

## PENGARUH REFRIGERAN R-22 DAN MC-22 TERHADAP PERFORMANSI SISTEM REFRIGERASI *BRINE COOLING*

Cecep Sunardi<sup>1)</sup>, Tandi Sutandi<sup>2)</sup>, Adz Dzikraa Dinandy Putra<sup>3)</sup> dan Asep Kosasih<sup>4)</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Bandung  
email: cepsunardi@gmail.com

<sup>2</sup>Politeknik Negeri Bandung  
email: ade.tandi@polban.ac.id

<sup>3</sup>alumni Politeknik Negeri Bandung  
email: dinandyzikra@gmail.com

<sup>4</sup>Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Poltek Cirebon  
email: asepstikom62016@gmail.com

### **Abstract**

*Since the 1990s refrigerant R-22 or hydrochloroflourocarbons (HCFC) are widely used in vapor compression refrigeration systems, but in the 2000s this refrigerant began to be considered to be banned because of the ozone layer damage or ODP (potential for ozone depletion) and cause high global warming or GWP (Global Warming Potential). Therefore we need an environmentally friendly refrigerant, one of which is the Musicool-22 or MC-22 hydrocarbon refrigerant which is one of the products of R-290 (propane). In this study, both types of refrigerant are used as primary refrigerant, with a mixture of propylene glycol and water as secondary refrigerant in the brine cooling refrigeration system. The main refrigerant, R-22 and MC-22 are used instead of the same secondary refrigerant. The cooled product load in the cabin consists of 4 liters of fresh cow's milk product released at the cabin temperature of 4.5 ° C. From the results of data processing, the difference in system performance is obtained, namely the actual COP value and Carnot COP refrigeration system with R-22 of 2,965 and 5,280 with an efficiency of 56.15%, while for a refrigeration system with MC-22 of 2.984 and 5.347 with an efficiency of 55.81%. Also obtained different chilling time to reach temperatures of 4.5 ° C, they are 48 minutes (R-22) and 121 minutes (MC-22).*

**Keywords:** performance, refrigerant, hydrocarbons, brine cooling.

### **1. PENDAHULUAN**

Pada saat ini, penggunaan refrigeran *hydrochloroflourocarbons* (HCFC) sudah banyak dilarang di bidang industri di seluruh dunia. Hal tersebut terjadi karena refrigeran HCFC memiliki nilai ODP (*ozone depletion potential*) dan GWP (*global warming potential*) yang tinggi sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan. Kerusakan tersebut antara lain penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Pada penelitian ini, refrigeran R-22 atau HCFC dan MC-22 dipilih untuk diuji menjadi refrigeran utama karena kedua refrigeran tersebut memiliki perbedaan senyawa kimianya. Refrigeran MC-22 dipilih untuk diuji sebagai alternatif pengganti refrigeran R-22 karena dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan refrigeran R-22 karena MC-22 adalah refrigeran hidrokarbon. Dalam penelitian ini refrigeran sekunder yang digunakan adalah campuran air (70%) dan *propylene glycol* (30%) . Produk yang disimpan di dalam kabin adalah 4 liter susu sapi segar yang dipertahankan pada suhu 1.75°C hingga 4.5°C untuk jangka waktu penyimpanan selama 5 hari.

## 2. KAJIAN LITERATUR

### 2.1. Propylene glycol

*Propylene glycol* adalah larutan (*solution*) penukar kalor yang umum digunakan pada temperatur medium ( $T > -20^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$ )) dengan titik beku lebih rendah. Untuk menekan biaya operasi, persentasi *propylene glycol* bisa ditingkatkan. Dalam hal makanan dan obat, *propylene glycol* diizinkan sebagai bahan tambahan yang aman. *Propylene glycol* juga tidak mudah terbakar dan tidak korosif terhadap material (Inlow, S.W., Groll, E.A 1996). Tabel.1 di bawah menunjukkan properties *propylene glycol*.

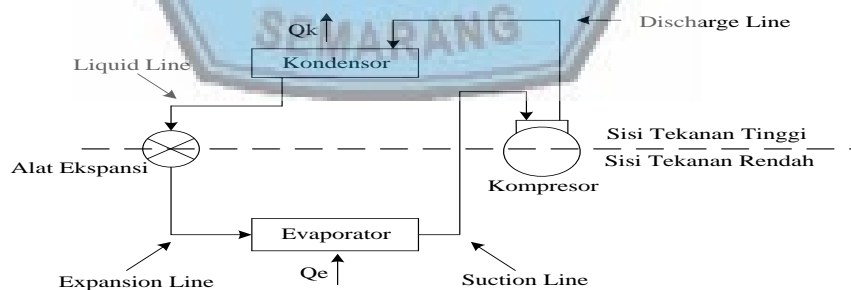
Tabel 1. *Properties Propylene Glycol* (Dossat, 1981)

	Propylene Glycol	Organic Salt
Density at 20 °C / -40 °C [ kg / dm <sup>3</sup> ]	1.042 / 1.080	1.200 / 1.224
Specific Heat Capacity at -40 °C [ kJ / (kg K) ]	3.21	2.94
Volumetric Heat Capacity at -40 °C [ kJ / (dm <sup>3</sup> K) ]	3.47	3.60
Thermal conductivity at -40 °C [ W / (m K) ]	0.37	0.43
Viscosity at 20 °C / -40 °C [ mPa s ]	9.0 / 1100	3.7 / 76

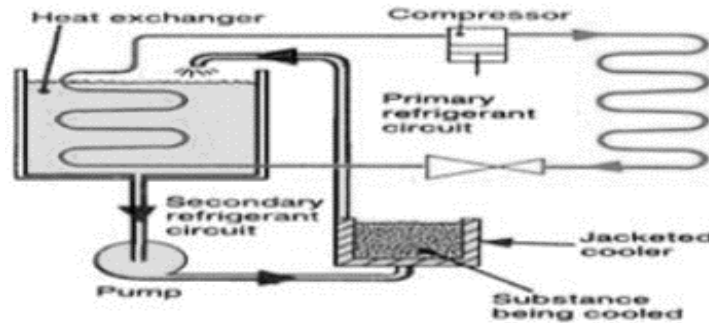
*Propylene glycol* adalah refrigeran sekunder bersifat encer digunakan sebagai fluida dan tidak mengubah keadaan *brine*. Refrigeran sekunder glikol memiliki keadaan dengan stabilitas lebih tinggi.

### 2.2. Sistem *brine cooling*

Sistem *brine cooling* merupakan sistem pendinginan yang menggunakan refrigeran sekunder sebagai media penyerap kalor untuk mendinginkan suatu produk dengan cara pendinginan tidak langsung (*indirect cooling*). Sistem ini memiliki dua siklus sistem pendinginan. Yang pertama merupakan sistem refrigerasi kompresi uap sederhana dengan menggunakan refrigeran primer (Gambar 1) dan siklus yang kedua menggunakan refrigeran sekunder yang menyerap kalor khususnya dari produk (Gambar 2). Di bawah ini adalah gambar ilustrasi dari sistem refrigerasi kompresi uap sederhana dan sistem *brine cooling*.



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap.



Gambar 2. Sistem refrigerasi *brine cooling*.

### 2.3. Primary Refrigerant

*Primary Refrigerant* atau refrigeran primer adalah media pendingin utama yang bekerja dengan cara menyerap kalor dari produk atau kabin yang dikondisikan (Dossat, 1981). Beberapa syarat refrigeran yang baik adalah: tekanan penguapan harus cukup tinggi, tidak beracun dan tidak mudah terbakar, konduktivitas termal tinggi, viskositas rendah dalam fasa cair maupun uap, memiliki COP tinggi, memiliki senyawa kimia yang stabil sehingga tidak mudah korosi dan kalor laten penguapan tinggi.

Refrigeran primer yang banyak dipakai di pasaran karena telah memenuhi syarat refrigeran di antaranya adalah: R-12 (CFC), R-22 (HCFC), dan R-134a (HFC).

#### 2.3.1 Refrigeran R-22

Banyak jenis refrigeran yang sering dipakai untuk sistem refrigerasi, salah satunya R-22. R-22 merupakan refrigeran bersenyawa kimia *hydrochloroflourocarbons* atau HCFC dan masuk ke dalam klasifikasi refrigeran A1 (tidak beracun dan tidak mudah terbakar). Pada tahun 1990-an, refrigeran ini paling sering digunakan pada sistem refrigerasi, tetapi ketika memasuki tahun 2000-an refrigeran ini mulai menjadi bahan pertimbangan untuk tidak digunakan lagi karena memiliki ODP dan GWP yang cukup tinggi. R-22 memiliki ODP sebesar 0.055 dan GWP sebesar 1810 yang bisa bertahan selama 12 tahun di atmosfer (ASHRAE, 2009). Pelarangan penggunaan HCFC dibuat oleh Montreal Protocol yaitu sebuah traktat internasional yang dibuat untuk melindungi lapisan ozon. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan *properties* dari R-22.

Tabel.2 Tabel *Properties* R-22

No	Nama	R22
1	Chemical name or composition	Chlorodifluoromethane
2	Chemical formula	CHClF <sub>2</sub>
3	Mass molekul	86.48
4	Boiling P at 101.321 kPa <sup>0</sup> C	-40.76
5	Freezing point	-160
6	Critical temperature <sup>0</sup> C	96.0
7	Critical pressure	4974
8	Critical volume L/kg	1.904
9	Latent heat of vaporation kJ/kg.mol	20.207
10	Compression ratio	4.03
11	Absolute pressure at 0 <sup>0</sup> C.MPa	0.49811
12	Density at 0 <sup>0</sup> C.kg/m <sup>3</sup> liquid	1281.8
13	Volume at 0 <sup>0</sup> C. m <sup>3</sup> /kg vapor	0.04703

#### 2.3.2 Refrigeran hidrokarbon

Pemakaian refrigeran yang berbahaya bagi lingkungan akan dihentikan secara massal, sehingga dibutuhkan refrigeran pengganti yang lebih ramah lingkungan dan

memenuhi syarat sebagai refrigeran pengganti. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh refrigeran pengganti, yaitu :

1. Memiliki sifat-sifat termodinamika yang berdekatan dengan refrigeran yang hendak digantikannya, utamanya pada tekanan maksimum operasi refrigeran baru yang diharapkan tidak terlalu jauh berbeda dibandingkan dengan tekanan refrigeran lama yang ber-klorin.
2. Tidak mudah terbakar.
3. Tidak beracun dan berbau.
4. Bisa bercampur (*miscible*) dengan pelumas yang umum digunakan dalam mesin refrigerasi.
5. Setiap refrigeran CFC hendaknya digantikan oleh satu jenis refrigeran ramah lingkungan.

Salah satu refrigeran pengganti yang banyak direkomendasikan adalah refrigeran hidrokarbon. Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran yang memiliki ODP dan GWP rendah. Beberapa refrigeran hidrokarbon antara lain: R-600 (*butane*), R-600a (*isobutane*), R-601 (*pentane*), R-601 (*isopentane*).

Selain refrigeran hidrokarbon di atas, R-290 (*propane*) juga termasuk ke dalam klasifikasi hidrokarbon karena memiliki ODP dan GWP yang rendah (ODP = 0 dan GWP =  $\sim 20^d$ ). R-290 memiliki rumus senyawa kimia  $CH_3CH_2CH_3$  dengan *Normal Boiling Point* (NBP) sebesar  $-42^\circ C$  yang memiliki sifat mudah terbakar (*flammable*) (ASHRAE, 2009). Salah satu produk R-290 yang berada di pasaran adalah Musicool dari PT. Pertamina. Musicool (MC-22) merupakan refrigeran ramah lingkungan untuk menggantikan refrigeran yang berpotensi merusak lingkungan seperti R-12 (CFC), R-22 (HCFC), dan R-134a (HFC). Tabel 3 menjelaskan propertis MC-22.

Tabel 3. Properties MC-22

No	Parameter	MC-22
1	Normal boiling point, $^\circ C$	-42,05
2	Temperatur kritis, $^\circ C$	96,77
3	Tekanan Kritis, psia	616,0
4	Panas jenis cairan jenuh pada $37,8^\circ C$ , KJ /Kgk	2,909
5	Panas jenis uap jenuh pada $37,8^\circ C$ , KJ /Kgk	2,238
6	Tekanan cairan jenuh pada $37,8^\circ C$ , psia	188,3
7	Kerapatan cairan jenuh pada $37,8^\circ C$ , ( $kg/m^3$ )	471,3
8	Kerapatan uap jenuh pada $37,8^\circ C$ ( $kg/m^3$ )	28,53
9	Kerapatan uap jenuh pada NBP, $kg/m^3$	2,412
10	Konduktivitas Termal cairan jenuh $37,8^\circ C$ , w/mk	0,0868
11	Konduktivitas Termal uap jenuh $37,8^\circ C$ , w/m k	0,0211
12	Viskositas cairan jenuh pada $37,8^\circ C$ , uPa-s	84,58
13	Viskositas uap jenuh pada $37,8^\circ C$ , uPa-s	9,263

Sebagai refrigeran pengganti karena telah memenuhi persyaratan refrigeran pengganti. Beberapa kelebihan dari Musicool adalah: tidak memerlukan penggantian komponen, Tidak memerlukan penggantian oli, jumlah pengisian media pendingin hanya 30% dari jumlah media pendingin CFC maupun HFC, menurunkan aliran listrik rata-rata 18 - 23%, menambah umur pemakaian kompresor, pencapaian temperatur dingin lebih cepat, momen torque terhadap motor listrik penggerak kompresor menjadi turun dan pada kompresor 1 phase, saat dilakukan penyalaan tidak memerlukan bantuan "starting kapasitor"

2.4. Secondary refrigerant

Secondary refrigerant atau refrigeran sekunder digunakan untuk menyerap panas dari objek yang didinginkan tanpa berubah fasa. Refrigeran sekunder didinginkan terlebih dahulu oleh refrigeran primer sebelum menyerap kalor dari objek. Syarat – syarat refrigeran sekunder yaitu: viskositas rendah, kalor jenis tinggi, memiliki konduktivitas thermal yang baik, memiliki senyawa kimia yang tidak mudah korosi, senyawa kimia stabil, tidak ada pemisahan atau penurunan , tidak beracun dan tidak mudah terbakar.

Tabel 4 berikut merupakan tabel beberapa refrigeran sekunder yang sering digunakan.

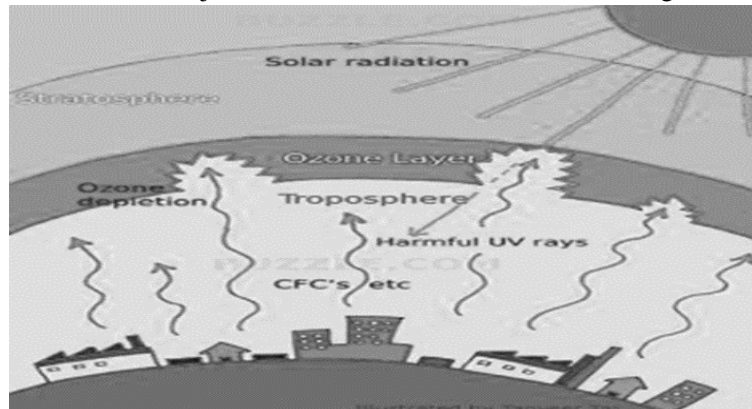
Tabel 4. Refrigeran Sekunder ( Zafer, 2003)

Description	Concentration Freezing Temperature		
	-15°C 5 °F	-30°C -22°F	-40°C -40°F
Ethylene Glycol / Water	30.5	45.4	52.8
Propylene Glycol / Water	33.0	48.0	54.0
Ethyl Alcohol / Water	24.5	40.9	53.1
Methyl Alcohol / Water	20.0	33.6	41.0
Glycerol / Water	39.5	56.0	63.0
Ammonia / Water	10.8	17.7	21.1
Potassium Carbonate / Water	27.0	36.6	-
Calcium Chloride / Water	17.9	25.4	28.3
Magnesium Chloride / Water	14.0	20.5	-
Sodium Chloride / Water	18.8	-	-
Potassium Acetate / Water	24.0	34.0	39.0
Potassium Formate / Water	24.0	36.0	41.0

2.6 Ozone depleting potential (ODP)

Ozon terbentuk dari ketika radiasi energi-tinggi memecah molekul oksigen (O<sub>2</sub>) dan membebaskan atom oksigen. Atom oksigen ini kemudian bereaksi dengan molekul oksigen yang masih utuh, yang terdiri atas dua atom oksigen yang terikat, dan membentuk ozon yang memiliki tiga oksigen (O<sub>3</sub>).

Ozone depleting potential adalah potensi berkurangnya jumlah ozon di lapisan ozon (stratosphere). Adanya penipisan lapisan ozon ditandai dengan ditemukannya lubang ozon di Antartika. Ozon berfungsi untuk menahan radiasi sinar ultraviolet dari matahari agar tidak menembus hingga permukaan bumi. Paparan sinar ultraviolet yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia, seperti kanker kulit, katarak, dan terganggunya sistem imun. (ASHRAE, 2009). Gambar 3 merupakan ilustrasi ODP dan Tabel 5 menjelaskan besaran ODP dan GWP masing-masing refrigeran.



Gambar 3. Ilustrasi ODP

Tabel .5 Tabel GWP

Refrigerant	ODP	GWP	Refrigerant	ODP	GWP	Refrigerant	ODP	GWP
CFC 11	1.0	4600	HCFC 123	0.02	93	HC 290	0.0	3.0
CFC 12	0.86	8500	HCFC 124		480	HC 600a	0.0	3.0
CFC 113	0.8	9300	HCFC141b	0.11	270	HFC245fa	0.0	820
CFC 114	0.6	9300	HCFC142b		1650	404A	0.0	3260
CFC 115	0.32	9300	HCFC 23		11700	407A		1770
R 502	0.34	5490	HFC 125	0.0	2800	407C		1530
HCFC 22	0.06	1700	HFC 134a	0.0	1300	410A		1730
Halon 1211	3.0	-	HFC 152a	0.0	140	C. Pentane	0.0	3.0
Halon 1301	10.0	-	HFC 227ca	0.0	2900	-	-	

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Proses Pengerjaan Penelitian

Dalam pengerjaan penelitian, ada beberapa langkah atau proses yang harus dilalui agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Proses pengerjaan penelitian yang akan dilakukan dijelaskan pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Diagram alir penelitian

#### 3.2 Refrigeran yang digunakan

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan menggunakan refrigeran primer dan refrigeran sekunder sebagai media pendinginnya. Refrigeran primer yang digunakan adalah R-22 (HCFC) dan MC-22 (HC). Jumlah refrigerant primer dan refrigeran sekunder yang digunakan oleh sistem refrigerasi *brine cooling* dijelaskan pada tabel 6 dan 7 di bawah ini:

Tabel 6. Jumlah refrigeran primer

Refrigeran Primer	Jumlah
R-22	320 gram
MC-22	144 gram

Tabel 7. Jumlah refrigeran sekunder

Refrigeran Sekunder	Jumlah
<i>Propylene Glycol</i>	2,1 Liter
Air	4,9 Liter

Konsentrasi refrigeran sekunder 30% *propylene glycol* dan 70% air. Produk yang disimpan adalah susu sapi segar sebanyak 4 liter.

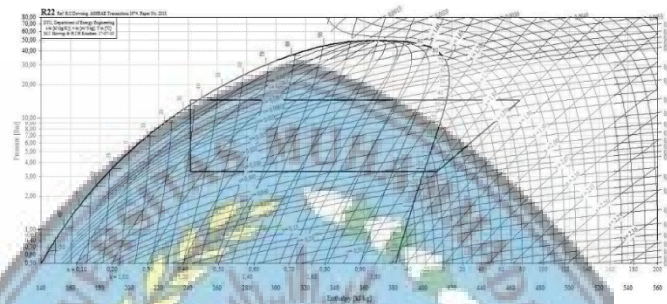
### 3.3. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah alat utama : sistem refrigerasi *brine cooling* dengan 2 refrigeran utama yang berbeda, dan alat-alat ukur : termometer digital, *high and low pressurestat* (HLP), *manifold gauge set*, pompa vakum, *digital clamp meter*, *stopwatch* dan lain-lain.

## 4. HASIL PENELITIAN

### 4.1. Data Pengukuran R-22

Hasil pengukuran sistem menggunakan refrigeran primer R-22 dilakukan selama 300 menit, data pengukuran yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data pada menit ke-284. Data pengukuran dan hasil plot pada diagram P-h pada menit ke-284 seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengeplotan pada diagram P-h di menit ke 284 hasil pengukuran sistem menggunakan refrigeran primer R-22.

Data yang diplot pada diagram P-h adalah :

- Tekanan buang = 13,4 bar gauge = 14,4 bar absolute
- Tekanan hisap = 2,3 bar gauge = 3,3 bar absolute
- Temperatur keluaran kondensor = 31°C
- Temperatur isap = 4°C

Besar nilai entalpi yang diperoleh dari diagram P-h adalah sebagai berikut :

$$h_1 = 409,599 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 466,194 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 241,802 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Temperatur Evaporasi (Te)} = -11,99^\circ\text{C} = 261,01 \text{ K}$$

$$\text{Temperatur Kondensasi (Tc)} = 37,44^\circ\text{C} = 310,44 \text{ K}$$

Setelah nilai entalpi diketahui, maka dapat dihitung kerja kompresi, besarnya kalor yang dibuang oleh kondensor, besarnya kalor yang diserap oleh evaporator, rasio kompresi, COPaktual, COPideal, dan efisiensi sistem. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Kerja kompresi (qw)

$$q_w = h_2 - h_1$$

$$= 466,194 - 409,599$$

$$= 56,595 \text{ kJ/kg}$$

Besar kalor yang dibuang oleh kondensor (qc)

$$q_c = h_2 - h_3$$

$$= 466,194 - 241,082$$

$$= 224,392 \text{ kJ/kg}$$

Besar kalor yang diserap oleh evaporator oleh (qe)

$$q_e = h_1 - h_4$$

$$= 409,599 - 241,082$$

$$= 167,797 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{COP}_{\text{aktual}} = 2,965$$

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = 5,280$$

$$\text{Efisiensi sistem} = 56,15\%$$

#### 4.2. Data Pengukuran MC-22

Hasil pengukuran sistem menggunakan refrigeran primer MC-22 dilakukan selama 300 menit, data pengukuran yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data pada menit ke-220. Data pengukuran dan hasil plot pada diagram P-h pada menit ke-220 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengeplotan pada diagram P-h di menit ke 220 hasil pengukuran sistem menggunakan refrigeran primer MC-22.

Data yang diplot pada diagram P-h adalah :

- Tekanan buang = 11 bargauge = 12 barabsolute
- Tekanan hisap = 2 bargauge = 3 barabsolute
- Temperatur keluaran kondensor = 30°C
- Temperatur hisap = 5°C

Besar nilai entalpi yang diperoleh dari diagram P-h adalah sebagai berikut :

$$h_1 = 584,837 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 685,161 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 285,437 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Temperatur Evaporasi (Te)} = -13,93^\circ\text{C} = 259,07 \text{ K}$$

$$\text{Temperatur Kondensasi (Tc)} = 34,52^\circ\text{C} = 307,52 \text{ K}$$

Kerja kompresi (qw)

$$q_w = h_2 - h_1$$

$$= 685,161 - 584,837$$

$$= 100,324 \text{ kJ/kg}$$

- Besar kalor yang dibuang oleh kondensor (qc)

$$q_c = h_2 - h_3$$

$$= 685,161 - 285,437$$

$$= 399,724 \text{ kJ/kg}$$

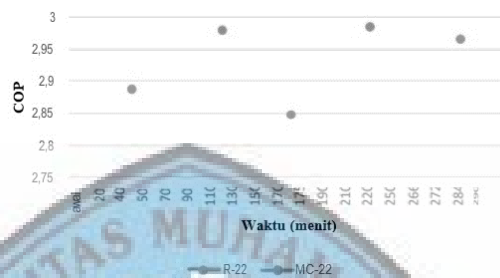
- Besar kalor yang diserap oleh evaporator oleh (qe)



$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4 \\
 &= 584,837 - 285,437 \\
 &= 299,400 \text{ kJ/kg} \\
 \text{COP}_{\text{aktual}} &= 2,984 \\
 \text{COP}_{\text{carnot}} &= 5,347 \\
 \text{Efisiensi sistem} &= 55,81\%
 \end{aligned}$$

#### 4.3. Analisis COP<sub>aktual</sub> dan COP<sub>carnot</sub>

Gambar 7 menunjukkan besar COP<sub>aktual</sub> pada sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran primer R-22 dan MC-22.

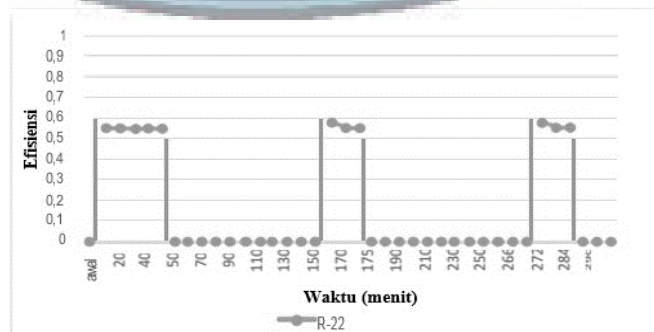


Gambar 7. COP<sub>aktual</sub> R-22 dan MC-22

COP yang tampak pada gambar di atas adalah COP ketika temperatur produk susu telah mencapai temperatur yang diinginkan yaitu 4,5°C. Untuk R-22 temperatur susu tercapai untuk pertama kali yaitu di menit ke 48, dengan COP<sub>aktual</sub> sebesar 2,89, sedangkan untuk MC-22 temperatur susu tercapai untuk pertama kali pada menit 121 dengan COP<sub>aktual</sub> sebesar 2,981. Temperatur susu tercapai untuk kedua kalinya pada menit 172 untuk R-22 dan menit 220 untuk MC-22 dengan COP<sub>aktual</sub> sebesar 2,85 dan 2,984. Temperatur susu tercapai untuk yang ketiga kalinya pada sistem dengan R-22 yaitu pada menit ke 284, dengan COP<sub>aktual</sub> sebesar 2,96.

#### 4.4. Analisis Efisiensi Sistem

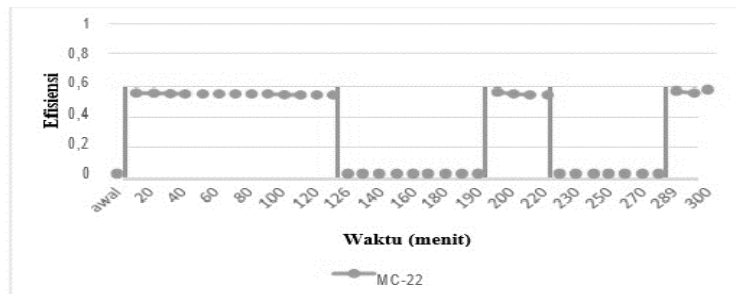
Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan besar efisiensi pada sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran primer R-22 dan MC-22.



Gambar 8. Efisiensi Sistem R-22

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa efisiensi sistem pada saat produk susu tercapai semakin meningkat meskipun tidak terlalu terlihat peningkatannya. Pada saat temperatur produk susu tercapai untuk pertama kalinya, efisiensi sistem yang didapat adalah 55,53% pada menit ke 48. Setelah itu susu kembali mencapai temperatur yang diinginkan pada

menit ke 172 dengan efisiensi 55,81%. Terakhir, produk susu tercapai temperaturnya pada menit ke 284 dengan efisiensi sebesar 56,15%.

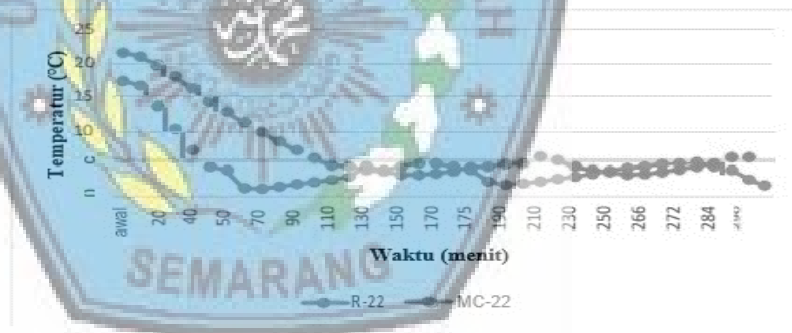


Gambar 9. Efisiensi Sistem MC- 22

Grafik di atas menunjukkan grafik efisiensi dari sistem yang menggunakan refrigeran MC-22, di grafik terlihat bahwa efisiensi sistem pada saat temperatur produk susu tercapai untuk pertama kali pada menit ke 121 adalah 55,76%, sedangkan efisiensi pada saat temperatur produk susu tercapai kedua kali pada menit ke 220 adalah 55,81% sehingga efisiensi yang digunakan adalah efisiensi pada menit ke 220.

Efisiensi terbesar dari masing – masing refrigeran adalah 56,15% untuk R- 22 dan 55,81% untuk MC-22.

#### 4.5. Analisis Temperatur Produk



Gambar 10. Temperatur Produk R-22 dan MC-22

Gambar 10 di atas menunjukkan grafik temperatur produk susu yang didinginkan menggunakan refrigeran R-22 dan MC-22. Temperatur awal produk R-22 adalah 17,3°C sedangkan MC-22 adalah sebesar 21,6°C. Dari grafik terlihat penurunan temperatur R-22 lebih signifikan dibandingkan penurunan temperatur MC-22. *Chilling time* sistem R-22 adalah selama 48 menit, sedangkan untuk sistem MC-22 selama 121 menit. Dalam waktu 300 menit, sistem R-22 mengalami 3 kali cut on sedangkan untuk sistem MC-22 mengalami 2 kali cut on.

## 5. SIMPULAN

Setelah melakukan pengolahan data dan analisis maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai  $COP_{\text{aktual}}$  dan  $COP_{\text{carnot}}$  yang didapatkan dari sistem refrigerasi dengan refrigeran R-22 adalah 2,965 dan 5,280, sedangkan untuk sistem refrigerasi dengan refrigeran MC-22 didapatkan hasil 2,984 dan 5,347.

2. Dari nilai  $COP_{\text{aktual}}$  dan  $COP_{\text{carnot}}$ , didapatkan efisiensi sistem dari sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R-22 adalah 56,15%, sedangkan untuk sistem dari sistem refrigerasi menggunakan refrigeran MC-22 adalah 55,81%.
3. *Chilling time* untuk mencapai temperatur produk 4,5°C, sistem refrigerasi menggunakan R-22 adalah selama 48 menit, sedangkan sistem refrigerasi menggunakan MC-22 adalah selama 121 menit.

## 6. REFERENSI

- Althouse, A. D., et. all., "Modern Refrigeration and Air Conditioning", Goodheart Wilcok, Illinois, 2004.
- Arora C.P., "Refrigeration and Air Conditioning (3rdEdition)", Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2009.
- ASHRAE, "ASHRAE Handbook of Fundamental", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2009.
- AG, Linde Gases, "Refrigerants Environmental Data", [Katalog], Ozone Depletion and Global Warming Potential, 2007.
- Anonim, "Material Safety Data Sheet", [Katalog], MUSICOOL MC-22 Natural Refrigerant, 2004.
- Dossat, R. J., "Principle of Refrigeration and Air Conditioning (2ndEdition)", John Willey and Sons, New York, 1981.
- Maulana, Agus, "Refrigeran Hidrokarbon Musicool (MC)", PT. Milba, Jakarta, Indonesia.
- Pertamina, "Natural Refrigerant Hydrocarbon", Promoting Green Chiller Event, Jakarta, 2016.
- Pertamina, "Musicool 22", Tersedia: <http://www.pertamina.com/our-business/hilir/pemasaran-dan-niaga/produk-dan-layanan/solusi-bisnis/gas-produk/musicool/musicool-22/>, 2012. [15 Februari 2016]
- Zafer, U., 2003, "Secondary Refrigeration European Experiences, 2003 ASHRAE Winter meeting Chicago", USA, Environmental Process Systems Limited Unit 32, Mere View Industrial Estate, Yaxley, Cambridgeshire, PE7 3HS.