

**ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA REFRIGERATOR KAPASITAS 2 PK DENGAN REFRIGERAN R-12 DAN MC 12**

**Suroso, I Wayan Sukania, dan Ian Mariano**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Jl. Let. Jend. S. Parman No. 1 Jakarta 11440

Telp. (021) 5672548 Fax. (021) 5663277

e-mail: suroso128@yahoo.com

**Abstrak**

Refrigeran R-12 akan dibatasi penggunaannya, bahkan dilarang sama sekali digunakan karena mengandung CFC dan HFC yang dapat merusak lapisan ozon. Sebagai gantinya Indonesia telah memproduksi Musi Cool 12 (MC 12). Untuk mengetahui kinerja refrigerator dengan refrigeran MC 12 maka perlu dilakukan penelitian. Penelitian dilakukan menggunakan refrigerator kapasitas 2 PK, dan pengukuran dilakukan terhadap temperatur, tekanan, arus listrik, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak (*steady state*). Peralatan pengukuran yang digunakan adalah, termometer, pressure gauge, stopwatch, dan tang ampermeter. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan efek refrigerasi, kerja kompresor, daya listrik penggerak kompresor dan *coefficient of performance* (COP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa refrigeran MC 12 dapat digunakan sebagai pengganti refrigeran R-12 dengan hasil penelitian nilai koefisien prestasi (COP) refrigerator lebih besar maksimum 67% dan penggunaan listriknya lebih hemat 33% dibandingkan bila menggunakan R 12.

**Kata kunci:** Analisis, refrigeran R 12, Musi Cool 12, COP, kapasitas 2 PK

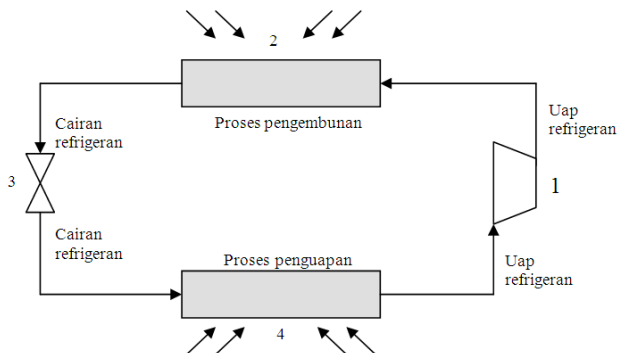
**Pendahuluan**

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Sedangkan refrigeran adalah zat yang mengalir dalam mesin pendingin (refrigerasi) atau mesin pengkondisian udara (AC). Zat ini berfungsi untuk menyerap panas dari benda atau udara yang didinginkan dan membawanya kemudian membuangnya ke udara sekeliling di luar benda/ruangan yang didinginkan. Refrigeran R 12 adalah refrigeran yang tidak ramah lingkungan dan dapat merusak lapisan ozon karena mengandung CFC dan HFC, sehingga penggunaannya akan dibatasi bahkan dilarang sama sekali.<sup>[1]</sup> Indonesia telah memproduksi jenis refrigeran dengan kualitas yang sama dan lebih ramah lingkungan sebagai pengganti refrigeran R 12 yaitu MUSI.Cool 12.<sup>[2]</sup> Untuk mengetahui kinerja refrigerator dengan refrigeran MUSI.Cool 12 maka perlu dilakukan penelitian. Pada kertas kerja ini akan dilakukan penelitian mengenai perbandingan kinerja refrigerator kapasitas 2 PK dengan refrigeran R 12 dan MUSI.Cool 12. Diharapkan dari penelitian ini akan diperoleh informasi ilmiah tentang perbandingan kinerja refrigerator kapasitas 2 PK dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MUSI.Cool 12.

**Teori**

**1. Prinsip Dasar Sistem Kompresi Uap Pada AC (Air Conditioner)**

Sistem kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yang terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Prinsip kerja AC sketsanya diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram prinsip kerja AC.<sup>[3,4]</sup>

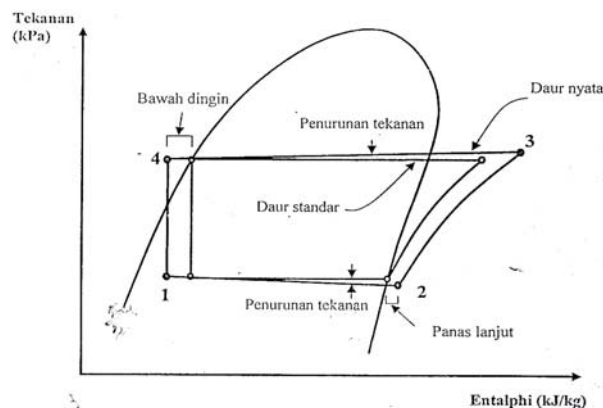
Keterangan gambar:

- 1. Kompresor
- 2. Kondensor
- 3. Katup ekspansi
- 4. Evaporator

Cara kerja AC adalah sebagai berikut: gas refrigeran yang ke luar dari evaporator dan bertekanan rendah dihisap oleh kompresor, kemudian di dalam kompresor refrigeran dikompresi sehingga menyebabkan tekanan dan temperaturnya menjadi tinggi. Setelah itu refrigeran dialirkan ke dalam kondensor yang kemudian didinginkan oleh kipas, sehingga terjadi pengembunan yang menyebabkan terjadinya perubahan fase dari gas menjadi cair. Proses ini dinamakan kondensasi, namun pada fase ini temperatur dan tekanannya masih tetap tinggi. Refrigeran dengan fase cair kemudian masuk ke dalam saringan, disini kotoran-kotoran disaring sebelum mengalir ke dalam katup ekspansi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan. Oleh katup ekspansi tekanannya menjadi turun. Refrigeran dengan tekanan dan temperatur rendah dialirkan ke dalam evaporator, disini refrigeran mengalami penguapan karena menyerap kalor dari lingkungan yang masuk di sekitar evaporator, proses ini disebut evaporasi. Refrigeran berubah fase dari fase cair menjadi gas dengan temperatur dan tekanan konstan. Siklus ini terus berulang dan kembali seperti semula.

## 2. Daur Kompresi Uap Nyata

Daur kompresi uap nyata merupakan siklus nyata dari hasil percobaan. Gambar 2 memperlihatkan bahwa siklus nyata mengalami pengurangan efisiensi di dibandingkan dengan daur standar. Ada juga perubahan lain dari daur standar, yang cukup berarti atau tidak dapat diabaikan. Perbandingan dapat dilakukan dengan menempelkan diagram daur kompresi uap nyata pada diagram tekanan – entalphy daur standar.



Gambar 2. Daur kompresi uap nyata dibandingkan dengan uap standar.<sup>[5]</sup>

Dengan bantuan diagram entalphy-tekanan, besaran yang penting dalam daur kompresi uap dapat diketahui. Besaran-besaran ini adalah kerja kompresi, laju pengeluaran panas, efek refrigerasi, koefisien prestasi (COP). Persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kinerja dari refrigerator adalah sebagai berikut.<sup>[6]</sup>

### 1. Proses evaporasi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efek refrigerasi yaitu:

$$q_e = (h_1 - h_4) = \Delta h \quad (1)$$

Dengan:

$q_e$  : Efek refrigerasi (kJ/kg)

$h_1$  : Entalphy refrigeran keluar sistem evaporator dan sebelum masuk kompresor (kJ/kg).

$h_4$  : Entalphy refrigeran keluar katup ekspansi dan sebelum masuk evaporator (kJ/kg).

$\Delta h$  : Kenaikan entalphy (kJ/kg).

### 2. Kerja Kompresor

Persamaan untuk menghitung kerja kompresor yaitu:

$$W_{in} = (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Dengan:

$W_{in}$  : Kerja kompresor (kJ/kg).

$h_2$  : Entalpi refrigeran pada saat proses kompresi (kJ/kg)

3. *Coefficient of performance* (COP)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung COP adalah:

$$COP = \frac{q_e}{W_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Dengan:

*COP* : Koefisien prestasi

 $q_e$  : Efek refrigerasi (kJ/kg)

 $W_{in}$  : Kerja kompresor (kJ/kg)

## 4. Daya listrik penggerak kompresor

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui besarnya daya listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor adalah:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \cdot \eta_{motor} \quad (4)$$

Dengan:

 $V$  : Tegangan listrik (volt)

 $I$  : Kuat arus (ampere)

 $\cos \theta$  : Faktor daya motor penggerak

 $\eta_{motor}$  : Efisiensi motor

**Tata Kerja**
**1. Refrigeran R-12 dan MC-12**

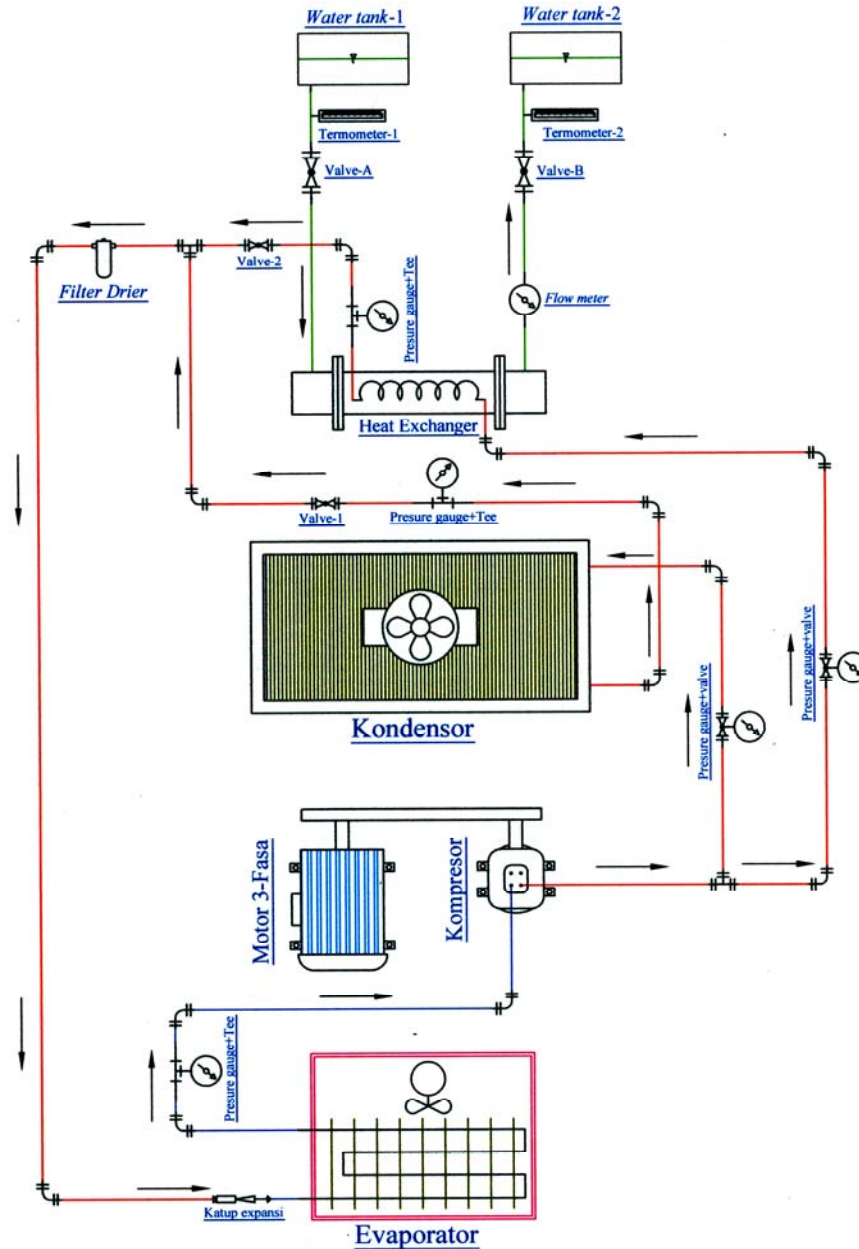
Refrigeran R-12 adalah refrigeran yang akan dibatasi penggunaannya karena mengandung CFC dan HFC yang dapat merusak lapisan ozon. Sebagai penggantinya Indonesia telah memproduksi refrigeran dengan kualitas yang sama dengan R-12 yaitu Musi Cool 12 atau MC-12. Sifat fisis dan termodinamika dari refrigeran R-12 dan MC-12 diberikan pada Tabel 1.

 Tabel 1. Sifat fisika dan termodinamika refrigeran R-12 dan MC 12 pada temperatur 37,8 °C.<sup>[1,2]</sup>

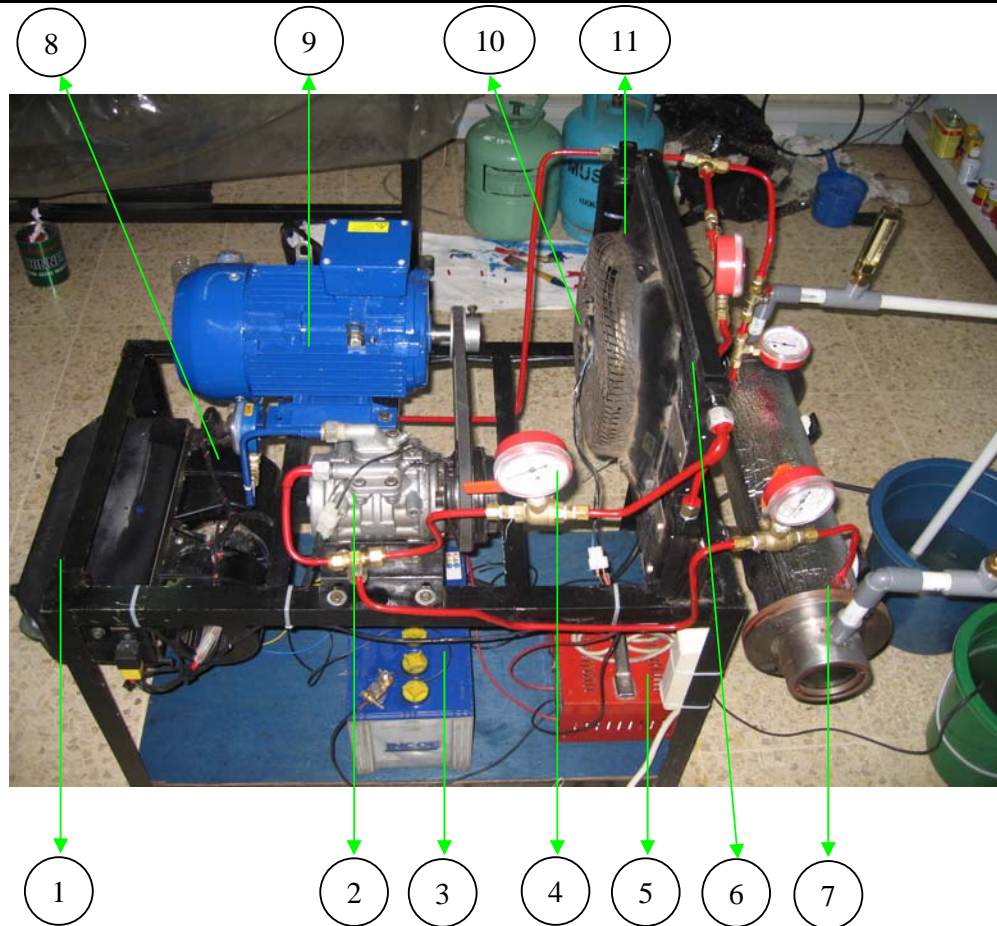
No	Parameter	R-12	MC-12
1	Temperatur kritis (°C)	111,97	115,5
2	Tekanan kritis (Psia)	599,9	588,6
3	Panas jenis cairan jenuh (kJ/kg.K)	1,026	2,701
4	Panas jenis uap jenuh (kJ/kg.K)	0,7493	2,003
5	Tekanan cairan jenuh (Psia)	131,7	134,4
6	Kerapatan cairan jenuh (kg/m <sup>3</sup> )	1263	503,5
7	Kerapatan uap jenuh (kg/m <sup>3</sup> )	51,46	17,12
8	Konduktivitas termal cairan jenuh (W/mK)	0,0628	0,0898
9	Konduktivitas termal uap jenuh (W/mK)	0,0112	0,0194
10	Viskositas cairan jenuh (uPa-s)	166,5	103,6
11	Viskositas uap jenuh (uPa-s)	12,37	7,997

**2. Peralatan Pengujian dan Pengukuran**

Skema peralatan pengujian diberikan pada Gambar 3, sedangkan peralatan pengujian diberikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Skema peralatan pengujian



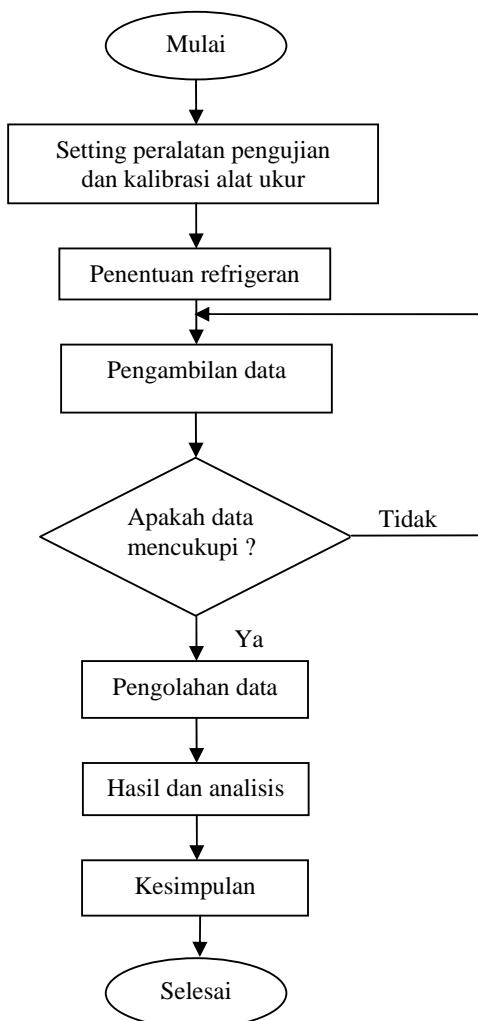
Gambar 4. Peralatan pengujian dan pengukuran pengkondisian udara

Keterangan gambar:

- |                   |                   |                            |
|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 1. Evaporator     | 5. Trafo          | 9. Motor 3 phase           |
| 2. Kompresor      | 6. Kondensor      | 10. Fan motor              |
| 3. Battery/accu   | 7. Heat Exchanger | 11. Receiver/filter driver |
| 4. Pressure gauge | 8. Katup ekspansi |                            |

### 3. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan terhadap temperatur, tekanan, daya listrik penggerak kompresor, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak (*steady state*). Temperatur dan tekanan yang diukur meliputi; temperatur dan tekanan masuk evaporator ( $T_1$ ,  $P_1$ ), temperatur dan tekanan masuk kompresor ( $T_2$ ,  $P_2$ ), temperatur dan tekanan masuk kondensor ( $T_3$ ,  $P_3$ ), serta temperatur dan tekanan masuk katup ekspansi ( $T_4$ ,  $P_4$ ). Pengukuran temperatur juga dilakukan di *tool box*, sebagai simulator volume ruangan yang harus didinginkan oleh refrigerant. Pengukuran temperatur menggunakan termometer digital, tekanan menggunakan *pressure gauge*, daya listrik menggunakan tang amperemeter, dan untuk pengukuran waktu menggunakan *stopwatch*. Pengambilan data dilakukan terhadap tiga kondisi putaran fan yaitu *low*, *medium* dan *high* dengan langkah-langkah penelitian seperti diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan alir langkah-langkah penelitian

**Hasil Dan Pembahasan**

**1. Data Pengukuran**

Data hasil pengukuran kinerja refrigerator dengan menggunakan refrigeran R12 dan MUSI.Cool 12 yang berupa tekanan, temperatur, arus listrik untuk kecepatan fan masing-masing pada fan 1, 2, dan 3 diberikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data pengukuran refrigerator dengan menggunakan refrigeran R 12

Parameter	FAN 1					FAN 2					FAN 3				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
t(menit)	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
T <sub>1</sub> (°C)	25	17	18	17	17	25	16	16	15	15	25	15	15	15	15
T <sub>2</sub> (°C)	25	72	75	75	75	25	75	75	75	75	25	77	76	72	72
T <sub>3</sub> (°C)	25	31	31	31	31	25	30	30	30	30	25	30	30	29	29
T <sub>4</sub> (°C)	25	14	13	14	14	25	11	11	10	10	25	13	13	11	11
P <sub>1</sub> (Psia)	91	28	29	30	30	91	29	28	27	27	91	29	29	28	28
P <sub>2</sub> (Psia)	90	160	165	165	165	90	160	160	160	160	90	160	160	160	160
P <sub>3</sub> (Psia)	80	150	150	150	150	80	145	145	145	145	80	145	145	145	145
P <sub>4</sub> (Psia)	91	28	29	30	30	91	29	28	27	27	91	29	28	28	28
I (ampere)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T <sub>toolbox</sub> (°C)	25	18	18	18	18	25	18	18	17	17	25	17	17	17	17



Tabel 3. Data pengukuran refrigerator dengan menggunakan refrigeran MC 12

Parameter	FAN 1					FAN 2					FAN 3				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
t(menit)	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
T <sub>1</sub> (°C)	25	15	15	14	14	25	16	15	14	14	25	17	16	16	16
T <sub>2</sub> (°C)	25	40	40	40	40	25	39	39	40	40	25	41	42	40	40
T <sub>3</sub> (°C)	25	34	32	34	34	25	34	34	34	34	25	32	32	32	32
T <sub>4</sub> (°C)	25	8	10	10	10	25	8	8	8	8	25	10	11	11	11
P <sub>1</sub> (Psia)	80	31	30	30	30	80	29	29	29	29	80	30	30	30	30
P <sub>2</sub> (Psia)	85	140	141	141	141	85	140	140	140	140	85	140	140	140	140
P <sub>3</sub> (Psia)	80	130	130	130	130	80	129	128	127	127	80	129	129	129	129
P <sub>4</sub> (Psia)	80	31	30	30	30	80	29	29	29	29	80	30	30	30	30
I (ampere)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T <sub>toolbox</sub> (°C)	25	17	16	16	16	25	15	15	15	15	25	16	16	17	17

Data yang diperoleh dari pengukuran seperti diberikan pada Tabel 2 dan 3 dengan bantuan diagram P-h digunakan untuk mendapatkan nilai efek refrigerasi ( $q_e$ ), kerja kompresor ( $W_{in}$ ), nilai COP dan daya penggerak kompresor ( $P_{daya}$ ) dengan menggunakan persamaan 1 sampai dengan 4. Hasil perhitungan dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12 untuk putaran fan 1,2 dan 3 diberikan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Hasil perhitungan dengan menggunakan refrigeran R 12

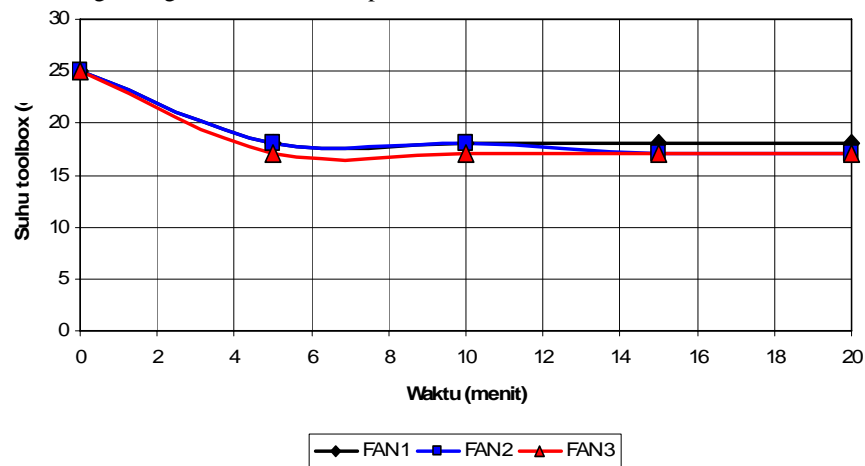
Fan	$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_3$ (kJ/kg)	$h_4$ (kJ/kg)	$q_e$ (kJ/kg)	$W_{in}$ (kJ/kg)	COP	$P_{daya}$ (kW)
1	440	460	390	390	50	20	2,5	133
2	440	470	385	385	55	30	1,8	133
3	440	470	385	385	55	30	1,8	133

Tabel 5. Hasil perhitungan dengan menggunakan refrigeran MC 12

Fan	$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_3$ (kJ/kg)	$h_4$ (kJ/kg)	$q_e$ (kJ/kg)	$W_{in}$ (kJ/kg)	COP	$P_{daya}$ (kW)
1	565	660	295	295	270	95	2,8	100
2	565	660	300	300	265	95	2,7	100
3	570	660	290	290	275	90	3	100

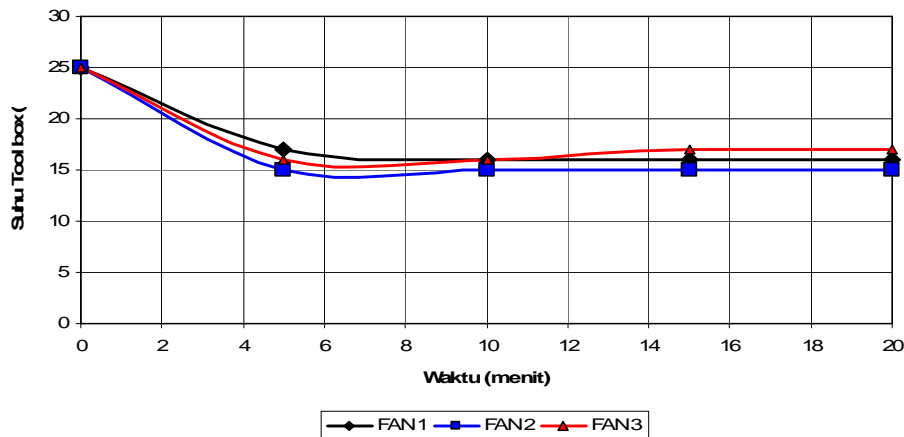
## 2. Hasil pengukuran temperatur pada toolbox

Hasil pengukuran temperatur pada toolbox dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12 yang berupa grafik temperatur sebagai fungsi waktu diberikan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Temperatur pada toolbox sebagai fungsi waktu untuk kecepatan fan 1 (low), fan 2 (medium), dan fan 3 (high) menggunakan refrigeran R-12

Gambar 6 dan 7 menunjukkan temperatur pada *toolbox* sebagai fungsi waktu pengambilan data dengan variasi kecepatan fan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12. Waktu pengambilan data dilakukan selama 20 menit dengan rentang pengambilan data selama 5 menit. Pengambilan data dilakukan untuk 3 kondisi kecepatan putaran fan yaitu; *fan* 1, 2 dan 3 yang masing-masing menunjukkan *fan* 1 untuk kecepatan putaran *low*, *fan* 2 untuk kecepatan putaran *medium* dan *fan* 3 untuk kecepatan putaran *high*. Terlihat pada Gambar 6 kondisi *steady state* dicapai setelah refrigerator beroperasi selama 5 menit untuk *fan* 1 dan 3 serta 15 menit untuk *fan* 2. Suhu kondisi *steady state* untuk fan 1 yaitu pada 18 °C sedangkan fan 2 dan 3 pada 17 °C. Hasil menunjukkan suhu terendah yang dapat dicapai dengan menggunakan refrigeran R-12 adalah 17 °C yaitu terjadi pada kecepatan putaran fan 2 dan 3.



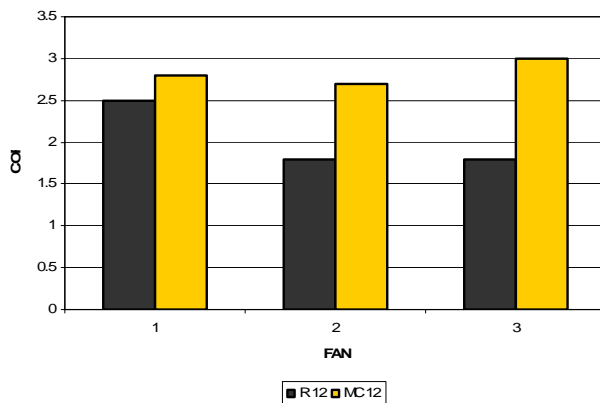
Gambar 7. Temperatur pada *toolbox* sebagai fungsi waktu untuk kecepatan fan 1 (*low*), fan 2 (*medium*), dan fan 3 (*high*) menggunakan refrigeran MC-12

Gambar 7 memperlihatkan kondisi kecepatan *fan* masing-masing *steady state* dicapai setelah refrigerator beroperasi selama 10 menit untuk *fan* 1 dan 5 menit untuk *fan* 2 serta 15 menit untuk *fan* 3. Temperatur pada kondisi *steady state* yang dapat dicapai adalah untuk *fan* 1 yaitu 16 °C dan untuk *fan* 2 yaitu 15 °C serta *fan* 3 yaitu 17 °C. Hasil menunjukkan temperatur terendah yang dapat dicapai dengan menggunakan refrigeran MC-12 adalah dengan menggunakan kecepatan putaran *fan* 2 yaitu 15 °C.

Hasil menunjukkan bahwa temperatur terendah pada *toolbox* yang dapat dicapai jika menggunakan regfrigeran MC-12 adalah 15 °C, sedangkan jika menggunakan refrigeran R-12 temperatur terendah yang dapat dicapai adalah 17 °C. Sedangkan waktu serentak yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady state* untuk putaran fan 1,2 dan 3 baik menggunakan refrigeran R-12 maupun MC-12 adalah sama yaitu 15 menit.

### 3. Nilai *coefficient of performance* (COP)

Hasil pengukuran nilai *coefficient of performance* (COP) dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12 yang berupa grafik batang untuk putaran *fan* diberikan pada Gambar 8.



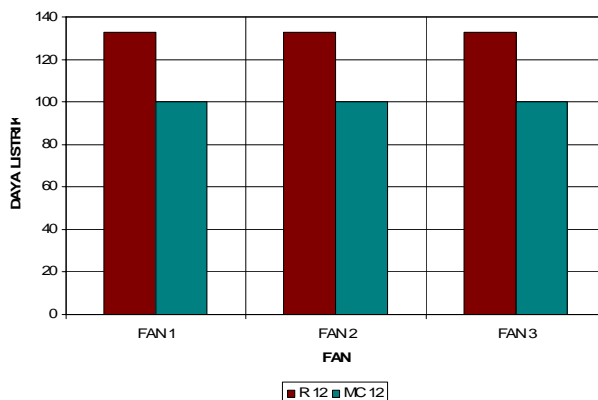
Gambar 8. Nilai COP refrigerator sebagai fungsi putaran fan dengan menggunakan refrigeran R-12 dan MC-12



Gambar 8 menunjukkan nilai COP refrigerator untuk putaran fan 1, 2 dan 3 dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12. Nilai COP dengan menggunakan refrigeran R 12 masing-masing sebesar 2,5 ; 1,8 ; dan 1,8 untuk putaran fan 1, 2 dan 3 sedangkan dengan menggunakan refrigeran MC 12 sebesar 2,8 ; 2,7 ; dan 3 untuk putaran fan 1, 2 dan 3. Perbedaan nilai COP dengan menggunakan refrigeran MC 12 relatif lebih besar dari pada dengan menggunakan refrigeran R 12, yaitu masing-masing 12% untuk fan 1, 50% untuk fan 2, dan 67% untuk fan 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa kinerja refrigerator (AC) dengan kapasitas 2 PK yang ditunjukkan oleh nilai COP relatif lebih besar dengan menggunakan refrigeran MC 12 dari pada R 12.

### 3. Pengukuran daya listrik penggerak kompresor

Hasil pengukuran daya listrik penggerak kompresor dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12 yang berupa grafik daya listrik pada kompresor sebagai fungsi putaran fan diberikan pada gambar 9.



Gambar 9. Daya listrik pada kompresor sebagai fungsi putaran fan dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12.

Gambar 9 menunjukkan daya listrik penggerak kompresor dengan menggunakan refrigeran R 12 dan MC 12. Pengambilan dilakukan untuk 3 kondisi kecepatan putaran fan 1, 2 dan 3 yang masing-masing menunjukkan fan 1 untuk kondisi *low*, fan 2 untuk kondisi *medium* dan fan 3 untuk kondisi *high*. Daya listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor relatif sama untuk 3 kondisi putaran fan yang berbeda dengan menggunakan refrigeran yang sama baik R 12 maupun MC 12. Perbedaan daya listrik untuk menggerakkan kompresor relatif lebih besar jika menggunakan refrigeran R 12 sebesar 133 watt sedangkan MC 12 sebesar 100 watt atau penggunaan daya listrik lebih besar R 12 sebesar 33 % dari pada MC 12. Hal tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan listrik untuk menggerakkan kompresor relatif lebih hemat jika menggunakan refrigeran MC 12.

### Kesimpulan

Analisis perbandingan unjuk kerja refrigerator kapasitas 2 PK dengan refrigeran R12 dan MC12 menunjukkan bahwa refrigeran MC 12 dapat digunakan sebagai pengganti R-12, dengan hasil penelitian nilai (COP) refrigerator dengan menggunakan refrigeran MC 12 lebih besar maksimum 67% dibandingkan refrigeran R 12. dan penggunaan listriknya lebih hemat sebesar 33,3%.

### Daftar Pustaka

1. Nasution, H., 2005, *Refrigeran dan Sifat-sifatnya*, Jurnal Teknik Pendingin, Pendingin, Teknik Mesin Universitas Bung Hatta, Padang.
2. ANONIM, (2005), Refrigeran, MUSI.Cool. Technical Data Sheet, *Brosur Pertamina (Persero)*, Jakarta.
3. Jones, J.W., dan STOECKER, W.F., (1992), *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta.
4. Arismundandar, W., dan SAITO, H., (1991), *Penyegaran Udara, Pradnya Paramita*, Jakarta.
5. Moran.J. M dan Shapiro.N. H. (2000), *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 4<sup>th</sup>*. New York.
6. Dalimunthe. I. S. (2004), *Pengantar Teknik Refrigerasi*. Universitas Sumatera Utara, Medan.