

# Perbandingan Koefisien Prestasi (CoP) pada Refrigerator dengan Refrigeran CFC R12 dan HC R134a untuk Panjang Pipa Kapiler yang Berbeda

Mohammad Arfan Muzakkir<sup>1)</sup> & Rifky<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta.

Jalan Limau II, Kebayoran Baru, Jakarta 12130. Indonesia.

Telp: +62-21-7256659, Fax: +62-21-7256659, Mobile +628151625297

Email : iip\_kiki@yahoo.co.id

## Abstrak

Berbagai-macam refrigeran telah banyak sebagai fluida pada refrigerator, salah satunya yang dapat merusak lingkungan seperti CFC (Cloro Floro Carbon). Untuk mengurangi hal tersebut maka dilakukan penggantian refrigeran yang ramah lingkungan. Penggantian refrigeran memiliki pengaruh cukup besar terhadap temperatur yang dihasilkan di dalam evaporator. Pada penelitian ini, dilakukan penggantian refrigeran CFC R12 ke HC MC134a pada refrigerator satu pintu dan mengganti ukuran panjang pipa kapiler dengan ukuran 1.75m, 2.00m, 2.25m sebagai acuan dasar perbandingan.

Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien prestasi (CoP) untuk panjang pipa kapiler 1,75 m = 3,05 (CFC R12), dan 3,40 (HC MC134a). Untuk panjang pipa kapiler 2 m = 3,04 (CFC R12) dan 3,30 (HC MC134a). Untuk panjang pipa kapiler 2,25 m = 2,95 (CFC R12), dan 3,34 (HC MC134a)

Temperatur evaporator terendah yang di dapat adalah  $-16^{\circ}\text{C}$  dengan ukuran panjang pipa kapiler 2,25 m untuk refrigerant HC MC134a.

**Kata kunci:** refrigeran, temperatur, tekanan, koefisien prestasi (CoP)

## 1 PENDAHULUAN

Mesin pendingin merupakan peralatan yang dijumpai di perkantoran, gedung, dan rumah tangga. Mesin ini berfungsi sebagai *refrigerator*, *freezer*, *chiller* baik untuk kebutuhan *Air Conditioning* (AC) maupun untuk menunjang proses produksi. Refrigeran dikenal dengan nama Freon yaitu fluida/zat pendingin yang berperan dalam sistem pendingin. Pada refrigerator digunakan refrigeran yang mengandung CFC (*Chloro Fluoro Carbon*), yang memiliki sifat stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan kompatibel terhadap bahan komponen Refrigerator. Namun, CFC termasuk ODS (*Ozone Depleting Substance*), yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon. Sebagai penggantinya diciptakan HC (*Hydrocarbon*) yang ramah lingkungan, dengan nilai ODP (*Ozon Depleting Potential*) nol, dan GWP (*Global Warming Potential*) dapat diabaikan, karakteristik perpindahan kalor yang baik, kerapatan fasa uap yang rendah, dan kelarutan yang baik dengan pelumas mineral.

## 2 DASAR TEORI

### 2.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

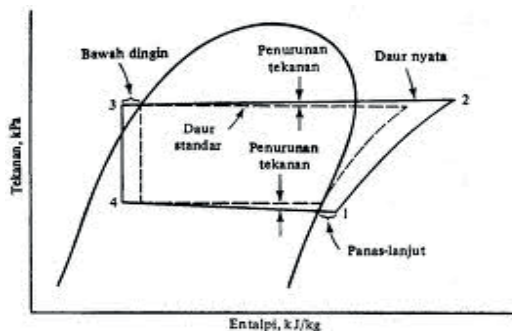
Pada sistem pendingin kompresi uap, dibutuhkan fluida kerja yang diubah fasenya dari gas ke cair dan kemudian dari cair ke gas secara berulang-ulang sehingga didapatkan efek pendinginan. Siklus pendinginan Carnot merupakan kebalikan dari siklus mesin panas Carnot, karena siklus ini mengambil panas pada temperatur rendah dan mengeluarkannya pada temperatur tinggi. Dibutuhkan kerja dalam pendinginan Carnot. Proses utama yang terjadi dalam siklus pendinginan Carnot adalah kompresi adiabatik, pelepasan panas secara isothermal, ekspansi adiabatik serta pengambilan panas secara isothermal (Stoecker, 1982)

Fluida kerja dalam keadaan cair akan mengambil panas pada temperatur dan tekanan rendah sehingga fluida menguap dan berubah fasa menjadi uap. Uap ditekan hingga tekanan dan temperatur jenuh sehingga panas dalam uap tersebut dapat dikeluarkan dan fluida tersebut berubah menjadi cair. Proses pengambilan panas yang dilakukan pada temperatur dan

tekanan yang rendah terjadi di evaporator. Kompresor akan menekan uap hingga tekanan dan temperatur fluida kerja mencapai keadaan lewat jenuh (*superheat*). Pelepasan panas yang dilakukan pada temperatur dan tekanan yang lebih tinggi terjadi di kondensor. (Trott, 1989)

## 2.2 Prestasi Daur Kompresi Uap Standar

Diagram entalpi-tekanan dapat mengetahui besaran dalam daur kompresi uap, seperti kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi (CoP), laju aliran massa untuk setiap kilowatt refrigerasi, dan daya per kilowatt refrigerasi. Kerja kompresi adalah perubahan entalpi pada proses 1-2 dalam gambar 1, atau  $h_1 - h_2$ . Hubungan ini diturunkan dari persamaan aliran energi yang mantap (*steady flow of energy*)  $h_1 + q = h_2 + w$  dengan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, karena dalam kompresi diabaikan perpindahan kalor  $q$  nilainya nol, kerja  $w$  sama dengan  $h_1 - h_2$ . Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif, yang menunjukkan bahwa kerja diberikan pada sistem.



**Gambar 1** Daur kompresi uap standar dalam diagram tekanan-entalpi

Keterangan :

- 1 – 2: Kompresi reversible adiabatik dari uap jenuh.
- 2 – 3: Pembuangan panas pada tekanan konstan secara reversible desuperheating dan kondensasi.
- 3 – 4: Ekspansi irreversible pada entalpi konstan dari cair jenuh ke tekanan evaporatif.
- 4 – 1: Penyerapan panas reversible pada tekanan konstan untuk penguapan ke uap jenuh.

Pelepasan kalor dalam kJ/kg adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada proses 2-3, yaitu  $h_3 - h_2$ . Ini berasal dari persamaan aliran energi yang mantap, dimana energi kinetik, energi potensial, dan kerja dikeluarkan. Harga  $h_3 - h_2$  negatif menunjukkan kalor dikeluarkan dari refrigeran. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensor,

dan untuk menghitung besarnya aliran cairan pendingin kondensor. Dampak refrigerasi dalam kJ/kg adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4 – 1, atau  $h_1 - h_4$ . Besarnya harga ini (proses) merupakan tujuan utama dari seluruh sistem.

Koefisien prestasi dari daur kompresi uap standar adalah laju kalor yang diserap dari media yang didinginkan dibagi dengan kerja kompresi :

$$\text{Koefisien prestasi} = \text{CoP}_R = \frac{q_L}{W_{\text{net},i}}$$

Laju aliran volume dihitung pada bagian masuk kompresor, atau titik keadaan 1. Laju aliran volume merupakan petunjuk kasar ukuran fisik kompresor. Semakin besar laju tersebut, semakin besar volume langkah kompresor, dalam ukuran meterkubik perdetik. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi, dan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya per-kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi. Berdasarkan (www.scribd.com/doc/56382688/diktat-termo-lanjut2-1) persamaan yang berkaitan dengan *refrigerant* adalah:

- (a) Dampak refrigerasi =  $h_1 - h_4$  (di lihat dari tabel)
- (b) Kerja kompresi per-kilogram =  $(h_2 - h_1)$  (dari tabel)
- (c) Laju pendaauran refrigerant, laju aliran ( $m$ ) =  $\frac{\text{Kapasitas Refrigerasi}}{h_1 - h_4}$
- (d) Laju kalor yang diserap dari media yang didinginkan:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$h_1 - h_4 = \text{dari tabel Refrigeran}$$

Daya kompresor:

$$\dot{W}_i = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$(h_2 - h_1) = \text{dari tabel Refrigeran}$$

- (e) *Coefficient of Performance*:

$$\text{CoP}_R = \frac{q_L}{W_{\text{net},i}}$$

## 2.3 Prinsip Dasar Mesin Pendingin

Pada dasarnya tiap-tiap mesin pendingin terdiri atas:

- Motor Penggerak
- Kompresor

- Saringan/filter drier
- Kondensor
- Pipa kapiler/katup ekspansi
- Accumulator
- Evaporator

## 2.4 Refrigeran

Refrigeran adalah zat yang bertindak sebagai agen pendingin dengan menyerap panas dari zat/benda lain (Dossat, 1961). Dalam siklus kompresi uap, refrigeran akan mengalami proses penguapan dan pendinginan secara terus menerus. Suatu zat dapat digunakan sebagai refrigeran jika mempunyai sifat kimia, termodinamik, dan sifat fisik yang sesuai sehingga aman digunakan dan ekonomis.

Refrigeran diklasifikasi ke dalam beberapa kelas berdasarkan jenis fluida yang di gunakan, yaitu :

- CFC (chlorodifluorocarbon)
- HCFC (hydrochlorofluorocarbon)
- HFC (hydrofluorocarbon)
- HC (hydrocarbon)
- Natural

Faktor kinerja refrigeran diukur pada keadaan kerja (beban pendinginan, temperatur kondensasi, temperatur evaporasi). Parameter yang berhubungan antara lain CoP, efek refrigerasi, daya kompresi, laju aliran uap refrigeran. (Dossat, 1961). Sifat refrigeran yang mempengaruhi CoP antara lain kalor laten penguapan, volume jenis uap refrigeran, perbandingan kompresi (*compression ratio*), dan panas jenis refrigeran pada keadaan cair dan gas. Kalor laten penguapan yang tinggi menghasilkan laju aliran massa refrigeran lebih rendah. Hal ini membuat efisiensi dan kapasitas kompresor meningkat. (Dossat, 1961). Panas jenis refrigeran pada keadaan cair yang rendah dan pada keadaan

gas yang tinggi merupakan kedua sifat yang meningkatkan efek pendinginan. Panas jenis refrigeran pada keadaan cair meningkatkan efek pendinginan lanjut sedangkan panas jenis refrigeran pada keadaan gas menurunkan efek pemanasan lanjut. Beberapa refrigeran dapat memberikan rasio kompresi yang paling rendah, yang akan mengurangi kerja kompresi (Dossat, 1961).

### 2.4.1 Karakteristik Termofisika Hidrokarbon

Pemilihan hidrokarbon sebagai refrigeran alternatif harus memperhatikan beberapa hal diantaranya titik didih pada tekanan normal, kapasitas volumetrik dan efisiensi energi. Titik didih harus diperhatikan untuk menjamin apakah tekanan operasi sama dengan CFC untuk menghindari keperluan penggantian peralatan tekanan tinggi seperti kompresor.

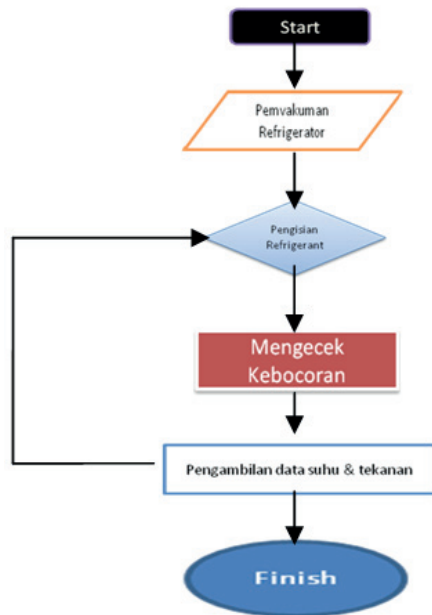
Refrigeran hidrokarbon yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah Musicool. Sifat fisiknya berdasarkan pengujian laboratorium Pertamina ditampilkan pada tabel 1, yang menunjukkan bahwa hidrokarbon Musicool (MC) mampu menggantikan refrigeran sintetik (CFC, HCFC, HFC) secara langsung tanpa penggantian komponen sistem refrigerasi. MC-12 menggantikan R-12, MC-22 menggantikan R-22 dan MC-134 menggantikan R-134a. Sifat fisika dan termodinamik hidrokarbon Musicool memberikan kinerja sistem refrigerasi yang lebih baik, keawetan umur kompresor, dan hemat energi. Beberapa parameter perbandingan kinerja Musicool terhadap refrigeran sintetik pada sistem refrigerasi dengan beban 1 TR pada temperatur kondensasi 100 °F dan temperatur evaporator 40 °F di tunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1** Sifat Fisika dan Termodinamika Musicool

No	Parameter	R-12	MC-12	R-22	MC-22	R-134a	MC-134
1.	Normal boiling point, °C	-29,75	-32,90	-40,80	-42,05	-26,07	-33,98
2.	Temperatur kritis, °C	111,97	115,5	96	96,77	101,06	113,8
3.	Tekanan Kritis, psia	599,9	588,6	723,7	616,0	588,7	591,8
4.	Panas jenis cairan jenuh pada 37,8°C, Kj /Kgk	1,026	2,701	1,325	2,909	1,486	2,717
5.	Panas jenis uap jenuh pada 37,8 ° C, Kj/ Kgk	0,7493	2,003	0,9736	2,238	1,126	2,014
6.	Tekanan cairan jenuh pada 37,8 °C, psia	131,7	134,4	210,7	188,3	138,9	139,4
7.	Kerapatan cairan jenuh pada 37,8°C, ( kg/m <sup>3</sup> )	1263	503,5	1138	471,3	1156	500,6
8.	Kerapatan uap jenuh pada 37,8°C ( kg/m <sup>3</sup> )	51,46	17,12	62,46	28,53	47,05	17,76
9.	Kerapatan uap jenuh pada NBP, kg/m <sup>3</sup>	6,29	1,642	4,705	2,412	5,259	1,642
10.	Konduktivitas Termal cairan jenuh 37,8°C,w/mk	0,0628	0,0898	0,0778	0,0868	0,0756	0,0896
11.	Konduktivitas Termal uap jenuh 37,8°C,w/m k	0,0112	0,0194	0,0128	0,0211	0,0195	0,01955
12.	Viskositas cairan jenuh pada 37,8°C, uPa-s	166,5	103,6	143,1	84,58	102,5	101,6
13.	Viskositas uap jenuh pada 37,8°C, uPa-s	12,37	7,997	13,39	9,263	8,064	8,044

### 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: kunci pas ukuran 10 inch, tang, detector, timbangan elektrik, selang ber nut (penghubung), mesin vakum, dan mesin *recovery*. Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan ialah: 3 buah pipa kapiler dengan ukuran panjang 1.75 m, 2.00 m, dan 2.25 m; Refrigeran CFC R12 Prestogaz (net 1 kg); Refrigeran HC MC134a Hycool (net 5 kg), dan Selotip pipa

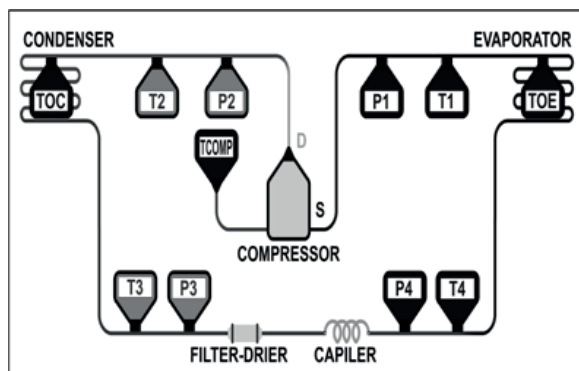
#### 3.3 Prosedur Kerja

Memasang selang ber nut antara katup pengisian refrigeran dan mesin vakum untuk divakum selama 20 menit. Selang ber nut pada vakum dicabut lalu dipasangkan pada katup tabung refrigeran yang dialasi dengan timbangan digital. Katup tabung refrigeran sedikit demi sedikit dibuka bersamaan dengan penekanan tombol on pada refrigerator hingga refrigeran yang terisi ke dalam refrigerator mencapai 130 gram. Bila telah selesai selang ber nut tersebut dapat dicabut dari katup tabung refrigeran. Mengamati dan mencatat data perubahan tekanan dan temperatur per 30 menit. Setelah itu memasang selang ber nut antara katup pengisian refrigeran dan mesin *recovery* untuk disimpan dalam tabung kosong. Kemudian melakukan penggantian pipa berikutnya. Setelah ketiga pipa

dengan refrigeran CFC R12 Prestogaz diambil datanya, kemudian mengganti refrigeran tersebut dengan HC MC134a Hycool dengan langkah pengujian yang sama.

#### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Dalam pengujian ini, data yang di amati adalah tekanan dan temperatur keluar evaporator ( $P_1$  dan  $T_1$ ), temperatur dan tekanan keluar kompresor ( $P_2$  dan  $T_2$ ), temperatur dan tekanan keluar kondensor ( $P_3$  dan  $T_3$ ), temperatur dan tekanan masuk evaporator ( $P_4$  dan  $T_4$ ), seperti pada gambar di bawah. Adapun data yang di ukur adalah temperatur dan tekanan yang terjadi pada saat sistim refrigerator dihidupkan.

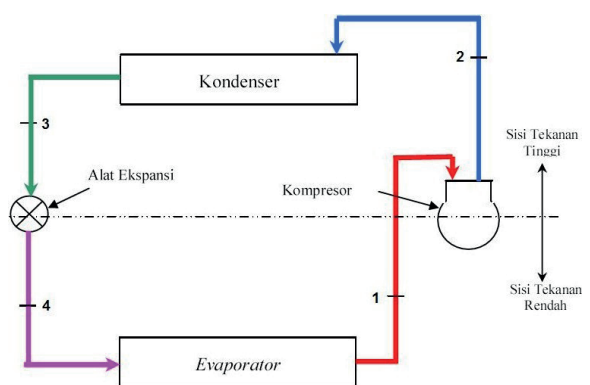


Gambar 3 Skema instalasi peralatan penelitian

### 4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Temuan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (titik pengukuran temperatur dan tekanan) proses refrigerasi yang terjadi dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 4 Siklus refrigerasi kompresi uap standar

Titik 1 -2, merupakan keluaran refrigeran dalam bentuk gas dari evaporator menuju kompresor dengan kondisi refrigeran superheat.



Pada proses titik 1 ini terjadi proses kompresi sehingga tekanan dan temperatur menjadi tinggi dan kenaikan volume tidak ada perubahan yang signifikan.

Titik 2 – 3, merupakan keluaran refrigeran dari kompresor menuju kondensor. Pada titik ini terjadi proses kondensasi, terdapat penyerapan kalor untuk menurunkan temperatur tinggi dan merubah refrigeran dari bentuk gas menjadi cair.

Titik 3 – 4, keluaran refrigeran dari kondensor menuju ke pipa kapiler dengan kondisi refrigeran cair. Pipa kapiler sendiri berfungsi untuk menurunkan tekanan tinggi menjadi tekanan rendah.

Titik 4 – 1, keluarnya refrigeran dari pipa kapiler menuju evaporator dengan kondisi refrigeran yang bertekanan rendah menguap di dalam pipa-pipa evaporator. Penguapan ini membutuhkan energi kalor yang diserap dari sekelilingnya, sehingga ruangan menjadi dingin karena temperaturnya turun.

Koefisien prestasi (CoP) dapat ditentukan dengan dimulai pengukur temperatur dan tekanan sebagai data mentah, kemudian mengolah data tersebut berdasarkan tahapan di bawah ini. Semua data mentah dan data hasil olahan setiap pengujian ditampilkan dalam satu tabel di bawah ini.

#### 4.1.1 Refrigeran CFC R12 dengan Pipa Kapiler 1,75m, ID 0,28 mm

Spesifikasi refrigeran:

Tipe Refrigeran : CFC R12  
 Merek Refrigeran : Prestogaz (net 1 kg)  
 Jumlah yang diisikan : 130 gram

Spesifikasi pipa kapiler:

Panjang (L) : 1.75 m  
 Diameter dalam (ID) : 0,28 mm  
 Bentuk : lurus

Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian:

Temperatur pengembunan : 33°C  
 Temperatur penguapan : -23°C  
 Kapasitas refrigerasi : 0,154 Kw  
 h1 : 341,328 kJ/kg  
 h2 : 372,67 kJ/kg  
 h3=h4 : 231,506 kJ/kg

Keterangan :

nilai h dapat di peroleh dari tabel refrigeran yang terdapat dalam lampiran

Contoh perhitungan:

- Dampak refrigerasi  
 $h1-h4 = 341,328 \text{ kJ/kg} - 231.506 \text{ kJ/kg}$   
 $= 109,822 \text{ kJ/kg}$
- Laju pendaaran refrigeran dapat dihitung dengan membagi kapasitas refrigerasi dengan dampak refrigerasi.  
 laju alir (m) = 0,154 kw  
 $= \frac{109,822 \text{ kJ/kg}}{0,001402 \text{ kg/det}}$
- Laju kalor yang diserap adalah laju pendaaran refrigeran di kalikan dengan dampak refrigerasi.  
 $\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$   
 $= 0,001402 \cdot 109,822$   
 $= 0,15397 \text{ kw}$
- Daya yang dibutuhkan oleh kompresor adalah kerja laju aliran refrigeran dikalikan dengan kompresi per-kilogram.  
 Daya kompresor =  $\dot{W}_n = \dot{m}(h_2 - h_1)$   
 $= 0,001402 \cdot 31,342$   
 $= 0,043941 \text{ kw}$
- Koefisien prestasi adalah laju kalor yang di serap di bagi dengan daya kompresor.

$$\text{CoP}_R = \frac{q_L}{w_{\text{net},in}}$$

$$= \frac{0,15397}{0,043941}$$

$$= 3,504017$$

Hasil yang diperoleh dari penulis terhadap refrigeran tersebut terdapat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2 Hasil uji coba refrigerant CFC R12. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 1.75 m**

No No	Temperatur yang dihasilkan (°C)								Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP
	Menit ke	T1	T2	T3	T4	T.Evap	T.Kon	T.kom	P1	P2	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{W}_n$	$\dot{Q}_L$	
1	30	4	52	32	-23	2	33	47	127,6	858,6	858,6	141,4	341,328	372,67	231,506	0,001402	0,043941	0,15397	3,504017
2	60	-3	66	35	-21	-07	35	62	134,5	893,1	893,1	134,5	342,231	376,24	233,498	0,001416	0,048157	0,153966	3,197168
3	90	-7	66	33	-23	-12	34	64	141,4	893,1	893,1	141,4	341,328	376,24	232,501	0,001415	0,0494	0,15399	3,117206
4	120	-8	68	34	-23	-14	35	66	141,4	927,6	927,6	141,4	341,328	376,64	233,498	0,001428	0,050426	0,153981	3,053603
5	150	-8	68	34	-23	-12	35	65	127,6	893,1	893,1	141,4	341,328	376,64	233,498	0,001428	0,050426	0,153981	3,053603
6	180	-7	69	35	-21	-13	36	66	127,6	927,6	927,6	141,4	342,231	376,8	234,499	0,001429	0,049399	0,153949	3,11644
7	210	-6	69	36	-21	-10	37	67	127,6	927,6	927,6	134,5	342,231	376,8	235,503	0,001443	0,049883	0,154009	3,087405
8	240	-5	71	36	-20	-05	37	67	141,4	952,1	962,1	141,4	342,682	377,2	235,503	0,001437	0,049602	0,154016	3,105036
9	270	-5	72	37	-20	-10	38	68	127,6	927,6	927,6	127,6	342,682	377,4	236,510	0,001450	0,050341	0,153949	3,058124
10	300	-4	72	37	-20	-09	38	68	155,2	996,5	996,5	155,2	342,682	377,4	236,510	0,001450	0,050341	0,153949	3,058124

Ket : T1/P1= outlet evaporator  
 T2/P2= outlet kompresor  
 T3/P3= outlet kondensor  
 T4/P4= inlet evaporator

T.evap= evaporator  
 T.kon = kondensor  
 T.kom = kompresor

**4.1.2 Refrigeran HC MC134a dengan Pipa Kapiler 1,75m, ID 0,28 mm**

**Tabel 3 Hasil uji coba refrigerant HC R134a. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 1.75 m**

No No	Temperatur yang dihasilkan (°C)								Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP
	Menit ke	T1	T2	T3	T4	T.Evap	T.Kon	T.kom	P1	P2	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{Q}_L$	$\dot{W}_n$	
1	30	7	55	31	-20	7	33	49	155	927	927	155	551,30	623,07	285,44	0,000579	0,153933	0,041555	3,70432
2	60	-1	63	31	-21	-2	33	59	155	927	927	155	550,16	627,27	285,44	0,000582	0,154067	0,044878	3,433018
3	90	-4	67	32	-21	-7	34	63	162	962	962	162	550,16	628,75	288,19	0,000588	0,154038	0,046211	3,333362
4	120	-4	68	33	-20	-6	34	63	167	996	996	167	551,30	629,04	288,19	0,000585	0,153919	0,045478	3,384472
5	150	-3	69	34	-19	-6	35	65	167	996	996	167	552,43	629,29	290,96	0,000589	0,154006	0,045271	3,401869
6	180	-2	70	34	-19	-4	35	65	167	996	996	167	552,43	629,50	290,96	0,000589	0,154006	0,045394	3,392651
7	210	-2	71	35	-19	-4	36	66	167	1031	1031	167	552,43	629,68	293,74	0,000595	0,153921	0,045964	3,348729
8	240	-1	72	35	-19	-3	37	67	167	1031	1031	167	552,43	629,81	296,53	0,000602	0,154052	0,046583	3,307043
9	270	0	72	35	-18	-2	37	67	167	1031	1031	167	553,55	629,81	296,53	0,000599	0,153955	0,04568	3,370293
10	300	1	72	35	-18	0	36	67	167	1031	1031	167	553,55	629,81	293,74	0,000593	0,154067	0,045222	3,406904

### 4.1.3 Refrigeran CFC R12 dengan Pipa Kapiler 2m, ID 0,28 mm

Tabel 4 Hasil uji coba refrigerant CFC R12. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 2 m

No	Temperatur yang dihasilkan (°C)								Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP
	Menit ke	T1	T2	T3	T4	T.Evap	T.Kon	T.kom	P1	P2	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{W}_in$	$\dot{Q}_L$	
1	30	5	51	34	-23	3	34	47	127,6	858,6	858,6	134,5	341,328	372,2	232,501	0,0014151	0,043687	0,154001	3,525099
2	60	-3	66	37	-22	-7	37	62	134,5	927,6	927,6	141,8	341,780	376,24	235,503	0,001449	0,049933	0,153995	3,084033
3	90	-6	65	35	-22	-12	36	64	134,5	893,1	893,1	141,8	341,780	376,0	234,499	0,0014355	0,049123	0,154002	3,135028
4	120	-7	67	35	-23	-11	36	65	127,6	893,1	893,1	127,6	341,328	376,4	234,499	0,0014416	0,05056	0,154005	3,045985
5	150	-6	67	35	-23	-11	36	65	141,8	927,6	927,6	141,8	341,328	376,4	234,499	0,0014416	0,05056	0,154005	3,045985
6	180	-6	68	36	-22	-10	36	66	127,6	927,6	927,6	141,8	341,780	376,64	234,499	0,0014355	0,050042	0,154002	3,077455
7	210	-5	68	36	-21	-9	37	66	134,5	927,6	927,6	141,8	342,231	376,64	232,501	0,0014034	0,04829	0,153995	3,188963
8	240	-5	69	37	-22	-9	38	67	141,8	962,1	962,1	141,8	341,780	376,8	236,510	0,0014629	0,051231	0,153999	3,005973
9	270	-4	70	38	-21	-8	38	68	141,8	962,1	962,1	141,8	342,231	377,01	236,510	0,0014567	0,050663	0,154004	3,039773
10	300	-3	70	38	-21	-6	38	68	141,8	996,5	996,5	141,8	342,231	377,01	236,510	0,0014567	0,050663	0,154004	3,039773

### 4.1.4 Refrigeran HC R134a dengan Pipa Kapiler 2m, ID 0,28 mm

Tabel 5 Hasil uji coba refrigerant HC R134a. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 2 m

No	Temperatur yang dihasilkan (°C)								Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP
	Menit ke	T1	T2	T3	T4	T.Evap	T.Kon	T.kom	P1	P2	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{W}_in$	$\dot{Q}_L$	
1	30	-1	54	32	-21	-9	34	47	162	962	962	162	550,16	622,45	288,19	0,000588	0,042507	0,154038	3,623827
2	60	-8	64	34	-20	-17	35	59	167	996	996	167	551,30	627,68	290,96	0,000592	0,045217	0,154121	3,408475
3	90	-9	67	34	-20	-17	36	62	167	996	996	167	551,30	628,75	293,74	0,000598	0,046315	0,154021	3,32551
4	120	-9	68	34	-20	-17	36	63	167	996	996	167	551,30	629,04	293,74	0,000598	0,046489	0,154021	3,313063
5	150	-8	69	34	-20	-14	36	64	176	1031	1031	176	551,30	629,29	293,74	0,000598	0,046638	0,154021	3,302479
6	180	-7	72	35	-19	-12	37	65	176	1031	1031	176	552,43	629,81	296,53	0,000602	0,046583	0,154052	3,307043
7	210	-6	70	36	-19	-12	38	65	183	1065	1065	183	552,43	629,50	299,33	0,000608	0,046859	0,153885	3,284001
8	240	-6	71	36	-19	-11	37	66	183	1065	1065	183	552,43	629,68	296,53	0,000602	0,046505	0,154052	3,31259
9	270	-5	72	36	-18	-10	38	66	183	1065	1065	183	553,55	629,81	299,33	0,000606	0,046214	0,154057	3,333557
10	300	-5	71	35	-19	-10	37	66	176	1031	1031	176	552,43	629,68	296,53	0,000602	0,046505	0,154052	3,31259

### 4.1.5 Refrigeran CFC R12 dengan Pipa Kapiler 2,25m, ID 0,28 mm

Tabel 6 Hasil uji coba refrigerant CFC R12. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 2,25 m

No	Temperatur yang dihasilkan (°C)								Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP
	Menit ke	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{W}_n$	
1	30	18	47	35	-25	18	35	45	107	858	858	107	340,422	371,1	233,498	0,0014403	0,044186	0,154003	3,485335
2	60	5	59	33	-27	7	33	61	0	858	858	0	339,513	374,5	231,506	0,0014258	0,049884	0,153996	3,087082
3	90	3	62	34	-26	6	34	65	114	927	927	114	339,968	375,35	232,501	0,001433	0,050702	0,154	3,037356
4	120	3	65	36	-25	6	36	67	107	893	893	107	340,422	376,0	234,499	0,0014539	0,051727	0,154001	2,977188
5	150	3	65	35	-26	7	35	68	0	858	858	0	339,968	376,0	233,498	0,0014464	0,052117	0,153998	2,954852
6	180	4	67	36	-26	7	36	69	114	927	927	114	339,968	376,4	234,499	0,0014601	0,053194	0,153995	2,894969
7	210	5	67	36	-25	9	36	69	114	893	893	114	340,422	376,4	234,499	0,0014539	0,052308	0,154001	2,944119
8	240	5	68	37	-25	9	37	70	114	920	920	114	340,422	376,64	232,501	0,001427	0,051683	0,154003	2,979761
9	270	6	68	36	-25	9	36	70	114	920	920	114	340,422	376,64	234,499	0,0014539	0,052657	0,154001	2,924606
10	300	6	68	36	-25	11	36	70	114	920	920	114	340,422	376,64	234,499	0,0014539	0,052657	0,154001	2,924606

### 4.1.6 Refrigeran HC R134a dengan Pipa Kapiler 2,25m, ID 0,28 mm

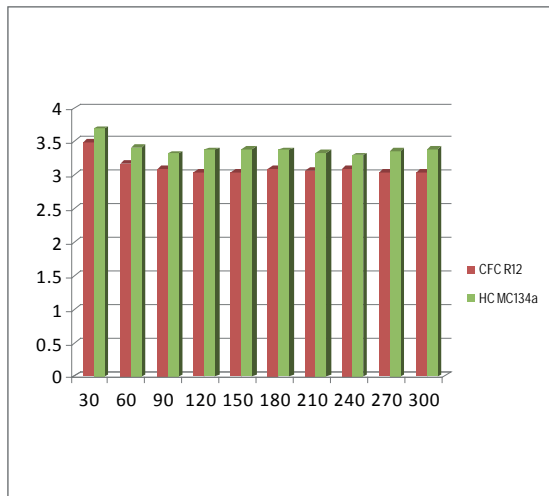
Tabel 7 Hasil uji coba refrigerant HC R134a. Bentuk pipa kapiler lurus, panjang 2,25 m

No	Temperatur yang dihasilkan (°C)							Tekanan (Kpa)				Harga entalpy (h)			Rumus dasar			CoP	
	Menit ke	T1	T2	T3	T4	T.Evap	T.Kon	T.kom	P1	P2	P3	P4	h 1	h 2	h 3=h 4	m	$\dot{W}_n$		$\dot{Q}_L$
1	30	0	52	29	-23	-8	31	45	155	927	927	155	547,89	621,16	279,96	0,000575	0,04213	0,15406	3,656777
2	60	-9	64	32	-22	-15	33	58	162	962	962	162	549,03	627,68	285,44	0,000584	0,045932	0,153937	3,351411
3	90	-9	66	33	-22	-16	34	60	162	996	996	162	549,03	628,43	288,19	0,00059	0,046846	0,153896	3,285147
4	120	-9	67	34	-20	-15	36	62	162	996	996	162	551,30	628,75	293,74	0,000598	0,046315	0,154021	3,32551
5	150	-8	68	34	-20	-14	35	62	167	996	996	167	551,30	629,04	290,96	0,000592	0,046022	0,154121	3,348855
6	180	-7	70	35	-19	-14	37	64	176	1065	1065	176	552,43	629,50	296,53	0,000602	0,046396	0,154052	3,320372
7	210	-7	70	35	-19	-13	37	65	176	1065	1065	176	552,43	629,50	296,53	0,000602	0,046396	0,154052	3,320372
8	240	-6	71	36	-19	-11	38	66	183	1100	1100	183	552,43	628,68	299,33	0,000608	0,04636	0,153885	3,319349
9	270	-5	72	37	-18	-11	38	67	183	1100	1100	183	553,55	629,81	299,33	0,000606	0,046214	0,154057	3,333557
10	300	-5	72	36	-18	-10	38	66	183	1100	1100	183	553,55	629,81	299,33	0,000606	0,046214	0,154057	3,333557



## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Refrigeran CFC R12 vs HC MC134a Pipa Kapiler 1.75 m ID 0,28 mm

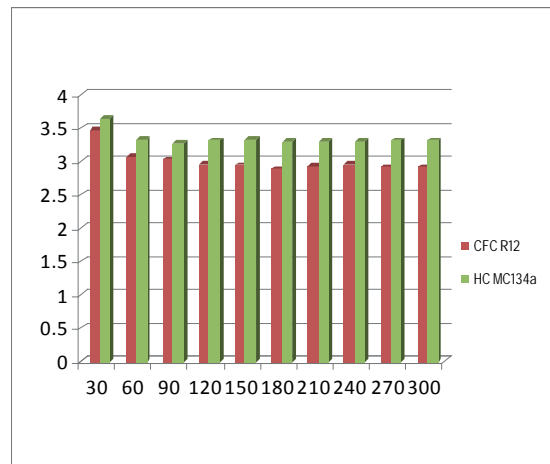


**Gambar 5** Grafik Temperatur Evaporator vs Koefisien Prestasi (CoP) dengan Pipa Kapiler 1.75m

Hasil penelitian dari kedua refrigeran dengan ukuran panjang pipa kapiler 1,75m, dan diameter dalam 0,28mm, tampak bahwa temperatur evaporator pada refrigeran CFC R12 lebih rendah dibandingkan dengan refrigeran HC R134a, temperatur terendah yang dicapai refrigeran CFC R12 adalah  $-14^{\circ}\text{C}$  pada menit ke 120, sedangkan HC R134a temperatur terendah yang dicapai hanya  $-7^{\circ}\text{C}$  pada menit ke 90. Hal tersebut dikarenakan koefisien prestasi (CoP) pada refrigeran MC134a lebih besar dari pada CFC R12. Oleh sebab itu dibutuhkan instalasi pipa yang lebih panjang pada refrigeran MC134a agar supaya mencapai hasil yang maksimal.

Sementara koefisien prestasi tampak tidak stabil (naik turun), hal ini disebabkan proses refrigerasi yang tidak stabil sehingga pada proses kondensasi dan evaporasi pada refrigeran menjadi tidak sempurna, hal ini mengakibatkan rugi tekanan pada proses refrigerasi.

### 4.2.2 Refrigeran CFC R12 Vs HC MC134a Pipa Kapiler 2 m ID 0,28 mm

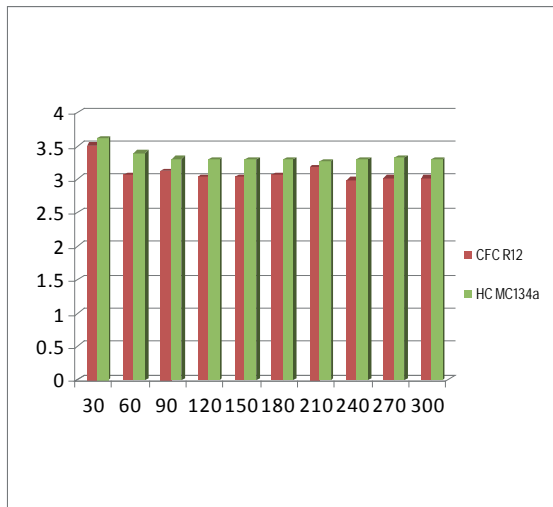


**Gambar 6** Grafik Temperatur Evaporator vs Koefisien Prestasi (CoP) dengan Pipa Kapiler 2 m

Grafik di atas memperlihatkan dengan ukuran panjang pipa kapiler 2 meter, dan diameter dalam 0,28 mm menunjukkan bahwa refrigeran HC MC134a memiliki tekanan dan temperatur yang lebih baik, serta koefisien prestasi yang tinggi dibandingkan dengan refrigeran CFC R12. Hal ini disebabkan sebagai berikut:

- Rasio tekanan (perbandingan tekanan dorong dengan tekanan hisap kompresor) yang lebih kecil dari rasio tekanan refrigeran sintetik mengurangi kerja kompresor, sehingga menghemat konsumsi energi, yang ditunjukkan dengan penurunan arus listrik 10-20%. Oleh karena itu arus listrik *name plate* tidak bisa dijadikan standar ketika melakukan retrofit dengan hidrokarbon.
- Kalor laten dan efek refrigerasi yang lebih besar dari refrigeran sintetik memperbesar kapasitas pendinginan dan *cooling rate*.
- Kerapatan (*density*) hidrokarbon yang lebih kecil dari kerapatan refrigeran sintetik mengakibatkan jumlah pemakaian hidrokarbon lebih sedikit (30%) dari berat penggunaan refrigeran sintetik untuk volume yang sama.
- Viskositas yang lebih kecil dari refrigeran sintetik, memperkecil rugi-rugi tekanan sepanjang sistem refrigerasi yang meringankan beban kompresor dan mengawetkan sistem refrigerasi.

### 4.2.3 Refrigeran CFC R12 vs HC MC134a Pipa Kapiler 2,25 m ID 0,28 mm



**Gambar 7** Grafik termpperatur Evaporator vs Koefisien Prestasi (CoP) dengan Pipa Kapiler 2,25m

Grafik di atas menginformasikan bahwa ukuran panjang pipa kapiler sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Hal ini disebabkan kalor laten dan efek refrigerasi pada refrigeran MC134a lebih besar dibandingkan refrigeran R12, sehingga mengakibatkan kapasitas pendinginan dan cooling rate pada refrigeran MC134a lebih besar dibandingkan dengan refrigeran R12.

## 5 SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari refrigeran CFC dan HC dengan ketiga pipa kapiler, maka didapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Dari kedua refrigeran dengan menggunakan tiga pipa kapiler yang berbeda panjang diketahui bahwa pada pipa kapiler ukuran 2.25 m dengan refrigeran HC MC134a Hycool temperatur di *evaporator* lebih rendah dan koefisien prestasinya (CoP) lebih besar dibandingkan refrigeran CFC R12 dan pemakaian refrigeran lebih banyak CFC R12 dibandingkan HC MC134a Hycool.
2. Temperatur terendah yang dihasilkan oleh refrigeran CFC R12 :  $-14^{\circ}\text{C}$ , pada pipa kapiler yang berukuran panjang 1.75m, sedangkan temperatur terendah yang dihasilkan oleh refrigeran HC MC134a Hycool :  $-16^{\circ}\text{C}$ , pada pipa kapiler yang berukuran panjang 2.25m.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Karyanto, E., Emon Paringga, *Teknik Mesin Pendingin*, Volume 1, CV. Restu Agung, Jakarta, 2005.
- [2] Saito.H., Arismunandar, *Penyegaran Udara*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
- [3] Stocker.W.f., Jones.,J.W., Ahli Bahasa Hara Supratman, *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara, Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [4] Sumanto, *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*, Andi Offset, Yogyakarta, 1994.
- [5] <http://www.ASHRAE.org>.
- [6] <http://www.UP-3.com>.
- [7] <http://www.lontar.ui.ac.id>
- [8] <http://indonesiasejahtera.wordpress.com>