

COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP) MINI FREEZER DAGING AYAM KAPASITAS 4 KG

Arief Ranu Saputra¹, Widiyatmoko¹, Azharudin²

¹Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Sekayu,

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sekayu 30711, Indonesia

E-mail: wididasyat@gmail.com

ABSTRAK

Mini freezer adalah suatu salah satu domestic freezer yang digunakan sebagai penyimpanan makanan seperti daging ayam. Mini freezer Enzim atau mikroba yang berada didalamnya akan berkurang sehingga daging ayam tidak mengalami pembusukan atau kerusakan dan penurunan kualitas daging dapat dihambat. Tujuan dari pengujian performansi pada mini freezer ini adalah untuk mengetahui performansi dan efisiensi dari alat mini freezer yang telah dirancang. Metodologi penelitian yang dilakukan pada mini freezer ini yaitu dengan cara pengumpulan data meliputi data temperatur dan tekanan, kemudian dari data tersebut diolah dengan menggunakan diagram p-h dan didapatlah nilai h1, h2, h3 dan h4, yang selanjutnya dapat dilakukan perhitungan efek refrigerasi dan kerja kompresor sehingga didapatlah nilai COP dan nilai efisiensi mini freezer. Dari pengujian pertama yang dilakukan pada pukul 14.00 WIB – 15.00 WIB, didapatlah nilai COP aktual sebesar 3,65, COP Carnot sebesar 5,8 dengan nilai efisiensi sebesar 61%. Pengujian kedua pada pukul 15.00 WIB – 16.00 WIB didapatlah nilai COP aktual sebesar 3,16 COP Carnot sebesar 5,5 dengan nilai efisiensi sebesar 57%, dan pada pengujian ketiga yang dilakukan pada pukul 16.00 WIB – 17.00 WIB didapatlah nilai COP aktual sebesar 2,9, COP Carnot 5,3 dan efisiensinya sebesar 54%.

Kata kunci: Refrigeran, Performance, Efisiensi

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, perkembangan refrigerasi maju dengan pesat. Sistem refrigerasi atau pendinginan memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Teknologi refrigerasi yang biasa digunakan untuk kebutuhan manusia adalah lemari es, maupun freezer yang biasa disebut dengan *domestic freezer*.

Domestic Freezer (*freezer* rumah tangga) merupakan bagian dari system refrigerasi yang banyak digunakan di rumah tangga untuk menyimpan produk dalam jangka waktu yang relative lama. Berbeda dengan refrigerator/kulkas, *freezer* banyak yang bekerja pada temperature lebih rendah dari 0°C agar kualitas produk yang disimpan dalam *freezer* adalah misalnya daging, ikan, es krim, dan sayuran. *Freezer* yang telah dirancang dan dibangun memiliki bentuk mini, sehingga disebut dengan mini *freezer*.

Perancangan dan pembangunan mini *freezer* telah dilaksanakan. Akan tetapi, performa dari mini

freezer belum diketahui. Setiap mesin refrigerasi harus diketahui performanya. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan COP mini *freezer*

1.2. Perumusan masalah

Setiap mesin refrigerasi memiliki performa yang disebut COP. Sehingga dapat dirumuskan permasalahan :

- a. Bagaimana kinerja mini *freezer* daging ayam kapasitas 5 kg yang telah dirancang dan dibangun?
- b. Berapa efisiensi mini *freezer* daging ayam kapasitas 5 kg?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah, didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui nilai COP mini *freezer*
- b. Untuk mengetahui efisiensi mini *freezer*

1.4. Manfaat

Dari pengujian ini, diharapkan :

- Dapat mengetahui kinerja mini *freezer* hasil rancang bangun.
- Dapat memberikan tambahan pengetahuan bagi peneliti maupun penulis berikutnya.

2. Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

2.1. Freezer

Freezer merupakan alat yang digunakan untuk pembekuan produk. Mini *freezer* menggunakan system refrigerasi domestik yang banyak digunakan untuk menyimpan produk dalam jangka waktu yang relatif lama. *Freezer* bekerja pada temperatur yang lebih rendah dari 0°C . Sehingga kualitas produk yang disimpan dalam freezer dapat dipertahankan dengan baik.

2.2. Pengertian Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi adalah suatu gabungan atau perpaduan antara komponen dan peralatan yang dirangkai menjadi satu kesatuan untuk menghasilkan efek refrigerasi (pendinginan), sedangkan refrigeran adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses penyerapan panas. Sistem refrigerasi diterapkan pada bidang refrigerasi dan pengkondisian udara. Contoh aplikasi system refrigerasi diberikan pada Tabel 1.

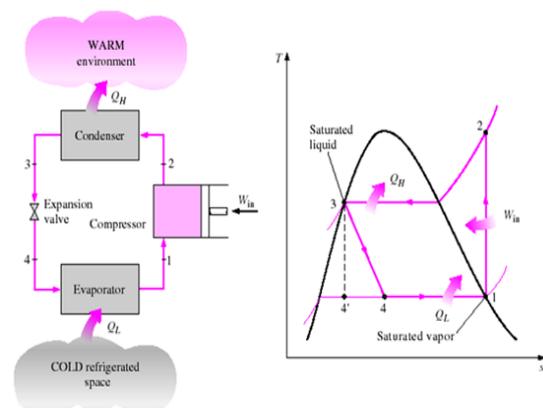
Bidang refrigerasi dan pengkondisian udara saling berkaitan, tapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda. Pada pengkondisian udara tidak saja meliputi bidang pendinginan tapi juga meliputi bidang penghangatan, namun keduanya sama-sama mengatur masalah kelembaban udara, kualitas udara dan distribusinya.

Tabel 1. Contoh Aplikasi Sistem Refrigerasi

Bidang Aplikasi	Contoh
Refrigerasi Domestik	Lemari Es, Dispenser Air.
Refrigerasi Komersial	Pendingin Minuman Botol, <i>Box</i> Es Krim, Lemari Pendingin Supermarket.
Refrigerasi Industri	Pabrik Es, <i>Cold Storage</i> , <i>freezer</i> dan Mesin Pendingin Untuk Proses Industri
Refrigerasi Transfortasi	<i>Refrigerated Truck, Train and Containers</i>
Pengkondisian Udara Domestik dan Komersial	<i>AC Window, Split and Package</i>
Chiller	<i>Water Cooled and Air Cooled Chiller</i>
<i>Mobile Air Condition (MAC)</i>	AC Mobil

2.3. Sistem Kompresi Uap

Sistem refrigerasi yang dipakai pada Freezer merupakan sistem refrigerasi kompresi uap biasa sama seperti hal nya pada lemari es dimana terdapat kompresor, kondensor, alat ekspansi, (pipa kapiler) dan evaporator serta komponen pendukung lainnya, yang membedakan hanya temperatur kerjanya saja. Gambar 1 berikut menunjukkan diagram dari sistem refrigerasi kompresi uap.



Gambar 1. Skema siklus kompresi uap

Siklus kompresi uap dimulai dari refrigeran yang dikompresikan oleh kompresor. Refrigerant bertekanan rendah menjadi bertekanan tinggi, dan temperaturnya meningkat. Kemudian uap refrigeran tersebut mengalir melalui saluran tekan, menuju kondensor untuk dibuang panasnya ke udara lingkungan. Pada bagian kondensor, refrigeran mengalami perubahan fase uap menjadi fase cair setelah peristiwa kondensasi. Refrigeran cair memasuki pipa kapiler (ekspansi), sehinggamengalami penurunan tekanan akibat diameter pipa yang berbeda. Pada pipa kapiler, mengalami penurunan temperatur dan tekanan. Kemudian refrigeran cair dialirkan melalui evaporator, mengalami perubahan fasa dari cair ke gas melalui proses evaporasi, kemudian kembali lagi ke kompresor.

2.4. Prinsip Kerja Sistem Freezer

Sistem refrigerasi *freezer* atau mini Freezer menggunakan siklus kompresi uap. Siklus system refrigerasi mini *freezer* berawal dari uap refrigeran yang dikompresikan oleh kompresor. Refrigerant bertekanan rendah menjadi bertekanan tinggi, dan temperaturnya meningkat, dan seterusnya dimana system kerja mini *freezer* sama dengan siklus kompresi uap.

Siklus *kompresi* uap (Gambar 2.3) mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut :

- 1-2 Merupakan *proses* kompresi adiabatik dan *reversible*, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 2-3 Merupakan proses pelepasan kalor *reversible* pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*de-superheating*) dan pengembunan refrigerasi.
- 3-4 Merupakan proses ekspansi *unreversible* pada entalpi konstan, dari fasa cairan jenuh menuju tekanan evaporator.

4-1 Merupakan proses penambahan kalor *reversible* pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.

2.5. Refrigeran

Refrigeran adalah zat yang bertindak sebagai fluida kerja media pendingin yang menyerap panas dari air, udara, benda atau bahan lain sehingga mudah berubah wujudnya dari cair menjadi gas dan membuang panas ke udara atau air sehingga mudah berubah wujud dari gas menjadi cair.

Untuk keperluan mesin refrigerasi maka refrigeran harus memenuhi persyaratan tertentu agar diperoleh performa mesin refrigerasi yang efisien. Disamping itu refrigeran juga tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Sehingga pemilihan refrigeran hanya didasarkan atas sifat fisik, sifat kimiawi dan sifat termodinamik. Sifat – sifat tersebut dapat memenuhi persyaratan refrigeran, yaitu : Titik penguapan rendah, Kestabilan tekanan, Panas laten yang tinggi, Mudah mengembun pada suhu ruang, Mudah bercampur dengan oli pelumas dan tidak korosif, Tidak mudah terbakar, dan Tidak beracun.

2.6. COP

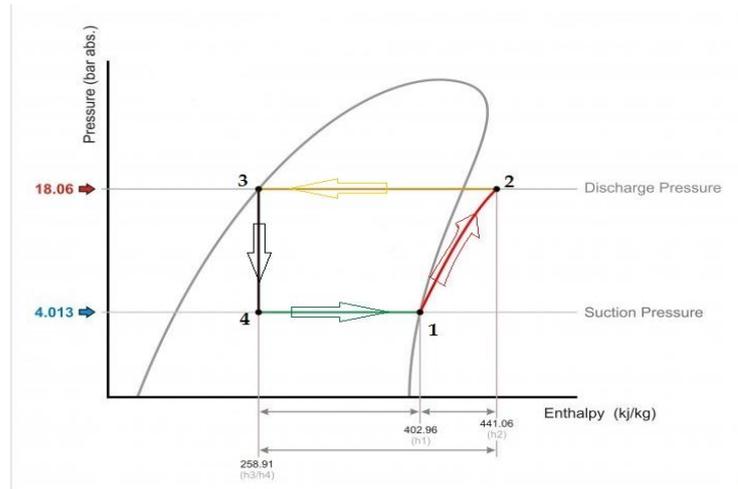
COP adalah efisiensi siklus yang dinyatakan sebagai rasio penyerapan panas pada ruang pendingin yang setara dengan energi panas masuk ke kompresor (Dossat, R.J., 1981)

$$\text{COP} = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresor}} \quad (1)$$

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

2.7. Diagram p-h

Berikut ini adalah siklus sistem refrigerasi kompresi uap yang tergambar pada diagram p-h. (Gambar 2)



Gambar 2. Proses Kompresi Uap Pada Diagram p-h

Dari Gambar 2, terdapat 4 proses utama yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Proses Kompresi (Proses 1 - 2)

Proses ini terjadi di kompresor dimana uap refrigeran dengan tekanan dan temperatur rendah yang masuk ke kompresor melalui suction line, dikompresi didalam silinder kompresor sehingga temperatur dan tekanan uap refrigeran yang keluar dari kompresor melalui discharge line mengalami kenaikan. Proses yang terjadi didalam kompresor diasumsikan sebagai proses isentropic dan besarnya kerja kompresi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Dossat, R.J., 1981):

$$Q_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (3)$$

Keterangan :

- Q_w = besarnya kerja kompresi (kW)
- \dot{m} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
- h_1 = enthalpy refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)
- h_2 = enthalpy refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

b. Proses Kondensasi (Proses 2 - 3)

Proses ini terjadi di kondensor dimana uap refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang masuk ke kondensor melalui *discharge*

line dikondensasikan di dalam kondensor mengalami perubahan fase uap ke fase cair. Besarnya kalor yang dilepas di kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (R.J. Dossat 1981) :

$$Q_k = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (4)$$

Keterangan :

- Q_k = besarnya kalor yang dilepas kondensor (kW)
- \dot{m} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
- h_3 = enthalpy refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)
- h_4 = enthalpy refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

c. Proses Ekspansi (Proses 3 - 4)

Proses ini terjadi di alat ekspansi dimana refrigeran cair yang berasal dari kondensor di ekspansi sehingga temperatur dan tekanan refrigeran yang keluar dari alat ekspansi turun drastis dan selanjutnya masuk evaporator untuk menyerap kalor dari ruangan atau media yang hendak didinginkan. Pada proses ini refrigeran tidak mengalami penambahan atau pengurangan energy sehingga prosesnya dalam kondisi enthalpy konstan (iso-enthalpy) yaitu $h_3 - h_4$

- h_3 = enthalpy refrigeran saat masuk ekspansi (kJ/kg)
- h_4 = enthalpy refrigeran saat keluar ekspansi (kJ/kg)

d. Proses Evaporasi (Proses 4 - 1)

Proses ini terjadi di evaporator dimana refrigeran cair yang masuk ke evaporator menyerap kalor dari ruangan atau media yang hendak didinginkan dengan adanya penyerapan kalor tersebut maka refrigeran diharapkan berubah fasa dari fasa cair menjadi fasa uap jenuh (saturasi). Besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dinyatakan dengan persamaan berikut (R.J. Dossat 1981) :

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

Keterangan :

Q_e = besarnya beban pendinginan (kW)

\dot{m} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

h_1 = *enthalpy* refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = *enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

Sedangkan penarikan kalor spesifik disebut efek refrigerasi, dinyatakan dengan persamaan

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (5)$$

Setelah mengetahui siklus refrigerasi dalam diagram p-h maka kita dapat menentukan atau menghitung laju aliran massa refrigeran dengan persamaan :

$$\dot{m} = \frac{Q_{in}}{ER} \quad (6)$$

COP pada siklus refrigerasi adalah efisiensi siklus yang dinyatakan sebagai rasio penyerapan panas pada ruang pendingin yang setara dengan energy panas masuk ke kompresor yaitu :

$$COP = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresor}} \quad (7)$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (8)$$

Daya listrik yang dipergunakan kompresor, dapat dinyatakan dengan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (9)$$

Keterangan :

P = daya listrik (watt)

I = arus listrik (Ampere)

$\cos \phi$ = power factor

3. Metodologi Penelitian

Untuk memperoleh data yang diinginkan, maka penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium

Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Sekayu. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali. Pengambilan data pertama dilakukan pada pukul 14.00 - 15.00 WIB, pengambilan data yang kedua dilakukan pada pukul 15.00 - 16.00 WIB dan untuk pengambilan data yang ketiga dilakukan pada pukul 16.00 - 17.00 WIB. Data yang telah diambil meliputi suhu keluaran evaporator, kompresor, kondensor dan kapiler.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yang mana yang menjadi acuan pengambilan data adalah suhu yang di inginkan untuk suhu produk. Untuk menjaga spesifikasi produk tersebut, maka perubahan suhu dan tekanan harus diamati atau dikontrol. Untuk itu, data yang diperlukan adalah suhu dan tekanan yang berpengaruh terhadap COP. Dalam mengamati perubahan-perubahan yang terjadi, diperlukan membuat perangkat uji dan kemudian dilakukan pengambilan data.

3.1. Diagram Alir

Penelitian dilakukan dengan cara yang telah disajikan pada diagram alir (Gambar 3). Dari diagram alir tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Mulai
- 2) Persiapan

Variabel data yang diukur adalah temperatur dan tekanan. Pengambilan data menggunakan alat pengukur suhu yaitu *thermokopel*.

a. Pemasangan alat ukur

Peletakan thermometer digital pada bagian evaporator, compressor, kondensor, dan keluaran pipa kapiler. Pemasangan *manifold gauge* pada bagian *High Pressure* dan *Low Pressure*.

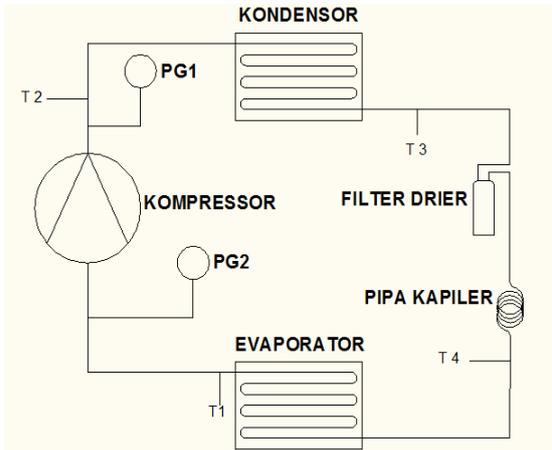
b. Pemeriksaan mini freezer

Setelah pemasangan semua alat ukur, dilakukan pemeriksaan secara keseluruhan untuk

memastikan seluruh alat ukur telah terpasang dengan baik dan benar.

c. Menyalakan mini freezer

Setelah pemasangan alat ukur, dan pemeriksaan, mini freezer mulai dijalankan.



Gambar 3. Penempatan alat ukur

Keterangan Gambar 3 :

T1 : Tempat penempatan alat ukur pada keluaran evaporator.

T2 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran kompresor.

T3 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran kondensor.

T4 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran pipa kapiler.

PG 1 : *High pressure*.

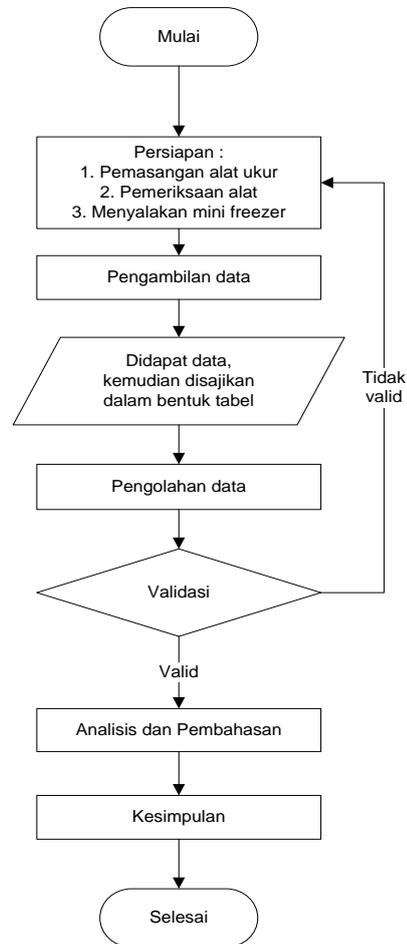
PG 2 : *Low pressure*.

3) Proses pengambilan data

Setelah alat ukur terpasang langkah selanjutnya adalah menjalankan sistem, dan pengambilan data, data diambil selama 60 menit dengan waktu 10 menit sekali dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Menghubungkan Steker Pada Listrik.
- Sistem dibiarkan berjalan sampai suhu titik beku yang ingin kita capai.
- Data diambil setelah 10 menit sistem berjalan
- Setelah pengambilan data selesai maka sistem dimatikan

e. Data yang diambil dalam bentuk tabel seperti pada tabel 2, 3 dan 4



Gambar 4. Diagram alir

4) Pengolahan data

Terdapat beberapa hal yang diolah seperti :

a. Perhitungan Efek Refrigerasi

Besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran pada evaporator, dihitung dengan persamaan (5)

b. Kerja Kompresi

Besarnya kerja kompresi pada kompresor, dihitung dengan persamaan (3).

c. Daya yang dibutuhkan kompresor

Daya kompresor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (9).

5) Validasi dilakukan dengan cara berkonsultasi dengan ahli dan pengambilan data ulang.

6) Analisis dan Pembahasan

Berdasar perhitungan dilakukan analisis dan pembahasan.

7) Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan :

- a. Mesin Miniatur *Freezer* 1 set.
- b. *Refrigeran* R134a.
- c. Alat-alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data ini adalah:
 - a) Thermokopel, digunakan untuk mengukur suhu pada siklus, yaitu suhu keluar kompresor, suhu keluar kondensor, suhu keluar evaporator, dan suhu keluaran kapiler. Alat yang digunakan adalah thermometer digital.
 - b) Pengukur Tekanan (*Pressure Gauge*), digunakan untuk mengukur tekanan refrigeran yang bersiklus pada sistem.
 - c) Tang Ampere, digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada sistem

3.2. Besaran yang diukur

Besaran-Besaran yang ingin diukur atau diamati adalah sebagai berikut :

- 1) Suhu keluaran kompresor.
- 2) Suhu keluaran kondensor.
- 3) Suhu keluaran kapiler.
- 4) Suhu keluaran evaporator.
- 5) Tegangan Listrik.
- 6) Arus Listrik.

3.3. Prosedur pengukuran

Prosedur-prosedur pengukuran yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

- 1) Pemeriksaan mesin yang akan di uji.
- 2) Pemasangan alat ukur
- 3) Pemeriksaan sistem apakah sudah dalam keadaan baik atau masih terdapat kebocoran, apabila ada kebocoran cari kebocoran dengan cara memeriksa alat sistem per sistem.
- 4) Setelah dilakukan pemeriksaan pada sistem, langkah selanjutnya adalah lakukan pengujian pada titik-titik yang akan diukur dan yang ingin diambil data. Memakai alat yang telah disiapkan.

Tabel 2. Pengukuran jam 14:00-15:00

No	Parameter	Menit ke :						Rata-rata
		10	20	30	40	50	60	
1	<i>P Discharge</i> (Psi)	270	272	272	272	280	280	289Psi/20 bar
2	<i>P Suction</i> (Psi)	10	10	10	10	10	10	24,7Psi/1,7bar
3	T1 <i>Out</i> Evaporator (°C)	-2	-2,2	-3,9	-4,8	-5,7	-6,3	-4,4
4	T2 <i>Out</i> Kompresor (°C)	79,1	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,35
5	T3 <i>Out</i> Kondensor (°C)	41,5	41,6	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5
6	T4 <i>Out</i> kapiler (°C)	-4,4	-4,8	-7,7	-9,4	-10,6	-13,0	-8,31
7	Arus Listrik (Ampere)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Tabel 3. Pengukuran jam 15:00-16:00

No	Parameter	Menit ke :						Rata-rata
		10	20	30	40	50	60	
1	<i>P Discharge</i> (Psi)	287	287	288	288	288	288	302,3Psi/20,84bar
2	<i>P Suction</i> (Psi)	10	10	10	10	10	10	24,7 Psi/1,7 bar
3	T1 <i>Out</i> Evaporator (°C)	-6,0	-6,1	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0
4	T2 <i>Out</i> Kompresor (°C)	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6
5	T3 <i>Out</i> Kondensor (°C)	41,8	41,8	42,4	42,4	42,8	42,8	42,33
6	T4 <i>Out</i> kapiler (°C)	-13,2	-13,4	-13,7	-14,1	-14,2	-14,7	-13
7	Arus Listrik (Ampere)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Tabel 3. Pengukuran jam 16:00-17:00

No	Parameter	Menit ke :						Rata-rata
		10	20	30	40	50	60	
1	<i>P Discharge</i> (Psi)	288	288	288	288	288	288	302,7Psi/20,87bar
2	<i>P Suction</i> (Psi)	10	10	10	10	10	10	24,7Psi/1,7 bar
3	T1 <i>Out</i> Evaporator (°C)	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1
4	T2 <i>Out</i> Kompresor (°C)	80	80	81	81	81	81	81
5	T3 <i>Out</i> Kondensor (°C)	42,8	42,8	42,8	42,8	43,0	43,2	42,8
6	T4 <i>Out</i> kapiler (°C)	-15,0	-15,3	-15,5	-15,7	-15,9	-16,2	-15,58
7	Arus Listrik (Ampere)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

3.4. Perhitungan COP dan efisiensi

1) Perhitungan pertama

Setelah dilakukan pengeplotan data tabel 2, pada diagram *mollier* (P-h Diagram) didapatkan hasil

Enthalpy Spesifik sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 249 \text{ kJ/kg} \\
 h_2 &= 289 \text{ kJ/kg} \\
 h_3 &= h_4 = 103 \text{ kJ/kg} \\
 T_{kond} &= 41,5 \text{ }^\circ\text{C} = 314,65 \text{ K} \\
 T_{evap} &= -4,4 \text{ }^\circ\text{C} = 268,75 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Sehingga efek refrigerasi dapat diketahui

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4 \\
 &= 249 \text{ kJ/kg} - 103 \text{ kJ/kg} \\
 &= 146 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Dengan kerja kompresi

$$\begin{aligned}
 q_w &= h_2 - h_1 \\
 &= 289 \text{ kJ/kg} - 249 \text{ kJ/kg} \\
 &= 40 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

daya kompresi (estimasi power factor = 0,8)

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos\phi \\
 &= 220 \times 0,7 \times 0,8 \\
 &= 123 \text{ watt} = 0,123 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Laju aliran massa

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{ref} &= \frac{\text{Daya Kompresor}}{\text{Efek Refrigerasi}} \\
 &= \frac{0,123 \text{ kW}}{146 \text{ kJ/kg}} = 8,43 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Kalor yang dilepaskan kondensor

$$\begin{aligned}
 q_c &= h_2 - h_3 \\
 &= 289 \text{ kJ/kg} - 103 \text{ kJ/kg} \\
 &= 186 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kerja kondensor

$$\begin{aligned}
 Q_c &= \dot{m}_{ref} \cdot q_c \\
 &= 8,43 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \times 186 \text{ kJ/kg} \\
 &= 0,157 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Perhitungan COP system mini freezer

$$\begin{aligned}
 \text{COP aktual} &= \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresi}} \\
 &= \frac{q_e}{q_w}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{146 \text{ kJ/kg}}{40 \text{ kJ/kg}} \\
 &= 3,65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COP}_{carnot} &= \frac{T_{evap}}{T_{kond} - T_{evap}} \\
 &= \frac{268,75 \text{ K}}{314,65 \text{ K} - 268,75 \text{ K}} \\
 &= 5,8
 \end{aligned}$$

Efisiensi mini freezer

$$\begin{aligned}
 \text{efficiency} &= \frac{\text{COP}_{actual}}{\text{COP}_{carnot}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,65}{5,8} \times 100\% = 61\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka pada pengukuran ke-1 diperoleh nilai COP *actual* rata-rata sebesar 3,65 dan nilai COP *carnot* rata-rata sebesar 5,8, serta efisiensi rata-rata sebesar 61 %.

2) Perhitungan kedua

Setelah dilakukan pengeplotan data tabel 3, pada diagram *mollier* (P-h Diagram) didapatkan hasil

Enthalpy Spesifik sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 246 \text{ kJ/kg} \\
 h_2 &= 289 \text{ kJ/kg} \\
 h_3 &= h_4 = 110 \text{ kJ/kg} \\
 T_{kond} &= 42,33 \text{ }^\circ\text{C} = 315,48 \text{ K} \\
 T_{evap} &= -6,0 \text{ }^\circ\text{C} = 267,15 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Sehingga efek refrigerasi dapat diketahui

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4 \\
 &= 246 \text{ kJ/kg} - 110 \text{ kJ/kg} \\
 &= 136 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Dengan kerja kompresi

$$\begin{aligned}
 q_w &= h_2 - h_1 \\
 &= 289 \text{ kJ/kg} - 246 \text{ kJ/kg} \\
 &= 43 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

daya kompresi (estimasi power factor = 0,8)

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos\phi \\
 &= 220 \times 0,7 \times 0,8
 \end{aligned}$$

$$= 123 \text{ watt} = 0,123 \text{ kW}$$

Laju aliran massa

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ref}} &= \frac{\text{Daya Kompresor}}{\text{Efek Refrigerasi}} \\ &= \frac{0,123 \text{ kW}}{136 \text{ kJ/kg}} = 9,04 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Kalor yang dilepaskan kondensator

$$\begin{aligned} q_c &= h_2 - h_3 \\ &= 289 \text{ kJ/kg} - 110 \text{ kJ/kg} \\ &= 179 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kondensator

$$\begin{aligned} Q_c &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot q_c \\ &= 9,04 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \times 179 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,162 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan COP system mini freezer

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kalor Kompresi}} \\ &= \frac{q_e}{q_w} \\ &= \frac{136 \text{ kJ/kg}}{43 \text{ kJ/kg}} \\ &= 3,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{carnot}} &= \frac{T_{\text{evap}}}{T_{\text{kond}} - T_{\text{evap}}} \\ &= \frac{268,75 \text{ K}}{315,48 \text{ K} - 267,15 \text{ K}} \\ &= 5,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{efficiency} &= \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{carnot}}} \times 100\% \\ &= \frac{3,16}{5,5} \times 100\% = 57\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka pada pengukuran ke-2 diperoleh nilai COP *aktual* rata-rata sebesar 3,16 dan nilai COP *carnot* rata-rata sebesar 5,5, serta efisiensi rata-rata sebesar 57 %.

3) Perhitungan ketiga

Setelah dilakukan pengeplotan data tabel 4, pada diagram *mollier* (P-h Diagram) didapatkan hasil *Enthalpy* Spesifik sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h_1 &= 245 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 290 \text{ kJ/kg} \\ h_3 &= h_4 = 112 \text{ kJ/kg} \\ T_{\text{kond}} &= 42,8^\circ \text{C} = 315,95 \text{ K} \\ T_{\text{evap}} &= -7,1^\circ \text{C} = 266,05 \text{ K} \end{aligned}$$

Sehingga efek refrigerasi dapat diketahui

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 245 \text{ kJ/kg} - 112 \text{ kJ/kg} \\ &= 133 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Dengan kerja kompresi

$$\begin{aligned} q_w &= h_2 - h_1 \\ &= 290 \text{ kJ/kg} - 245 \text{ kJ/kg} \\ &= 45 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

daya kompresi (estimasi power factor = 0,8)

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \cdot \cos\phi \\ &= 220 \times 0,7 \times 0,8 \\ &= 123 \text{ watt} = 0,123 \text{ kW} \end{aligned}$$

Laju aliran massa

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ref}} &= \frac{\text{Daya Kompresor}}{\text{Efek Refrigerasi}} \\ &= \frac{0,123 \text{ kW}}{133 \text{ kJ/kg}} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Kalor yang dilepaskan kondensator

$$\begin{aligned} q_c &= h_2 - h_3 \\ &= 290 \text{ kJ/kg} - 112 \text{ kJ/kg} \\ &= 178 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kondensator

$$\begin{aligned} Q_c &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot q_c \\ &= 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \times 178 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,165 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan COP system mini freezer

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kalor Kompresi}} \\ &= \frac{q_e}{q_w} \\ &= \frac{133 \text{ kJ/kg}}{45 \text{ kJ/kg}} \\ &= 2,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{carnot}} &= \frac{T_{\text{evap}}}{T_{\text{kond}} - T_{\text{evap}}} \\ &= \frac{266,05 \text{ K}}{315,95 \text{ K} - 266,05 \text{ K}} \\ &= 5,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{efficiency} &= \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{carnot}}} \times 100\% \\ &= \frac{2,9}{5,3} \times 100\% = 54\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka pada pengukuran ke-3 diperoleh nilai COP *aktual* rata-rata sebesar 2,9 dan nilai COP *carnot* rata-rata sebesar 5,3, serta efisiensi rata-rata sebesar 54 %.

4. Pembahasan

Performa dan efisiensi mini freezer perlu diketahui sebagai dasar analisa. Mini freezer dengan refrigeran R134a dihitung dengan data yang diambil selama uji perfomansi berlangsung pada mini Freezer, parameter yang diambil didalam uji perfomansi ini adalah tekanan, temperatur dan arus. Waktu pengujian dilakukan selama 180 (seratus delapan puluh menit) dan diambil setiap 10 menit.

Proses pengambilan data dilakukan selama 1 hari, yang mana proses pengambilan data dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali yaitu dari jam 14.00 WIB - 15.00 WIB, data ke 2 (dua) dari jam 15.00 WIB - 16.00 WIB, dan data ke 3 (tiga) dari jam 16.00 WIB - 17.00 WIB. Pengambilan data dilakukan pada siang hari, dikarenakan temperatur pada siang hari merupakan temperatur tertinggi. Hal ini disebabkan adanya pengaruh panas dari luar, seperti beban kalor melalui transmisi dinding, kaca, lantai dan lain-lain.

Dari hasil pengambilan data (tabel 2, 3, dan 4) dan perhitungan yang dilakukan didapatkan beberapa hal. Daya pada system adalah konstan, karena dari 3 (tiga) kali percobaan tegangannya masih tetap 0,7 A. Tekanan pada *discharge line* dan *suction line* semakin stabil selama tiga kali pengukuran. Dari hasil perhitungan pengujian pertama sampai dengan pengujian ke tiga, didapat nilai efisiensi berkisar antara 54 % sampai dengan 61%. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan

No.	COP aktual	COP carnot	Efisiensi
1.	3,65	5,8	61%
2.	3,16	5,5	57%
3.	2,9	5,3	54%

Proses terpenting dalam sistem refrigerasi adalah proses yang berlangsung di evaporator. Secara termal proses pendinginan di evaporator ini adalah penyerapan kalor dari lingkungan kepada refrigeran akibat berubah fasa, entalpi dan tentu saja suhunya. Ketika suhu di evaporator mini *freezer* belum tercapai, performa mesin pendingin besar. Seiring berjalannya waktu, suhu pada bagian evaporator semakin mendekati konstan sehingga performa mesin pendingin menurun (Tabel 5). Maka dengan menurunnya nilai COP akan menunjukkan semakin kecil kalor yang dibuang. Pada tabel 4, dapat dicermati bahwa COP carnot

walaupun menurun, tetapi tidak lebih signifikan penurunannya dibanding dengan COP actual. Hal ini disebabkan oleh kerja kondensor tidak mengalami penurunan yang signifikan menyebabkan efisiensi mini *freezer* semakin menurun.

5. Kesimpulan

Berdasar pada perhitungan, analisis dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. COP actual tertinggi adalah 3,65, pada jam 14.00-15.00 dan terendah adalah 2,9 pada jam. Sedangkan COP carnot tertinggi adalah 5,8 pada jam 14.00-15.00, dan COP carnot terendah adalah 5,3 pada jam 16.00-17.00
2. Efisiensi tertinggi adalah 61% pada jam 14.00-15.00 dan terendah adalah 54% pada jam 16.00-17.00

DAFTAR PUSTAKA

- Boorneni, S., dan Satyanarayana, A.V. 2014. *Improving and Comparing the Coefficient of Performance of Domestic Refrigerator by Using Refrigerants R134a and R600a*
- Dheeraj, et al, 2014. *Improvement in Coefficient of Performance of Domestic Refrigerator Using Flash Chamber*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol.12, Number 6, Juni 2014, pp 305-307
- Dossat, R. J, 1981. *Principles of Refrigeration, Second Edition, SI Version*. John Wiley & Son Inc : New York
- Hosoz, M, 2005. *Performance of Single and Cascade Refrigeration Systems Using R134a as the Working Fluid*. Turkish Journal Environment Science, Vol.29, pp 285-296
- Jamadar, V.M., dan Patil, A.M. 2012. *Investigation of Performance Analysis of Compressor Cooling in Vapour Compression System*. International Journal of Advance Engineering Research and Studies, Vol.II, Issue I, Oct-Dec 2012, pp 29-31
- Kolbe, E., dan Donald K, 2007. *Planning for Seafood Freezing*. Seagrant Alaska : Alaska
- Saidur, R., dan Masjuki, H.H, 2005. *Different Methods of Grading or Rating Refrigerator Freezers*. Asian Journal Energy Environment, Vol.6, Issue 1, pp 57-69
- Stoecker, W. F., dan Jones J. W. 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi Kedua*, Alih Bahasa : Ir. Supratman Hara
- Saidur, R., Chew W.C. dan Masjuki, H.H, 2005, *Development and Validation of Refrigerator-Freezers Energy Consumption Model with the Aid of RSM*. Journal of Energy and Environment, Vol.4, pp 11-19
- Robinson, J.G. 2012. *Packaging, Loading the Freezer and Refreezing*. North Dakota State University : North Dakota
- Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. 2003. *Teknik Dasar AC*. Yogyakarta : Departemen Pendidikan Nasional
- <https://matrudian.wordpress.com/2011/10/30/vapor-compression-cycle/> diakses 31 Maret 2015