

UJI PERFORMANSI MINI REFRIGERATOR UNTUK PENYIMPANAN VAKSIN DENGAN KAPASITAS REFRIGERASI 2250 Btu/Jam

Baharudin¹

Teknik Mesin, STITEKNAS JAMBI, Indonesia

E-mail:baharuddin.st@engineer.com

ABSTRAK

Mini Refrigerator merupakan suatu alat refrigerasi untuk pendinginan vaksin. Pada alat mini refrigerator ini siklus yang digunakan yaitu sistem refrigerasi kompresi uap. Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian performansi yaitu untuk mendapatkan harga COP dan Efisiensi pada sistem dilakukan selama 60 menit sampai tercapai suhu yang diinginkan. Dari hasil pengujian yang didapat nilai COP aktual rata-rata 5,32 dan nilai efisiensi rata-rata 86,3 %

Kata kunci: Sistem Refrigerasi, Kompresi Uap, Evaporasi, Kondensasi COP

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Mesin-mesin pendingin pada saat ini semakin banyak dimanfaatkan seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya taraf hidup. Penggunaan yang umum adalah untuk mengawetkan makanan, namun secara khusus mesin pendingin juga dapat digunakan untuk penyimpanan vaksin pada rumah sakit atau puskesmas. Penyimpanan vaksin membutuhkan suatu perhatian khusus karena vaksin merupakan sediaan biologis yang rentan terhadap perubahan temperatur lingkungan. Pada setiap tahapan rantai dingin maka transportasi vaksin dilakukan pada temperature 2°C sampai 8°C.

Sistem pendingin (refrigerasi) dalam perkembangannya sudah menjadi suatu kebutuhan sehari-hari baik untuk kebutuhan domestik, komersial, maupun industri. Seperti halnya *mini refrigerator* yang sangat dibutuhkan pada industri rumah sakit. *Mini refrigerator* merupakan aplikasi dari mesin refrigerasi yang berfungsi untuk mendinginkan vaksin dengan suhu yang sangat rendah Agar vaksin tetap mempunyai potensi yang baik sewaktu diberikan kepada pasien. Maka dari itu, penulis akan membuat *mini refrigerator* dengan ukuran kecil yang bertujuan untuk mempermudah orang-orang mengetahui secara garis besar prinsip kerja dari *mini refrigerator* yang dapat digunakan untuk penyimpanan vaksin. Untuk dapat lebih mendalami pengetahuan tentang komponen mesin refrigerasi diperlukan studi yang lebih intensif,

tidak hanya proses individual yang menghasilkan suatu siklus tetapi juga tentang hubungan antara berbagai proses yang terjadi, dan efek yang ditimbulkan oleh perubahan satu proses terhadap proses lainnya di dalam siklus. Misalnya, perbedaan yang digunakan komponen pada sistem tidak sesuai dengan karakter yang diinginkan oleh suatu alat atau suatu sistem tersebut. Hal itu sangat berpengaruh besar terhadap kerja dan performansi dari alat tersebut. Untuk itu, dibutuhkan suatu

pembelajaran yang tepat dan akurat dalam melakukan uji performansi suatu alat atau sistem.

Mini refrigerator yang akan penulis uji merupakan salah satu mesin refrigerasi yang menggunakan siklus kompresi uap yang harus dipilih komponen yang akan digunakan, agar mesin yang penulis uji tersebut bekerja secara optimal dan sesuai dengan yang penulis inginkan.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Dapat membuat suatu alat *mini refrigerator* dengan kapasitas refrigerasi 2250 Btu/jam yang digunakan untuk penyimpanan vaksin.
- 2) Dapat membuat *mini refrigerator* yang efektif dan efisien
- 3) Dapat mengetahui proses uji performansi pada suatu mesin mini refrigerator

2. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

2.1 Refrigerasi

Refrigerasi adalah metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada di bawah temperatur lingkungan. Dengan kata lain ruangan tersebut akan menjadi dingin, sehingga refrigerasi dapat juga disebut dengan metode pendinginan.

Frederic Tudor adalah orang yang pertama kali melakukan perdagangan es secara masal pada tahun 1806. Dia memotong es dari Sungai Hudson serta Danau Massachusetts untuk kemudian mengekspornya ke berbagai negara termasuk India. Namun sistem pendingin dimulai dari tahun 1805. Oliver Evans mendesain sistem refrigerasi dengan dasar "sistem kompresi uap". Namun desain alat ini tidak pernah dibuat. Pada tahun 1834 sistem refrigerasi kompresi uap pertama dibuat prototype dan dipatenkan oleh Jacob Perkins. Beberapa tahun kemudian tepatnya tahun 1848 Alexander Twining membuat sistem pendingin yang sama dan dapat dikomersilkan pada tahun 1856.

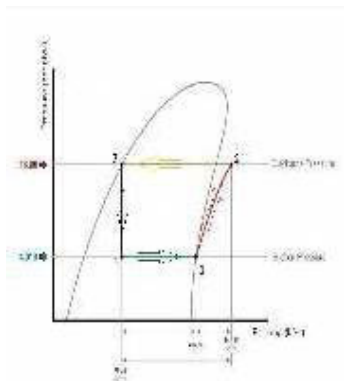
Awal dari AC (*air Conditioner*) sudah dimulai sejak zaman Romawi yaitu dengan

karena membutuhkan air dan juga bangunan yang tidak biasa. Hanya para raja dan orang kaya saja yang dapat membangunnya. Baru kemudian pada tahun 1820 ilmuwan Inggris bernama Michael Faraday menemukan cara baru mendinginkan udara dengan menggunakan Gas Amonia dan pada tahun 1842 seorang dokter menemukan cara mendinginkan ruangan di Rumah Sakit Apalachicola yang berada di Florida Amerika Serikat. Dr.Jhon Gorrie adalah yang menemukannya dan ini adalah cikal bakal dari teknologi AC (*Air Conditioner*) tetapi sayangnya sebelum sempurna beliau sudah meninggal pada tahun 1855.

Willis Haviland Carrier adalah seorang Insinyur dari New York Amerika menyempurnakan penemuan dari Dr.Jhon Gorrie tetapi AC ini digunakan bukan untuk kepentingan atau kenyamanan manusia melainkan untuk keperluan percetakan dan industri lainnya. Penggunaan AC untuk perumahan baru dikembangkan pada tahun 1927 dan pertama dipakai disebuah rumah di Mineapolis, Minnesota. Saat ini AC sudah digunakan untuk semua sektor, tidak hanya industri saja tetapi juga sudah di perkantoran dan perumahan dengan berbagai macam bentuk dari mulai yang besar hingga yang kecil. Semuanya masih berfungsi sama yaitu untuk mendinginkan suhu ruangan agar orang merasa nyaman.(Whitman,Bill,et al.2009)

2. 2 Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap

Mesin refrigerasi Siklus Kompresi Uap merupakan jenis mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator.



Gambar 1. Siklus kompresi uap

Cara Kerja Siklus Kompresi Uap;

Proses 1-2 ; refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap super panas dengan temperatur yang tinggi, lebih tinggi dari temperature lengkungan sehingga pembuangan panas bisa berlangsung.

Proses kompresi

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: [Roy J. Dossat, *The Compression Process* hal. 123-124]

$$q_w = (h_2 - h_1)$$

dengan

$$q_w = \text{Besarnya kerja kompresi (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = \text{Enthalpy refrigeran saat masuk kompresor (KJ/Kg)}$$

$$h_2 = \text{Enthalpy refrigeran saat keluar kompresor (KJ/Kg)}$$

Proses 2-3 ; setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (udara atau air) dengan temperatur lebih rendah dari pada temperatur refrigeran. Oleh karena itu kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan refrigeran akan mengalami penurunan temperatur dari kondisi uap panas lanjut menuju kondisi uap jenuh, selanjutnya mengalami proses pengembunan menjadi refrigeran cair. Refrigeran keluar kondensor sudah berupa refrigeran cair. Proses kondensasi berlangsung pada temperature dan tekanan yang konstan.

Proses kondensasi

Proses ini terjadi dikondensor dimana uap refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang masuk ke kondensor melalui *discharge line* dikondensasikan didalam kondensor sehingga refrigeran yang keluar dari kondensor diharapkan berubah fasa dari fasa uap ke fasa cair. Besarnya kalor yang dilepas di kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: [Roy J. Dossat, *The Condensing Process* hal. 125]

$$q_c = (h_2 - h_3)$$

dengan

$$q_c = \text{Besarnya kalor yang dibuang kondensor (KJ/Kg)}$$

$$h_2 = \text{Enthalpy refrigeran saat masuk kondensor (KJ/Kg)}$$

$$h_3 = \text{Enthalpy refrigeran saat keluar kondensor (KJ/Kg)}$$

Proses 3-4 ; refrigeran dalam keadaan wujud cair jenuh (tingkat keadaan 3) kemudian mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara tak reversibel sehingga tekanan refrigeran menjadi rendah (tekanan evaporator). Refrigeran keluar alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur rendah.

Proses ekspansi

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.

Proses 4-1 ; Refrigeran dalam fase campuran uap-cair, mengalir melalui evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mengalami proses penguapan sebagai akibat dari panas yang diserap dari sekeliling evaporator. Dengan adanya penyerapan panas ini, maka disekeliling evaporator (ruangan yang dikondisikan) menjadi dingin atau temperaturnya turun. Selanjutnya refrigeran yang meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh. Proses penguapan tersebut berlangsung pada temperatur dan tekanan yang konstan.

Proses evaporasi

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 sebagai berikut: [Roy J. Dossat, The Vaporizing Process hal. 123]

$$q_e = (h_1 - h_4)$$

dengan

q_e = Besarnya kalor yang dibuang kondensor (KJ/Kg)

h_1 = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (KJ/Kg)

h_4 = *Enthalpy* refrigeran saat keluar evaporator (KJ/Kg)

2.3 Mini Refrigerator

Mini refrigerator merupakan bagian dari system refrigerasi domestik yang banyak digunakan dirumah tangga untuk menyimpan produk dalam jangka waktu yang relatif lama. Berbeda dengan freezer, refrigerator bekerja pada temperatur di atas 0°C (umumnya) agar kualitas produk yang disimpan dalam refrigerator dapat dipertahankan dengan

baik. Produk yang biasanya disimpan dalam refrigerator adalah misalnya minum-minuman, obat-obatan, termasuk juga untuk penyimpanan vaksin. Umumnya refrigerator menggunakan sistem kompresi uap.

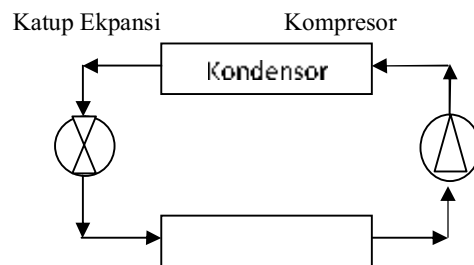
Berdasarkan jenis evaporator, refrigerator digolongkan menjadi evaporator konveksi paksa (*forced air convection*), rak (*shelf*), dan *plate* (*wall*). Penggolongan lain adalah berdasarkan jenis kondensornya, yang dikelompokkan menjadi kondenser jenis cerobong (*chimney*), di dalam dinding, dan aliran udara paksa (*forced draft*)



Gambar 2. Mini Refrigerator Untuk Penyimpanan Vaksin

2.3.1 Cara Kerja

Mesin refrigerasi Siklus Kompresi Uap merupakan jenis mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Susunan empat komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar dibawah.



Gambar 3. Diagram Proses Siklus Kompresi Uap pada Mini Refrigerator

(G.F.Hundy.,A.R.Troot.,danT.C.Welch .2008)

Cara Kerja Mini Refrigerator dengan Sistem refrigerasi Siklus Kompresi Uap;

- Proses 1-2** ; refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap super panas dengan temperatur yang tinggi, lebih tinggi dari

- temperature lengkungan sehingga pembuangan panas bisa berlangsung.
- Proses 2-3** ; setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (udara atau air) dengan temperatur lebih rendah dari pada temperatur refrigeran. Oleh karena itu kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan refrigeran akan mengalami penurunan temperatur dari kondisi uap panas lanjut menuju kondisi uap jenuh, selanjutnya mengalami proses pengembunan menjadi refrigeran cair. Refrigeran keluar kondensor sudah berupa refrigeran cair. Proses kondensasi berlangsung pada temperature dan tekanan yang konstan.
 - Proses 3-4** ; refrigeran dalam keadaan wujud cair jenuh (tingkat keadaan 3) kemudian mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara tak reversibel sehingga tekanan refrigeran menjadi rendah (tekanan evaporator). Refrigeran keluar alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur rendah.
 - Proses 4-1** ; Refrigeran dalam fase campuran uap-cair, mengalir melalui evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mengalami proses penguapan sebagai akibat dari panas yang diserap dari sekeliling evaporator. Dengan adanya penyerapan panas ini, maka disekeliling evaporator (ruangan yang dikondisikan) menjadi dingin atau temperaturnya turun. Selanjutnya refrigeran yang meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh. Proses penguapan tersebut berlangsung pada temperatur dan tekanan yang konstan.

2.3.2 koefisien performa

Performansi suatu sistem refrigerasi disebut dengan *Coefficient Of Performance*(COP). Besaran ini menyatakan kemampuan sistem untuk menarik kalor dari ruangan (di evaporator) per satuan daya kompresor.

- COPcarnot atau COPideal

Ialah COP maksimum yang dapat dimiliki oleh suatu sistem. COPcarnot dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$COP_{carnot} = \frac{T_{refrigerasi}}{(T_{kondensasi} - T_{evaporasi})}$$

- COPsebenarnya atau COPaktual.

Ialah COP sebenarnya yang dimiliki oleh suatu sistem. COPaktual ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

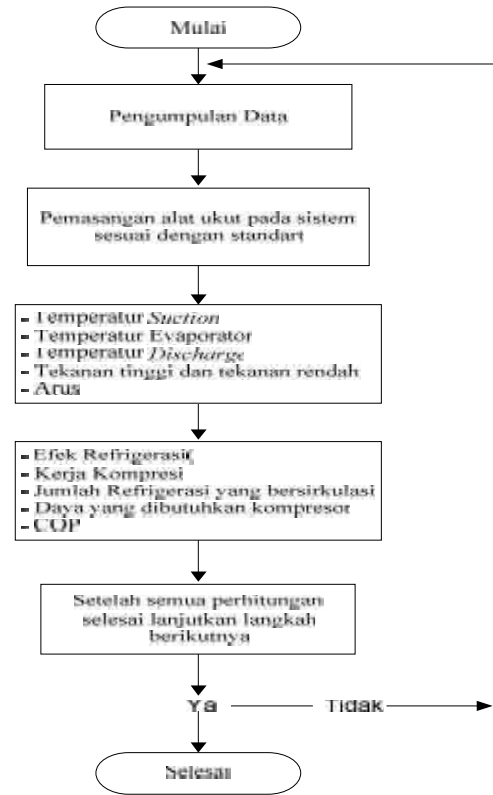
$$COP_{aktual} = \frac{\text{Energi diserap di Evaporator [Watt]}}{\text{Kerja Kompresi [Wat.]}}$$

Perbandingan besaran COPaktual dan COPcarnot menunjukkan efisiensi system refrigerasi dengan persamaan berikut :

$$\eta_{ref} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\%$$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Diagram Alir Proses Perhitungan Performansi



Gambar 4. Diagram Alir Perhitungan Performansi

3.2 Pengambilan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yang mana yang menjadi acuan pengambilan data adalah suhu yang di inginkan antara 2°C- 8°C. 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.

3.2.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Data

Untuk memperoleh data yang diinginkan, maka penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara Polsky. Pengambilan data dilakukan 1 hari, yaitu pada tanggal 19 Juli 2013, yang mana proses pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali. Pengambilan data pertama dilakukan pada pukul 08.00-09.00 WIB, pengambilan data yang kedua dilakukan pada pukul 11.00-12.00 WIB dan untuk pengambilan data yang ketiga dilakukan pada pukul 14.00-15.00 WIB. Data yang telah diambil digunakan untuk menganalisa performansi alat mini refrigerator dari sistem refrigerasi mesin Mini Refrigerator

3.2.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan :

- 1) Mesin Mini Refrigerator 1 set.
- 2) 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, dan suhu keluar evaporator. Alat yang digunakan adalah thermometer digital.
 - b) Pengukur Tekanan (Pressure Gauge), digunakan untuk mengukur tekanan refrigerant yang bersiklus pada sistem.
 - c) Tang Ampere, digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada sistem
- 3) Refrigerant R134a.

4. Hasil dan Pembahasan

analisa tentang cara kerja (performansi) dari sistem refrigerasi alat *Mini Refrigerator* dengan refrigeran R134a. Adapun data yang diambil atau diukur pada mini refrigerator seperti pada tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 dibawah ini :

4.2 Proses Pengambilan Data Pengukuran

Tabel 1. Pengukuran pukul 08.00-09.00 WIB

No.	Variabel Ukur	Menc						Rata-rata
		10	20	30	40	50	60	
1	Temperatur keluar kompresor	18	23	19	25	41	5	20,16°C
2	Temperatur keluar kondensor	39	38	38	39	37	38	38,16°C
3	Temperatur pipa evaporator	5	4	5	4	5	5	4,32°C
4	temperatur masuk kompresor	10	10	9	9	8	8	9°C
5	temperatur mesin	15	10	9	7	4	2	9,4°C
6	temperatur pendingin	9	5	4	5	2	1	4,16°C
7	temperatur udara luar	32	31	31	32	32	31	31,6°C
8	Tekanan keluar kompresor	110	128	14	128	141	128	128 Pa
9	Tekanan masuk kompresor	10	10	10	10	10	10	10 Pa
10	Tegangan listrik	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V
11	Arus listrik	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A

Gambar 5. Pengeplotan Hasil Pengukuran Pada Pukul 08.00-09.00 WIB

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

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 398 \text{ kJ/kg} \\
 h_2 &= 425 \text{ kJ/kg} \\
 h_3 &= h_4 = 258 \text{ kJ/kg} \\
 T_{\text{kond}} &= 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K} \\
 T_{\text{evap}} &= -4,3^\circ\text{C} = 268,7 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Analisa Perhitungan data ke 1 sebagai berikut :

1. Efek Refrigerasi (qe)

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_2 \\
 &= 398 \text{ kJ/kg} - 258 \text{ kJ/kg} \\
 &= 140 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Efek refrigerasi unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang di dapat pada data ke 1 sebesar 140 kJ/kg

2. Kerja Kompresi $q_w = h_2 - h_1$

$$\begin{aligned}
 &= 425 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg} \\
 &= 27 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kerja Kompresi unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang didapat pada data ke 1 sebesar 27 kJ/kg

3. Daya Kompresor

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\
 &= 220 \times 0,3 \text{ A} \times 0,9 \\
 &= 59 \text{ W} \approx 11 \\
 &= 0,59 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Daya Kompresor unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang didapat pada data ke 1 sebesar 0,59 kW

4. Laju Aliran Massa Refrigeran (\dot{m}_r)

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_r &= \frac{D \cdot K_1}{E_j} \\
 &= \frac{0,5 \text{ k}}{1 \text{ k/k}} \\
 &= 0,00421 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Refrigerator dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang di dapat pada data ke 1 sebesar 0,00421 kg/s

5. Kalor yang dilepaskan di kondensor (qc)

$$\begin{aligned}
 q_c &= h_2 - h_3 \\
 &= 425 \text{ kJ/kg} - 258 \text{ kJ/kg} \\
 &= 167 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kalor yang dilepaskan dari kondensator sebesar 167 kJ/kg

6. Kerja Kondensator (Qc)

$$\begin{aligned}
 Q_c &= m_r \cdot q \\
 &= 0,00421 \text{ kg/s} \times 167 \text{ k J/kg} \\
 &= 0,703 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kerja kondensator dari sistem tersebut sebesar 0,703 Kw

7. Perhitungan COP Sistem

$$\begin{aligned}
 \text{a. COP aktual} &= \frac{E}{K} = \frac{R}{K_1} \\
 &= \frac{q}{Q_c} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{k}{K} \\
 &= 5,18
 \end{aligned}$$

Nilai COP Aktual yang didapat sebesar 5,18

b. COP carnot

$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{T_e}{T_k - T_e} \\
 C_c &= \frac{268,7}{313K - 268,7} \\
 C_c &= 6,06
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai COP Carnot yaitu 6,06

8. Efisiensi

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{C_a}{C_c} \times 100\% \\
 e &= \frac{5,18}{6,06} \times 100\% \\
 e &= 85,47\%
 \end{aligned}$$

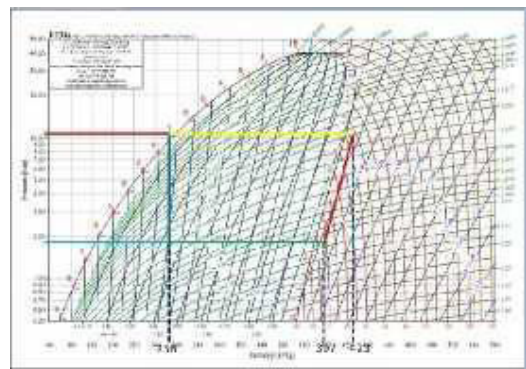
Efisiensi dari sistem didapat suatu persentase sebesar 85,47 %

Dari hasil perhitungan diatas maka pada pengukuran ke-1 diperoleh nilai COP_{actual} rata-rata sebesar 5,18 kJ/kg dan nilai COP_{carnot} rata-rata sebesar 6,06 K, serta efisiensi rata-rata sebesar 85,47 %.

Pengukuran pada pukul 11.00-12.00 WIB

Tabel 2. Pengukuran pukul 11.00-12.00 WIB

No	Menjel Listrik	Mentri						Rata-rata
		10	20	30	40	50	60	
1	Temperatur tekanan kompresor	78	85	92	10	85	96	40,0°C
2	Temperatur tekanan kondensator	78	88	98	10	98	111	10,0°C
	pernyataan pipa refrigerasi	5	1	2	1	3	3	1,1°C
	pernyataan tekanan kompresor	10	10	8	0	0	8	0°C
	pernyataan suhu	17	10	8	7	4	7	15,0°C
	pernyataan produk	11	5	7	1	2	11	1,0°C
3	Temperatur udara luar	78	77	77	78	77	77	28,1°C
4		150	138	130	148	140	150	
5	tekanan tekanan kompresor	Ps1	Ps1	Ps1	Ps1	Ps1	Ps1	149 Psi
6		10	10	10	10	10	10	
7	tekanan masuk kompresor	Pd1	Pd1	Pd1	Pd1	10 Pd1	Pd1	0,7 Pa
8	Temperatur listrik	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V	
9	Arus listrik	0,4 A	0,5 A	0,7 A	0,7 A	0,7 A	0,7 A	



Gambar 5. Pengeplotan Hasil Pengukuran Pada Pukul 11.00-12.00

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

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 398 \text{ kJ/kg} \\
 h_2 &= 425 \text{ kJ/kg} \\
 h_3 &= h_4 = 258 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$T_{kond} = 40^\circ \text{ C} = 313 \text{ K}$$

$$T_{evap} = -4,3^\circ \text{ C} = 268,7 \text{ K}$$

Analisa Perhitungan data ke 1 sebagai berikut :

Efek Refrigerasi (qe)

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4 \\
 &= 398 \text{ kJ/kg} - 258 \text{ kJ/kg} \\
 &= 140 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Efek refrigerasi unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang di dapat pada data ke 1 sebesar 140 kJ/kg

$$\begin{aligned}
 \text{1. Kerja Kompresi } q_w &= h_2 - h_1 \\
 &= 425 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg} \\
 &= 27 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kerja Kompresi unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang didapat pada data ke 1 sebesar 27 kJ/kg

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Kerja Kompresi } q_w &= h_2 - h_1 \\
 &= 425 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg} \\
 &= 27 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kerja Kompresi unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang didapat pada data ke 1 sebesar 27 kJ/kg

3. Daya Kompresor

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cos \Theta \\
 &= 220 \times 0,3A \times 0,9 \\
 &= 59 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya Kompresor unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang didapat pada data ke 1 sebesar 0,59 kW

4. Laju Aliran Massa Refrigeran (\dot{m}_r)

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_r &= \frac{D_t}{E} \\
 &= \frac{0,5 \text{ k}}{1 \text{ k/k}} \\
 &= 0,00421 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran unit *Mini Refrigerator* dengan kapasitas 1/4 pk untuk pendinginan vaksinyang di dapat pada data ke 1 sebesar 0,00421 kg/s

5. Kalor yang dilepaskan di kondensor (qc)

$$\begin{aligned}
 Q_c &= h_2 - h_3 \\
 &= 425 \text{ kJ/kg} - 258 \text{ kJ/kg} \\
 &= 167 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Kerja Kondensor (Qc)

$$\begin{aligned}
 Q_c &= \dot{m}_r \cdot q_c \\
 &= 0,00421 \text{ kg/s} \times 167 \text{ kJ/kg} \\
 &= 0,703 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kerja kondensor dari sistem tersebut sebesar 0,703 kW

Perhitungan COP Sistem

$$\begin{aligned}
 \text{COP aktual} &= \frac{E}{K} = \frac{R}{K_t} \\
 &= \frac{q}{K} \\
 &= \frac{1 \text{ k/k}}{2 \text{ k/k}}
 \end{aligned}$$

$$= 5,34$$

Nilai COP Aktual yang didapat sebesar 5,34
COP carnot

$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{T_e}{T_k - T_e} \\
 C_c &= \frac{268,7}{313K - 268,7} \\
 C_c &= 6,06
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai COP Carnot yaitu 6,06

Efisiensi

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{C_a}{C_c} \times 100\% \\
 e &= \frac{5,34}{6,06} \times 100\% \\
 e &= 88,11\%
 \end{aligned}$$

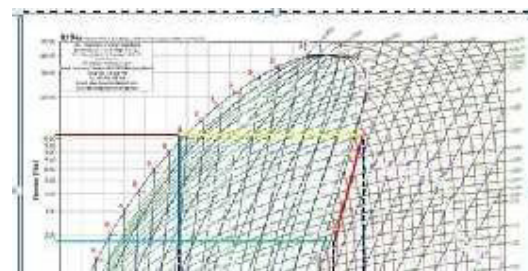
Efisiensi dari sistem didapat suatu persentase sebesar 88,11 %

Dari hasil perhitungan diatas maka pada pengukuran ke-2 diperoleh nilai COP_{aktual} rata-rata sebesar 5,34 kJ/kg dan nilai COP_{carnot} rata-rata sebesar 6,06 K, serta efisiensi rata-rata sebesar 88,11 %.

Pengukuran pada pukul 14.00-15.00 WIB

Tabel 4.3 Pengukuran pukul 14.00-15.00 WIB

No.	Nama Alat	Waktu						Rata-rata
		00	05	10	15	20	25	
1	Temperatur kompresor	3	17	18	21	21	23	45,10°C
2	Temperatur keluaran kondensor	32	38	38	42	37	38	38,16°C
3	temperatur penguapan	3	1	3	1	1	3	1,3°C
4	temperatur masuk kompresor	13	10	7	9	9	8	9,5°C
5	temperatur ruangan	13	10	8	7	7	11	10,5°C
6	temperatur produk	9	8	4	4	5	5	4,16°C
7	temperatur uap keluar	21	21	21	21	21	21	21,12°C
8		150	148	147	148	147	148	
9	Tekanan keluaran kondensor	24	24	24	24	24	24	118 Pa
10		10	10	10	10	10	10	
11	Tekanan masuk kompresor	24	24	24	24	10 Pa	24	10 Pa
12	Tegangan listrik	110 V	110 V	110 V	110 V	110 V	110 V	110 V
13	Arus listrik	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A	0,3 A



Dossat, Roy J. 1980. *Principles of Refrigeration, Second Edition, SI Version*, New York : John Wiley & Son Inc.
 G.F.Hundy.,A.R.Troot.,danT.C.Welch.2008, *Refrigeration and Air Conditioning*.Edisi 4.Oxford : Elseiver Ltd.

Gambar 6. Pengeplotan Hasil Pengukuran Pada Pukul 14.00-15.00

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

$$h_1 = 398 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 425 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 258 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{\text{kond}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313 \text{ K}$$

$$T_{\text{evap}} = -4,3 \text{ }^{\circ}\text{C} = 268,7 \text{ K}$$

5. Kesimpulan

maka dengan ini penyusun dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengukuran arus yang terjadi pada rangkaian kelistrikan mini refrigerator didapat arus 0,3A dengan range 0,2A – 0,3A pada tegangan 220V.
2. Nilai koefisien prestasi mesin mini refrigerator ini pada pengukuran pertama yang dilaksanakan pada pukul 08.00 s/d 09.00 didapat nilai COP sebesar 5,18, pada pengukuran kedua yang dilaksanakan pada pukul 11.00 s/d 12.00 didapat nilai COP sebesar 5,34, dan untuk hasil pada pengukuran ketiga yang dilaksanakan pada pukul 14.00 s/d 15.00 didapat hasil COP sebesar 5,18 dari hasil nilai COP yang didapat oleh mini refrigerator tersebut dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang dikategorikan baik dan temperatur tercapai yaitu kisaran suhu 2°C – 8°C.
3. Nilai efisiensi yang didapat dari hasil perhitungan perencanaan sebesar 89,50% pengukuran pertama sebesar 85,47 %, pengukuran kedua sebesar 88,11 % dan pada pengukuran ketiga sebesar 85,47 % dari hasil nilai efisiensi yang didapat oleh mini refrigerator tersebut dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang dikategorikan baik dan temperatur yang diinginkan tercapai yaitu kisaran suhu 2°C – 8°C.

DAFTAR PUSTAKA:

Whitman,Bill.et al.2009.*Refrigeration and Air Conditioning Technology* Clifton park : Delmar ceucage learning.