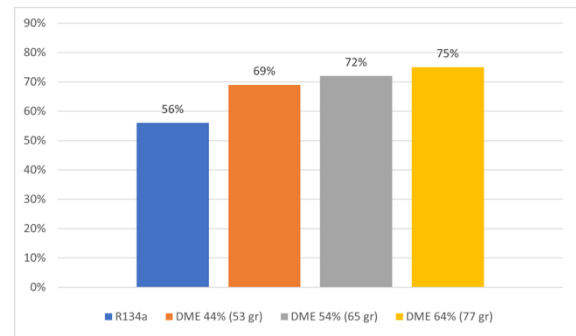
#### 4.6 COP (Coefficient of Performance) Carnot



Gambar 9. COP Carnot

Pada Gambar 14, terlihat bahwa  $COP_{carnot}$  untuk R134a sebesar 6,48, untuk DME 44% bernilai 6,68, untuk DME 54% memiliki nilai 6,63, dan untuk DME 64% memiliki nilai 6,4. Hasil  $COP_{carnot}$  dari setiap refrigeran hanya berbeda sedikit. DME 44% memiliki nilai  $COP_{carnot}$  yang lebih tinggi dari DME 54%, dengan selisih 0,05, hasil nilai tertinggi ini dikarenakan DME 54% dan DME 44% memiliki selisih temperatur evaporator dan kondensor yang paling kecil, kemudian R134a memiliki nilai  $COP_{carnot}$  yang lebih rendah dari DME 54% dengan selisih 0,15 menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan selisih temperatur yang lebih besar dari DME 54%, dan terakhir DME 64% memiliki nilai  $COP_{carnot}$  paling rendah dengan selisih nilai dengan R134a sebesar 0,08, penurunan nilai  $COP_{carnot}$  pada DME 64% ini, dapat disebabkan oleh tekanan discharge yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan massa refrigeran, dengan tekanan suction yang rendah, maka selisih temperatur akan semakin besar dan nilai  $COP_{carnot}$  yang dihasilkan akan lebih rendah.

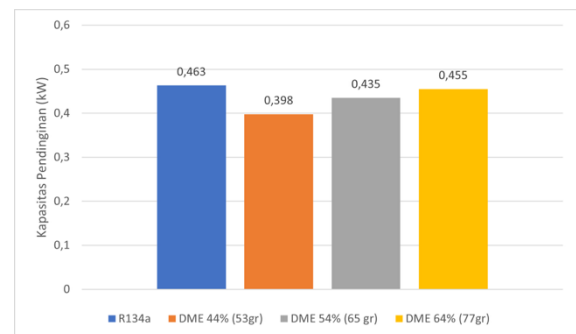
#### 4.7 Efisiensi Sistem



Gambar 10. Efisiensi Sistem

Pada Gambar 15, nilai efisiensi sistem yang dihasilkan merupakan hasil perbandingan antara  $COP_{aktual}$  dengan  $COP_{carnot}$ , ketika menggunakan R134a didapatkan nilai efisien sistem sebesar 56%, ketika menggunakan DME 44% didapatkan nilai efisiensi sebesar 69%, ketika menggunakan DME 54% didapatkan nilai efisiensi sebesar 72%, dan ketika menggunakan DME 64% didapatkan nilai efisiensi sebesar 75%. Berdasarkan hasil perbandingan efisiensi sistem, R134a memiliki nilai efisiensi paling rendah dikarenakan memiliki  $COP_{aktual}$  yang paling rendah, kemudian penggunaan DME 44% memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari R134a, namun lebih rendah dari variasi massa pengisian DME lainnya, kemudian seiring dengan peningkatan massa DME, efisiensi sistem juga meningkat, dengan hasil akhir DME 64% dengan massa pengisian 77gr menunjukkan efisiensi sistem yang paling tinggi.

#### 4.8 Kapasitas Pendinginan

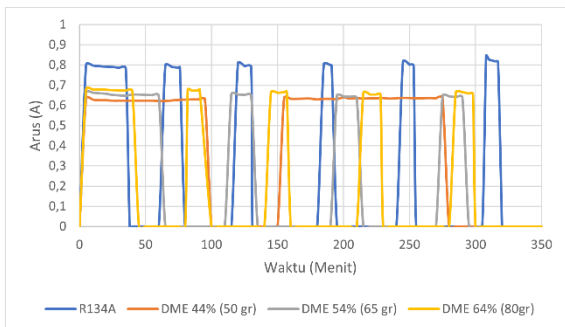


Gambar 11. Kapasitas Pendinginan

Berdasarkan Gambar 16, diketahui bahwa nilai kapasitas pendinginan tertinggi berada pada penggunaan R134a dengan nilai 0,463 kW, hal ini disebabkan laju aliran massa refrigeran saat menggunakan R134a lebih besar dari penggunaan DME, berkebalikan dengan penggunaan DME, dimana efek refrigerasi yang dihasilkan lebih besar, namun laju aliran massa refrigerannya lebih kecil, sehingga kapasitas pendinginannya lebih kecil dari penggunaan R134a, nilai laju aliran massa refrigeran pada saat *Cold Handling Unit* menggunakan DME lebih kecil dikarenakan massa DME lebih sedikit dari massa R134a, dengan seiring penambahan massa DME dalam sistem didapatkan kapasitas pendinginannya semakin besar ditunjukkan dengan nilai kapasitas pendinginan DME 44% (53 gr) sebesar 0,398 kW, kemudian DME 54% (65 gr) sebesar 0,435 kW, dan DME 64% (77gr) sebesar 0,455 kW lebih rendah 0,008 kW dari

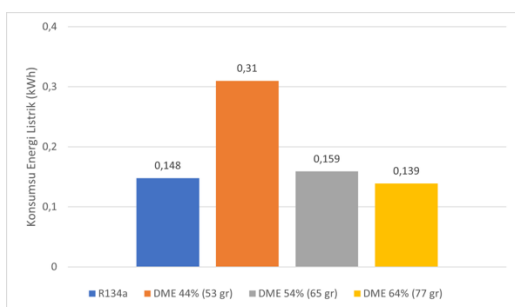
R134a. Nilai kapasitas pendinginan diperoleh dari perkalian laju aliran massa refrigeran dengan nilai efek refrigerasi.

#### 4.9 Konsumsi Energi Listrik



Gambar 12. Arus Listrik Terhadap Waktu

Pada Gambar 17, nilai rata-rata arus yang terukur dalam kondisi *steady* saat menggunakan R134a adalah 0,8 A, ini merupakan nilai arus tertinggi diantara penggunaan DME, sedangkan pada DME 44% nilai rata-rata arus listrik saat keadaan *steady* sebesar 0,62 A, nilai tersebut merupakan arus terendah dari penggunaan variasi DME lainnya, untuk DME 54% nilai rata-rata arus saat dalam keadaan *steady* sebesar 0,65 A, dan untuk DME 64% nilai rata-rata arus dalam kondisi *steady* sebesar 0,66 A. Nilai arus yang lebih tinggi pada R134a dapat disebabkan oleh jumlah massa refrigeran dan laju aliran massa refrigeran yang lebih besar dari penggunaan DME, sehingga arus listrik yang dihasilkan akan lebih tinggi dikarenakan kompresor harus memproses lebih banyak massa refrigeran per detik. Berbeda dengan DME yang memiliki jumlah massa dan laju aliran refrigeran yang lebih sedikit, sehingga nilai arus listrik yang dihasilkan akan lebih sedikit dibandingkan R134a. Pada penggunaan DME seiring bertambahnya massa refrigeran pada sistem membuat nilai arus listrik mengalami kenaikan, dikarenakan jumlah massa refrigeran yang masuk ke kompresor akan lebih banyak.



Gambar 13. Konsumsi Energi Listrik

Dalam menghitung konsumsi energi listrik dilakukan pengamatan terhadap jumlah waktu operasi sistem tanpa mengalami *cut-off* yang dilakukan selama 5 jam, R134a memiliki nilai konsumsi energi yang rendah sebesar 0,148 kWh, meskipun arus listriknya adalah yang tertinggi, hal ini dikarenakan durasi kerja sistemnya yang sangat singkat, selama 5 jam R134a hanya memiliki waktu operasi selama 70 menit, didukung dengan laju aliran massa yang lebih besar sehingga sistem lebih cepat mencapai suhu target dan hanya memerlukan sedikit waktu pendinginan aktif,

sehingga dapat meminimalkan waktu operasional kompresor dan total energi yang dikonsumsi tetap rendah.

Pada DME 44% memiliki nilai arus terendah, namun justru menghasilkan konsumsi energi tertinggi, ini disebabkan oleh waktu operasi yang sangat lama, yaitu selama 215 menit dari total 5 jam pengujian, penyebabnya adalah laju aliran massa DME 44% yang paling rendah pada 0,001 kg/s dan kapasitas pendinginan yang paling kecil sebesar 0,398 kW, sehingga sistem membutuhkan waktu jauh lebih lama untuk mencapai dan menjaga suhu target, Hal ini, memaksa kompresor bekerja lebih lama, yang pada akhirnya menyebabkan akumulasi energi listrik yang besar.

Pada DME 54%, waktu operasi yang dibutuhkan selama 5 jam adalah 105 menit, sehingga konsumsi energi listrik yang digunakan lebih rendah dari DME 44% yaitu sebesar 0,159 kW, dikarenakan pada variasi ini, laju aliran massa refrigeran dan kapasitas pendinginannya lebih besar dari DME 44%. Nilai konsumsi energi listrik pada DME 54% sedikit lebih tinggi dari DME 64% yaitu dengan selisih sebesar 0,002 kW. Pada penggunaan DME 64% waktu operasi yang dibutuhkan selama 5 jam adalah 87 menit, hanya berbeda 17 menit dengan R134a, sehingga nilai konsumsi energi listriknya pun tidak jauh berbeda dan lebih rendah dari R134a, hal ini dikarenakan dengan waktu operasi yang tidak jauh berbeda, arus listrik yang dihasilkan saat menggunakan DME 64% jauh lebih rendah dari penggunaan R134a, sehingga nilai konsumsi energi listriknya menjadi lebih rendah yaitu sebesar 0,139 kW. Dalam hal ini, DME 64% berhasil menunjukkan keseimbangan ideal antara kapasitas pendinginan yang tinggi, waktu kerja yang singkat, dan arus rendah, menghasilkan efisiensi tertinggi diantara seluruh variasi refrigeran.

#### 4.10 Hasil Perbandingan Pengolahan Data

Tabel 4. Hasil Pengolahan Data

No	Parameter	R134a (120gr)	DME 44% (53gr)	DME 54% (65gr)	DME 64% (77gr)	Satuan
1	Besar kerja kompresi ( $q_w$ )	42,84	79,38	76,69	75,37	kJ/kg
2	Besar efek refrigerasi ( $q_e$ )	154,34	365,06	365,78	361,66	kJ/kg
3	COP aktual	3,6	4,6	4,77	4,8	-
4	COP Carnot	6,48	6,68	6,62	6,4	-
5	Efisiensi Sistem ( $\eta$ )	56	69	72	75	%
6	Daya Input ( $P_{in}$ )	127,29	86,59	91,27	95,75	Watt
7	Konsumsi Energi Listrik ( $W$ )	0,148	0,310	0,159	0,139	kWh
8	Laju Aliran Refrigeran ( $\dot{m}$ )	0,003	0,001	0,0012	0,00126	kg/s
9	Kapasitas Pendinginan ( $Q_e$ )	0,463	0,398	0,435	0,455	kW
10	Operation Time (5 jam)	70	215	105	87	Menit
9	Waktu Capaian Kabin (2°C)	35	95	65	40	Menit

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, Tabel 4, merupakan rekap hasil pengolahan data yang telah dilakukan menggunakan perhitungan dari hasil data yang telah diperoleh.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Nilai COP aktual tertinggi diperoleh pada DME 64% sebesar 4,8 menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih efisien seiring peningkatan massa DME.
2. Kapasitas pendinginan tertinggi dicapai oleh sistem menggunakan refrigeran R134a, yaitu sebesar 0,463 kW. Peningkatan konsentrasi DME menunjukkan kapasitas pendinginan, dengan nilai sebesar 0,435 kW pada DME 54% dan 0,455 kW pada DME 64%.
3. Konsumsi energi listrik paling rendah selama 5 jam pengujian dicapai oleh DME 64%, yaitu sebesar 0,139 kWh.
4. Keseluruhan hasil, DME dengan konsentrasi 64% sebesar 77 gram, merupakan alternatif pengganti R134 dengan kinerja yang paling baik. Nilai COP aktual yang tinggi, efisiensi yang tinggi, serta konsumsi energi listrik yang paling rendah, menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih efisien.

Adapun saran yang dapat diterapkan bagi peneliti yang akan mengembangkan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Penggunaan DME dalam jangka waktu panjang dalam sistem *cold handling unit* yang masih menggunakan komponen standar untuk R134a, perlu diteliti lebih lanjut, terutama untuk mengevaluasi efek jangka panjang terhadap pelumas kompresor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, khususnya Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara atas dukungan dan motivasi dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ehhalt D, Prather M. Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. 2001. p. 239–87.
2. Baskaran A, Mathews P. A performance comparison of vapour compression refrigeration system using various alternative refrigerants. *Int J Sci Eng Res*. 2012;3(10):1–6.
3. Kumar S, Baskaran A, Manikandan N, Sureshkumar VP. Thermodynamic analysis of di methyl ether and its blends as alternative refrigerants to R134a in a vapour compression refrigeration system. *Int J Adv Eng Res Dev*. 2018;5(Dec). Available from: <https://www.researchgate.net/publication/331414584>
4. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. DME, alternatif pengganti LPG. 2020. Available from: <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-minyak-dan-gas-bumi/dme-alternatif-pengganti-lpg>
5. Utami MS, Mitrakusuma WH, Simbolon LM, Rosulindo PP. Uji kinerja freezer menggunakan dimethyl ether sebagai refrigeran pengganti R134a. *J Pendidik Tek Vokasional*. 2023;6(1):19–27. doi: 10.21009/jptv.6.1.19
6. Department of Health, Australia. National vaccine storage guidelines. 3rd ed. 2019.

7. Luqiana YK, Manunggal BP, Yuliyani I. Pembuatan sistem pendingin pada cooling box untuk penyimpanan vaksin Sinovac dengan Thermoelectric (TEC) 1-12706 yang disusun paralel. In: *Ind Res Work Natl Sem*. 2021. p. 302–7. Available from: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2709/2097>