

Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran HFC R-134A Dan Hidrokarbon MC-134

Roswati Nurhasanah, Naryono, Prayudi, Yogi Arif Rokhman

Sekolah Tinggi Teknik-PLN
Menara PLN, Jalan Lingkar Luar Barat, Jakarta Barat 11750
roswatinurhasanah@gmail.com

Abstrak

Penggunaan refrigeran HFC (*Hydro Fluoro Carbon*) R-134a sebagai salah satu alternatif pengganti dari refrigeran CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) masih memiliki dampak *Global Warming Potential* (GWP). Untuk mengurangi hal tersebut, maka harus dilakukan penggantian refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif pengganti refrigeran R-134a adalah refrigeran Hidrokarbon. Pada penelitian ini, dilakukan uji coba pengisian refrigeran R-134a sampai dengan tekanan 20 *psi*, sedangkan untuk hidrokarbon Musicool 134 sampai dengan tekanan 25 *psi*. Tujuan Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari penggunaan refrigeran HFC R-134a dan Hidrokarbon MC-134 dan menganalisis perangkat pendingin udara terhadap pengaruh penggantian refrigeran. salah satu cara untuk mengetahui unjuk kerja adalah mencari COP, kalor yang diserap evaporator, kalor yang dibuang kondensor dan daya kompresor. Dari hasil pengujian, COP Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R134a. Daya kompresor untuk Hidrokarbon MC-134 lebih rendah dari HFC R-134a. Penggunaan refrigeran Hidrokarbon MC-134 dapat menghemat pemakaian energi hingga 17% pada mesin pendingin yang sama. Secara keseluruhan unjuk kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran Hidrokarbon MC-134 lebih baik dibandingkan mesin pendingin menggunakan refrigeran HFC R-134a.

Keywords: Refrigeran, Hydro Fluoro Carbon R-134a, Hidrokarbon, Musicool 134, COP

Pendahuluan

Sistem pendingin memegang peranan penting dalam kehidupan manusia baik yang skala besar untuk industri maupun skala kecil untuk rumah tangga. Saat ini kebanyakan sistem pendingin dengan ukuran dan penggunaan yang bervariasi, hampir semuanya bekerja dengan refrigeran sintetik dibandingkan bahan pendingin alam. Dominasi ini dapat dimaklumi mengingat refrigeran sintetik tersebut pada umumnya mempunyai sifat-sifat yang sangat baik, namun disamping sifat-sifat yang baik itu refrigeran sintetik tersebut mempunyai efek negatif terhadap lingkungan seperti merusak lapisan ozon dan sifat menimbulkan pemanasan global. Dengan adanya efek buruk dari penggunaan refrigeran R-12, maka muncul inisiatif untuk mengganti refrigeran yang ada pada perangkat pendinginan udara tersebut dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti refrigeran R-134a. ODP (Ozone Depletion Potentials) yang dimiliki R-134a sangat rendah dibandingkan dengan R-12 tetapi GWP (Global Warming Potential) pada R-134a sangat tinggi. Dengan alasan ini maka penggunaan R-134a

harus diganti dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif pengganti refrigeran R-134a adalah refrigeran hidrokarbon. Pemilihan refrigeran hidrokarbon adalah salah satu alternatif untuk menggantikan refrigeran R-134a karena hidrokarbon selain rendah terhadap ODP (Ozone Depletion Potentials) juga rendah terhadap GWP (Global Warming Potentials). Penggantian refrigeran R-134a ke refrigeran hidrokarbon pada instalasi yang sama dapat memberikan hasil unjuk kerja yang berbeda. Penelitian ini dilakukan pada sistem pendingin yang sama yaitu pada mesin pendingin yang berada di laboratorium Fenomena Dasar Mesin STT-PLN Jakarta, dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari penggunaan refrigeran HFC R-134a dibandingkan Hidrokarbon MC-134 pada tekanan optimum pengisian serta menganalisis perangkat pendingin udara terhadap pengaruh penggantian refrigeran.

Koefisien Prestasi

Prestasi daur kompresi uap standar atau biasa disebut COP (Coefficient Of Performance) dimana

sistem ini didapat antara efek refrigerasi dengan kerja kompresi.

Untuk menghitung besarnya COP dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$COP = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresi}}$$

Keseimbangan Kalor

Didalam evaporator terjadi penukaran kalor dari media panas yaitu dari udara yang dialirkan oleh fan kepada cairan refrigeran yang sedang mengalami proses penguapan. Dalam penukaran kalor tersebut terjadi keseimbangan yaitu kalor yang dilepas oleh cairan refrigeran harus sama dengan kalor yang diterima oleh udara.

$$Q_e = \dot{m}_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$Q_{ud} = \dot{m}_{ud} \cdot C_{p,ud} \cdot \Delta t_{e,ud} \quad (3)$$

Keseimbangan tersebut dapat dijabarkan rumus dasar sebagai berikut :

$$Q_{ud} = Q_e \quad (3)$$

Dengan luas laluan dan laju alir udara :

$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 \quad (5)$$

$$\dot{m}_{ud} = A_e \cdot V_{ie} \cdot \rho_{ud} \quad (6)$$

Fungsi kondensor adalah untuk mengembunkan uap refrigeran. Agar terjadi pengembunan maka kalor yang dikandung refrigeran harus dibuang. Pembuangan kalor dilakukan oleh udara pendingin yang dialirkan oleh fan. Dalam proses penukaran kalor terjadi keseimbangan kalor yaitu kalor yang dilepas oleh uap refrigerant harus sama dengan kalor yang diterima oleh udara pendingin. Keseimbangan ini dapat dijabarkan dengan rumus dasar sebagai berikut :

$$Q_c = Q_{ud} \quad (7)$$

$$Q_c = \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3) \quad (8)$$

$$Q_{ud} = \dot{m}_{ud} \cdot C_{p,ud} \cdot \Delta t_{k,ud} \quad (9)$$

Dengan luas laluan dan laju aliran udara:

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 \quad (10)$$

$$\dot{m}_{ud} = A_c \cdot V_{oc} \cdot \rho_{ud} \quad (11)$$

Daya kompresor merupakan hasil perkalian antara laju alir massa refrigeran dengan selisih

entalpi antara sisi keluar kompresor dengan sisi masuk kompresor. Jika dituliskan dalam rumus adalah sebagai berikut :

$$P_k = \dot{m}_{ref} \cdot \Delta h_k \quad (12)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (13)$$

Refrigerant

HFC (Hydro-Fluoro-Carbon) -134a adalah refrigeran ozon dan nilai ODP nya sama dengan nol, tetapi nilai GWP (Global Warming Potential) masih sangat tinggi. Musicool-134 adalah refrigeran dengan bahan dasar berupa hidrokarbon sebagai pengganti refrigeran sintetik kelompok Halokarbon yang masih memiliki potensi merusak lingkungan dalam hal penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. MC-134 kompatibel dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-134a seperti AC mobil, kulkas, freezer, water dispenser dan sejenisnya. Keunggulan- Keunggulan dari Musicool adalah Pergantian refrigeran tidak memerlukan pergantian komponen, ramah lingkungan dan hemat energi.

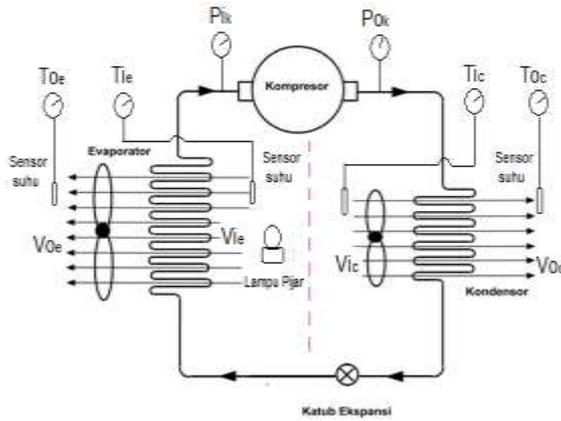
Tabel 1 Physical And Thermodynamics Properties Musicool Refrigerant

PROPERTIES	MC-12	CFC-12	MC-134	HFC-134a	MC-22	CFC-22
Enthalpy Liquid, kJ/kg	201	224	201	225	205	230
Enthalpy, v, kJ/kg	602	363	601	412	601	413
Density, l, kg/m ³	533	1311	531	1207	492	1191
Density, v, kg/m ³	12.56	36.83	12.96	32.35	20.56	44.23
Specific Heat, l, kJ/kg.K	2.53	0.99	2.53	1.42	2.73	1.26
Specific Heat, v, kJ/kg.K	1.89	0.70	1.89	1.03	2.07	0.87
Viscosity, l, uPa.s	129	169	129	195	97.2	164
Viscosity, v, uPa.s	7.9	11.6	7.9	11.7	8.5	12.5
Thermal Conductivity, l, mW/m.K	82	67	82	81	94	83
Thermal Conductivity, v, mW/m.K	17	30	18	34	19	11
Surface Tension, Nm/10 ⁻³	9.8	8.5	9.5	8.1	7.8	8.1
Speed of Sound, m/s, l	785	512	790	566	723	541
Speed of Sound, m/s, v	212	135	212	144	215	160
Saturated Pressure, bar	5.5	6.5	5.7	6.7	9.5	10.4
Temperatur Gidki, °C	7.8		7.7		0	

Note:
l-saturated liquid, v-saturated vapour. All condition given at 25 °C (dew point)

Metodologi Penelitian

Refrigerant yang digunakan adalah HFC R-134a refrigerant sintetik yang tidak memiliki unsur chlor. Oleh sebab itu refrigeran ini tidak merusak lapisan dan Hidrokarbon MC-134. Adapun Skema dan peralatan mesin pendingin yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema peralatan mesin pendingin

Prosedur pengujian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dimulai dari mesin pendingin yang divacum dengan menggunakan pompa vaccum. Kemudian mesin pendingin di start dan dilakukan pengisian refrigeran R-134a sampai dengan tekanan 20 psi, sedangkan untuk hidrokarbon MC-134 sampai dengan tekanan 25 psi. Pengambilan data Tempetur, tekanan dan kecepatan dilakukan setelah didiamkan dalam waktu 15 menit agar kondisi stabil. Pengujian tersebut dilakukan dengan beban bervariasi, yaitu 0W (tanpa beban), 15W, 25W, 40W, 75W dan 100W. Adapun beban yang digunakan adalah dalam penelitian ini adalah lampu pijar.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian R-134a pada tekanan pengisian 1,36 bar (20 psi) dan pengujian HC MC-134 pada tekanan pengisian 1,70bar (25 psi) disajikan pada tabel 2 dan 3 dibawah ini :

Tabel 2. Data pengujian R-134a pada tekanan pengisian 1,36 bar (20 psi)

Data	Beban Lampu						Sat
	0 W	15 W	25 W	40 W	75 W	100W	
T _{1e}	29,2	29,6	30,4	30,8	31,8	33,1	°C
T _{0e}	23,0	23,2	23,8	24,1	25,0	26,1	°C
T _{1c}	29,4	29,4	30,0	30,2	30,3	30,3	°C
T _{0c}	31,9	32,0	32,7	32,9	33,0	33,1	°C
V _{1e}	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	m/s
V _{0e}	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	m/s
V _{1c}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	m/s
V _{0c}	5,0	4,9	4,9	5,0	5,0	5,0	m/s
P _{1k}	1,36	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	bar
P _{0k}	9,20	9,40	9,50	9,60	9,70	9,80	bar
Amp	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75	0,78	A
d _e	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	m
d _c	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	m

Tabel 3. Data pengujian HC MC-134 tekanan pengisian 1,70bar (25 psi)

Data	Beban Lampu						Sat
	0 W	15 W	25 W	40 W	75 W	100 W	
T _{1e}	29	29,3	30,2	30,5	31,6	32,8	°C
T _{0e}	22,2	22,3	22,8	22,9	23,5	24	°C
T _{1c}	29,3	29,3	29,8	30	30	30,1	°C
T _{0c}	32	32,1	32,6	32,9	33,1	33,5	°C
V _{1e}	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	m/s
V _{0e}	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	m/s
V _{1c}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	m/s
V _{0c}	4,8	4,8	5	5	5	5	m/s
P _{1k}	1,7	1,75	1,8	1,84	1,88	1,88	bar g
P _{0k}	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	bar g
Amp	0,56	0,58	0,61	0,62	0,67	0,73	A
d _e	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	m
d _c	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	m

Dari data data tersebut, besarnya COP, kalor yang dilepas kondensor dan besarnya kalor yang diserap evaporator dapat ditentukan, berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 4. COP dan Keseimbangan kalor R-134a tekanan 1,36 bar (20 Psi)

Hal	Beban lampu						Sat
	0 W	15 W	25 W	40 W	75W	100W	
COP	4,35	4,36	4,35	4,33	4,32	4,3	
Q_c	0,649	0,67	0,691	0,702	0,712	0,733	kJ/s
Q_e	0,799	0,824	0,85	0,864	0,877	0,904	kJ/s
\dot{m}_{ref}	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	kg/s
P_k	0,149	0,154	0,159	0,162	0,165	0,17	kW

Tabel 5. COP dan Keseimbangan kalor Hidrokarbon MC-134 tekanan pengisian 1,70bar (25 psi)

Hal	Beban lampu						Sat
	0 W	15 W	25 W	40 W	75W	100 W	
COP	5,79	5,80	5,80	5,79	5,77	5,77	
Q_c	0,7122	0,7332	0,7751	0,796	0,8484	0,9217	kJ/s
Q_e	0,8351	0,8597	0,9086	0,9335	0,9953	1,0813	kJ/s
\dot{m}_{ref}	0,0025	0,0026	0,0028	0,0029	0,0031	0,0033	kg/s
P_k	0,1229	0,1265	0,1335	0,1375	0,1469	0,1596	kW

Berdasarkan data diatas, bahwa analisis unjuk kerja dari kedua refrigeran dapat dilihat dari COP, Kalor yang diserap evaporator, kalor yang dibuang kondensor, dan daya kompresor berdasarkan beban lampu.

Perbandingan COP antara kedua refrigeran tersebut dapat dilihat pada grafik dibawah



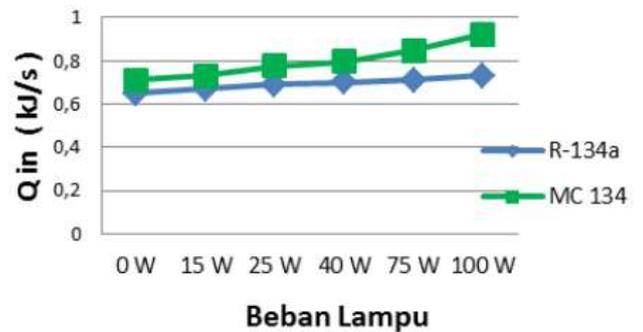
Gambar 2 Grafik COP berdasarkan beban lampu

Nilai COP Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R-134a. Secara keseluruhan COP cenderung konstan terhadap penambahan beban.

Tabel 6. Prosentase selisih COP berdasarkan beban lampu

Beban Lampu	COP		Selisih Nilai	Prosentase %
	HFC R-134a	HC MC-134		
0 W	4,35	5,79	1,44	33,10
15 W	4,36	5,80	1,44	33,10
25W	4,35	5,80	1,45	33,33
40 W	4,33	5,79	1,46	33,72
75 W	4,32	5,77	1,45	33,56
100 W	4,30	5,77	1,47	34,19

Secara keseluruhan COP MC-134 lebih tinggi dari R-134a, dan selisih kedua refrigeran tersebut berkisar antara 33,10-34,19%.



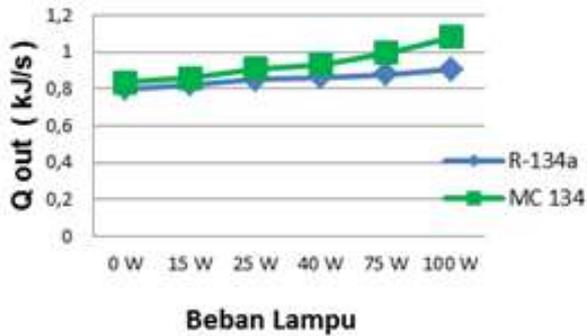
Gambar 3 Grafik kalor yang diserap evaporator berdasarkan beban lampu

Kalor yang diserap evaporator untuk Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R-134a. Pada saat beban lampu ditambah, maka kalor yang diserap evaporator akan semakin naik. Prosentase selisih kalor yang diserap evaporator dari penggantian refrigeran dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 7 Prosentase selisih kalor yang diserap evaporator berdasarkan beban lampu

Beban Lampu	Kalor yang diserap evaporator		Selisih Nilai	Prosentase %
	HFC R-134a	HC MC-134		
0 W	0,6494	0,7122	0,0628	9,67
15 W	0,6703	0,7332	0,0629	9,38
25W	0,6913	0,7751	0,0838	12,12
40 W	0,7018	0,796	0,0942	13,42
75 W	0,7122	0,8484	0,1362	19,12
100 W	0,7332	0,9217	0,1885	25,71

Dari tabel diatas terlihat bahwa kalor yang diserap evaporator MC-134 lebih tinggi dari R-134a.



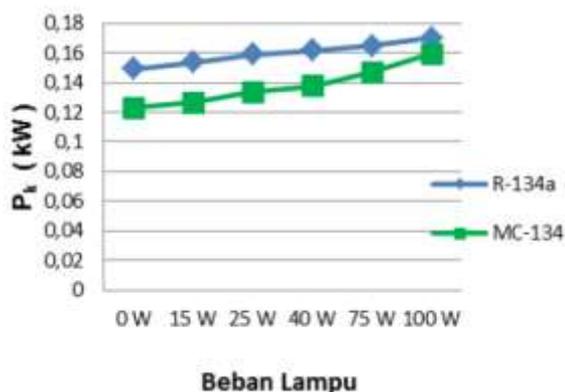
Gambar 4 Grafik kalor yang dibuang kondensor berdasarkan beban lampu

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kalor yang dibuang kondensor untuk Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R-134a. Pada saat beban lampu, ditambah maka kalor yang dibuang kondensor akan semakin bertambah. Prosentase selisih kalor yang dibuang kondensor dari penggantian refrigeran disajikan pada tabel berikut :

Tabel 8 Prosentase selisih kalor yang dibuang kondensor berdasarkan beban lampu

Beban Lampu	Kalor yang dibuang kondensor		Selisih Nilai	Prosentase %
	HFC R-134a	HC MC-134		
0 W	0,7985	0,8351	0,0366	4,58
15 W	0,8239	0,8597	0,0358	4,35
25 W	0,8502	0,9086	0,0584	6,87
40 W	0,8638	0,9335	0,0697	8,07
75 W	0,8772	0,9953	0,1181	13,46
100 W	0,9036	1,0813	0,1777	19,67

Dari tabel diatas terlihat bahwa kalor yang dibuang kondensor MC-134 lebih tinggi dari R-134a,



Gambar 6. Grafik daya kompresor berdasarkan beban lampu

Daya kompresor untuk Hidrokarbon MC-134 lebih rendah dari HFC R-134a. pada saat beban lampu semakin bertambah maka Daya kompresor akan semakin naik. Prosentase penurunan daya kompresor dapat dilihat dari tabel berikut;

Tabel 9. Prosentase selisih daya kompresor berdasarkan beban lampu

Beban Lampu	Daya Kompresor		Selisih Nilai	Prosentase %
	HFC R-134a	HC MC-134		
0 W	0,1491	0,1229	0,0262	17,57
15 W	0,1536	0,1265	0,0271	17,64
25 W	0,1589	0,1335	0,0254	15,42
40 W	0,162	0,1375	0,0245	15,12
75 W	0,165	0,1469	0,0181	10,97
100 W	0,1704	0,1596	0,0108	6,34

Daya kompresor MC-134 lebih rendah dari R-134a. Selisih daya kompresor antara kedua refrigerant tersebut berkisar antara 6,41-17,65% tergantung dari beban. Apabila beban naik perbedaan selisih daya kompresor jadi semakin kecil. Prosentase selisih arus kompresor berdasarkan beban lampu dapat dilihat dari table berikut;

Tabel 10. Prosentase selisih arus kompresor berdasarkan beban lampu

Beban Lampu	Arus Masuk Kompresor		Selisih Nilai	Prosentase %
	HFC R-134a	HC MC-134		
0 W	0,68 A	0,56 A	0,12	17,65
15 W	0,70 A	0,58 A	0,12	17,14
25 W	0,72 A	0,61 A	0,11	15,28
40 W	0,73 A	0,62 A	0,11	15,07
75 W	0,75 A	0,67 A	0,08	10,67
100 W	0,78 A	0,73 A	0,05	6,41

Arus listrik yang dipergunakan untuk motor kompresor MC-134 lebih rendah dari R-134a. sedangkan selisih arus listrik antara kedua refrigerant tersebut berkisar antara 6,41-17,65 % tergantung dari beban.

Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang telah didapat diatas, dapat disimpulkan bahwa :

1. COP Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R134a.
2. Daya kompresor untuk Hidrokarbon MC-134 lebih rendah dari HFC R-134a. Penggunaan refrigeran Hidrokarbon MC-134 dapat menghemat pemakaian energi hingga 17% pada mesin pendingin yang sama.
3. Kalor yang diserap evaporator untuk Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R-134a.
4. Kalor yang dibuang kondensor untuk Hidrokarbon MC-134 lebih tinggi dari HFC R-134a.
5. Secara keseluruhan unjuk kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran Hidrokarbon MC-134 lebih baik dibandingkan mesin pendingin menggunakan refrigeran HFC R-134a.

Referensi

Handoko, J., Merawat & Memperbaiki AC (Jakarta: Kawan Pustaka, 2007).

Mulyadi, Miki. Analisis performance mesin pendingin terhadap tekanan pengisian hidrokarbon (STT-PLN. 2012).

Stoecker, Wilbert F; Jones, Jerold W, Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara, Edisi kedua, Terjemahan oleh Supratman Hara (Jakarta: Erlangga,1989). Tambunan, Ucok Hamonangan. Analisis Performance Mesin Pendingin Terhadap Tekanan Pengisian Refrigeran (STT-PLN.2012).

<http://www.pertamina.com/Musicool134.aspx>,
Diakses 6 januari 2013, 20.00 WIB

<http://teachintegration.wordpress.com/hvac-forum/pr-essure-enthalpy-diagram/>, Diakses 6 januari 2013,
21.00 WIB