

## PERBANDINGAN PERFORMANSI SERTA KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM REFRIGERASI MENGGUNAKAN R-134a DAN HIDROKARBON

Puji Saksono<sup>1</sup>

### Abstraksi

Sistem refrigerasi dan pengkondisian udara banyak digunakan di dunia industri, transportasi, komersial, kesehatan maupun rumah tangga. Refrigeran yang umum dipakai pada saat ini mengandung senyawa sintetik HCFC (R-22), CFC (R-12), dan HFC (R-134a). Hidrokarbon (HC) sebagai refrigeran alternatif tentunya mempunyai karakteristik yang berbeda dengan refrigeran sintetik. Pengujian dilakukan untuk membandingkan performansi serta konsumsi energi listrik dengan menggunakan jenis refrigeran R-134a dan HC pada alat uji sistem refrigerasi yang telah dilengkapi dengan peralatan kontrol sebagai tambahan. Hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa nilai rata-rata COP (*Coefficient Of Performance*) selama pemakaian 120 menit dengan menggunakan refrigeran HC sebesar 3,29 sedang R-134a sebesar 2,87. Disamping itu terjadi pula penghematan konsumsi energi listrik pada saat dioperasikan dalam waktu yang lama. Nilai rata-rata konsumsi energi listrik selama pemakaian 120 menit dengan menggunakan refrigeran HC sebesar 86,9 watt sedang R-134a sebesar 108,2 watt. Dengan kedua kelebihan secara teknis di atas maka akan menguntungkan sekali bagi penggunaannya.

**Kata Kunci :** COP, Jenis Refrigeran, Konsumsi Energi Listrik.

### PENDAHULUAN

Refrigeran yang umum dipakai pada sistem refrigerasi pada saat ini mengandung senyawa sintetik HCFC (R-22), CFC (R-12), serta HFC (R-134a) yang memiliki sifat-sifat yang baik ditinjau dari segi teknik seperti: kestabilan yang tinggi, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan relatif mudah didapat.

Namun refrigeran HCFC dan CFC yang mengandung unsur *chlor* dapat merusak lapisan ozon (*Ozone Depleting Potentia/ODP*) dan yang mengandung unsur *fluor* dapat menimbulkan pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) apabila refrigeran tersebut terlepas ke atmosfer.

Pemakaian hidrokarbon (HC) sebagai refrigeran pengganti merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi masalah ini, karena refrigeran HC tidak mempunyai efek negatif terhadap lingkungan. Dimana refrigeran ini tidak memiliki unsur *chlor* yang

dapat merusak lapisan ozon atau nilai ODP-nya sama dengan nol, juga tidak mengandung unsur *fluor* yang dapat menimbulkan pemanasan global. Refrigeran HC secara teknis mempunyai karakteristik yang berbeda dengan refrigeran sintetik. Untuk itu pengujian dengan alat uji perlu dilakukan untuk mengetahui performansinya.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar perbandingan menggunakan refrigeran R-134a dan hidrokarbon (HC) terhadap performansi serta konsumsi energi listrik pada sistem refrigerasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa performansi dan konsumsi energi listrik saat operasi pada sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran R-134a dan hidrokarbon (HC). Sedangkan manfaat penelitian sebagai media karya ilmiah bagi

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan

peneliti untuk dapat mengembangkan keilmuannya di bidang teknik refrigerasi.

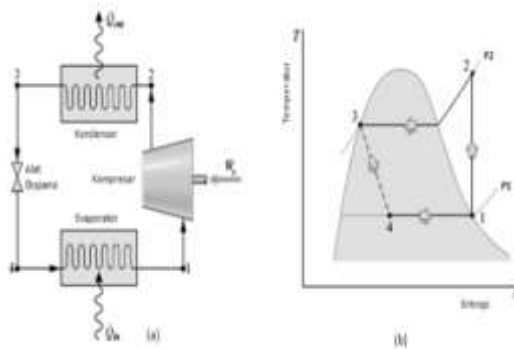
**KAJIAN PUSTAKA**

**Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap**

Sistem refrigerasi siklus kompresi uap merupakan daur yang terbanyak digunakan dalam daur refrigerasi, pada daur ini terjadi proses kompresi (1 ke 2), pengembunan (2 ke 3), ekspansi (3 ke 4) dan penguapan (4 ke 1).

Komponen utama dari sistem refrigerasi terdiri dari : Kompresor, kondensor, alat ekspansi (pipa kapiler atau katup ekspansi) dan evaporator.

Susunan empat komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1a dan sketsa proses Siklus Kompresi Uap Standar dalam diagram T-s (temperatur-entropi) ditunjukkan pada Gambar 1b . (Moran J. Michael & Shapiro, N, Howard, 2004).



Gambar 1. Siklus Kompresi Uap Standar  
(a) Diagram Alir Proses  
(b) Diagram Temperature-Entropy (T-s)

Di dalam siklus kompresi uap standar ini, refrigeran mengalami empat proses (mengacu pada Gambar 1b), yaitu :

Proses 1-2 : *Isentropic Compression Process*,  $s = constant$  : *Compressor, saturated vapour* → *superheat vapor*.

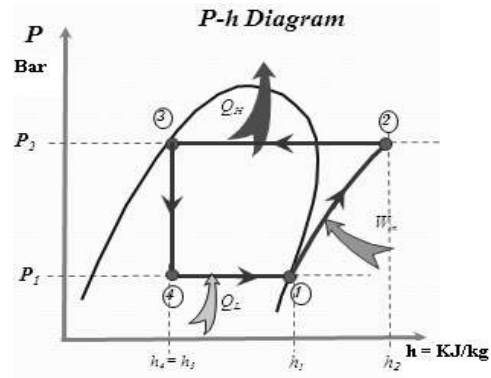
Proses 2-3 : *P = Constant Heat Rejection Process* : *Condenser, superheat vapor* → *saturated liquid*.

Proses 3-4 : *Throttling Process*,  $h = constant$  : *Expansion Valve, saturated liquid* → *mixture*.

Proses 4-1 : *P = Constant Heat Addition Process* : *Evaporator, Mixture* → *saturated vapor*.

**Analisa Mesin Refrigerasi Kompresi Uap**

Parameter-parameter prestasi sistem refrigerasi kompresi uap antara lain: efek/dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien performansi (*coefficient of performance, COP*). Penentuan parameter-parameter tersebut dapat dibantu dengan penggunaan sketsa proses pada diagram tekanan-entalpi.



Gambar 2. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal Pada Diagram Tekanan-Entalpi (P-h)

Kerja kompresi persatuan massa refrigeran ditentukan oleh perubahan entalpi pada proses 1-2 dan dapat dinyatakan sebagai: (Dincer, I., 2003; Herlianika, H, 2005; Pasek, A.D., 2007; Stocker, W.F., 1996)

$$w = \frac{W}{m} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- $W$  = Daya kompresor [kW]
- $w$  = kerja kompresi [KJ/kg]
- $m$  = laju aliran refrigerant [kg/det]

Kalor yang dibuang melalui kondensor dari refrigeran ke lingkungan yang lebih rendah temperaturnya terjadi pada proses 2-3, yaitu:

$$q_{rj} = \frac{Q_{rj}}{m} = h_2 - h_3 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- $Q_{rj}$  = Kapasitas kondensor [kW]
- $q_{rj}$  = kalor yang dibuang melalui kondensor [KJ/kg]
- $m$  = laju aliran refrigerant [kg/det]

Besaran ini bernilai negatif, karena kalor dipindahkan dari sistem refrigerasi ke lingkungan.

Pada proses 3-4 merupakan proses ekspansi refrigeran menuju tekanan evaporator. Proses ini biasanya dimodelkan dengan proses cekik tanpa adanya perpindahan kalor (adiabatik) dan proses berlangsung tak-reversibel, sehingga diperoleh hubungan :  $h_3 = h_4$

Efek refrigerasi ( $q_{rc}$ ) adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator per satuan laju massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dan diinginkan dari suatu sistem refrigerasi.

$$q_{rc} = \frac{Q_{rc}}{m} = h_1 - h_4 \dots\dots\dots (3)$$

Sedangkan kapasitas refrigerasi ( $Q_{rc}$ ) merupakan perkalian antara laju massa refrigeran dengan efek refrigerasi.

Dimana:

- $Q_{rc}$  = Kapasitas refrigerasi [kW]
- $q_{rc}$  = efek refrigerasi [KJ/kg]
- $m$  = laju aliran refrigerant [kg/det]

Koefisien performansi (COP), adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi, dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem, yaitu kerja kompresi.

$$COP = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots (4)$$

## METODOLOGI

### Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium mesin pendingin jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan. Sedangkan waktu penelitian bulan Juli s/d Desember 2013.

### Bahan dan Alat

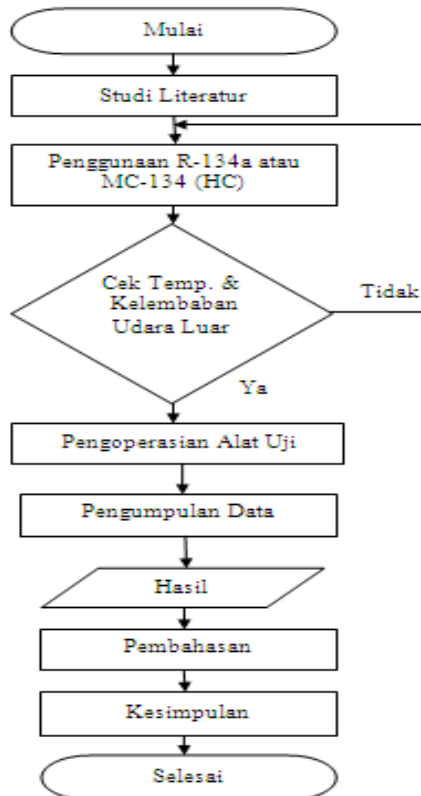
1. Alat uji sistim refrigrasi.
2. Refrigeran R-134a merk Klea dan HC Musicool MC-134 produksi Pertamina.
3. Peralatan *workshop* : (Pompa vakum, termometer, timbangan refrigeran, *Multimeter*, *Leak detector*, *Gauge manifold*, dll).

### Langkah-langkah Penelitian

1. Menyiapkan peralatan uji sistim refrigerasi dan perlengkapan lainnya.
2. Sistim divakum dengan pompa vakum.
3. Melakukan pengisian refrigeran R-134a sampai isian penuh (sesuai dengan kondisi kerja pada tekanan tertentu).
4. Menghidupkan alat uji.
5. Mencatat hasil pengukuran  $T_1, T_2, T_3, T_4, P_1, P_2$ , dan kuat arus.

6. Mengulang semua langkah dengan menggunakan refrigeran MC-134 (HC).

**Diagram alir (flow chart) penelitian.**



Gambar 3. **Diagram Alir Penelitian**

### Variabel Penelitian

1. Variabel bebas, yang meliputi :
  - Jenis Refrigeran (R-134a, MC-134)
  - Interval waktu : 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit, sistem kondisi *steady state*.
2. Variabel terikat, yang meliputi :
  - COP (*coefficient of performance*)
  - Kuat arus (Ampere)
  - Konsumsi listrik (watt)
3. Variabel Kontrol
 

Temperatur ruang uji 29 - 30 °C, dan kelembaban ruang uji 85± 1 % (relatif).



Gambar 4. **Refrigeran R-134a MC-134**



Gambar 5. **Alat Uji Sistem Refrigerasi**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Hasil Pengujian

Alat uji yang dipakai mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Jenis Mesin : Refrigerator

Tipe Mesin : Sanken

Daya kompresor : ¼ PK, dan alat uji dilengkapi dengan peralatan ukur tambahan.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Refrigeran R-134a Dan Refrigeran Hidrokarbon MC-134

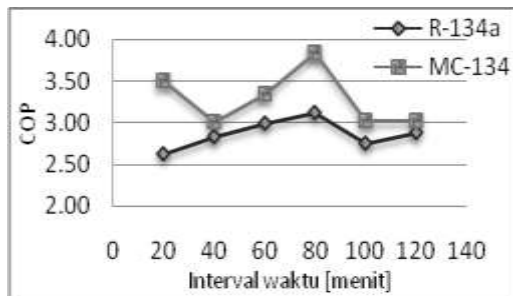
No	Jenis Refrigeran	Waktu (menit)	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )				Tekanan (Psi)		Kuat Arus (Ampere)	Konsumsi listrik (watt)
			$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$P_1$	$P_2$		
1	R-134a	20	20,5	53,7	54,1	-12,9	58	415	1,18	259,6
		40	26,1	57,0	45,5	-17,7	62	425	0,34	74,8
		60	33,4	52,1	40,7	-20,1	62	410	0,41	90,2
		80	16,0	48,2	34,8	-24,3	68	400	0,54	118,8
		100	15,9	49,8	31,6	-32,1	118	415	0,26	57,2
		120	19,8	52,1	29,7	-32,2	121	415	0,22	48,4
		Rata-rata konsumsi listrik selama pemakaian 120 menit								
2	MC-134	20	36,0	48,4	48,9	-7,5	40	345	1,55	341,0
		40	37,0	46,9	52,3	-9,9	44	375	0,13	28,6
		60	33,8	41,4	39,2	-18,3	50	375	0,14	30,8
		80	34,4	43,4	31,0	-20,9	105	375	0,20	44,0
		100	26,2	41,5	39,3	-20,8	105	355	0,21	46,2
		120	26,0	40,5	39,1	-20,9	105	350	0,14	30,8
		Rata-rata konsumsi listrik selama pemakaian 120 menit								

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Dari Refrigeran R-134a Dan Refrigeran Hidrokarbon MC-134

Jenis Refrigeran	Waktu (menit)	Enthalpy (Kj/kg)			$(Q_{rc})$ Efek Refrigerasi $h_1 - h_4$ (Kj/kg)	$(w)$ Kerja Kompresi $h_2 - h_1$ (Kj/kg)	COP $(h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$
		$h_1$	$h_2$	$h_3 = h_4$			
R-134a	20	389,584	433,148	277,868	113,300	43,053	2,63
	40	386,681	429,877	264,475	122,206	43,196	2,83
	60	385,218	427,876	257,209	128,009	42,658	3,00
	80	382,640	425,697	248,454	134,186	43,057	3,12
	100	377,803	426,423	243,781	134,022	48,619	2,76
	120	377,741	425,273	241,029	136,712	47,532	2,88
	Rata-rata nilai COP selama pemakaian 120 menit						2,87
MC-134	20	545,488	610,569	317,930	227,558	65,081	3,50
	40	542,264	613,857	326,827	215,437	71,593	3,01
	60	531,038	602,076	293,168	237,870	71,037	3,35
	80	527,585	593,939	272,822	254,762	66,354	3,84
	100	527,585	603,863	296,444	231,141	76,278	3,03
	120	527,585	603,863	296,444	231,141	76,278	3,03
	Rata-rata nilai COP selama pemakaian 120 menit						3,29

### Analisa dan Pembahasan.

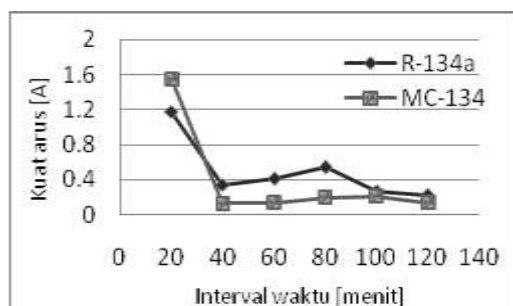
Dari data tabel di atas dapat diplot menjadi beberapa grafik untuk dianalisa.



Gambar 6. Grafik Interval Waktu vs COP

Dari grafik di atas menunjukkan nilai COP yang dinamis atau fluktuasi pada kedua jenis refrigeran tersebut. Nilai COP yang paling tinggi (optimal) pada pemakaian refrigeran hidrokarbon Musicool MC-134 terjadi pada menit ke-80 sebesar 3,84 sedangkan yang terendah sebesar 3,01 pada menit ke-40. Sehingga nilai COP rata-rata pada pemakaian selama 120 menit sebesar 3,29.

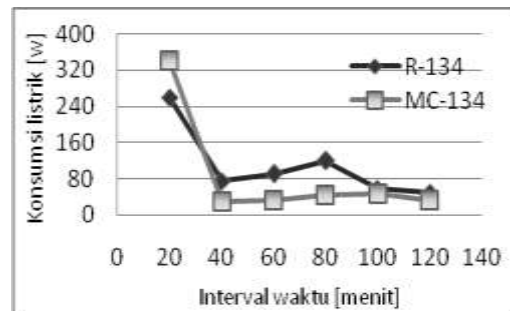
Pada pemakaian refrigeran R-134a nilai COP yang paling tinggi sebesar 3,12 pada menit ke-80 dan terendah sebesar 2,63 pada menit ke-20. Sehingga nilai COP rata-rata pada pemakaian selama 120 menit sebesar 2,87.



Gambar 7. Grafik Interval Waktu vs Kuat Arus

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa nilai kuat arus listrik yang dihasilkan pada

pemakaian selama 120 untuk kedua jenis refrigeran bersifat fluktuasi. Nilai kuat arus tertinggi untuk kedua jenis refrigeran terjadi pada menit 0 sampai menit ke-20 (pada saat awal pengoperasian). Data baru bisa diambil pada menit ke-20 karena sistem refrigerasi sudah berada pada kondisi *steady state*.



Gambar 8. Grafik Interval Waktu vs Nilai Konsumsi Listrik

Dari grafik terlihat bahwa untuk pemakaian refrigeran R-134a pada menit ke-20 sebesar 259,6 watt dan akan selalu turun seiring dengan lama waktu pemakaian. Sedangkan untuk refrigeran MC-134 pada menit ke-20 sebesar 341 watt dan akan selalu turun juga seiring dengan lama waktu pemakaian

Dari kedua jenis refrigeran, konsumsi energi listrik akan cenderung stabil setelah mencapai waktu pengoperasional pada menit ke-40. Dikatakan stabil karena kisaran nilai konsumsi energi listrik masih diambang toleransi yang dicantumkan sesuai spesifikasi dari pabrik yang tertulis di plat label refrigerator.

Nilai konsumsi energi listrik rata-rata pada pemakaian selama 120 menit untuk R-134a sebesar 108,2 watt. Sedangkan untuk MC-134 sebesar 86,9 watt.

## SIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian sebagai berikut :

1. Nilai COP (*coefficient of performance*) dari sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran hidrokarbon (HC) lebih besar dibanding refrigeran sintetik. Nilai COP rata-rata selama pemakaian 120 menit dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-134 sebesar 3,29 sedang R-134a sebesar 2,87.
2. Disamping mengalami kenaikan nilai COP, pemakaian jenis refrigeran hidrokarbon (HC) merk Musicool MC-134 terjadi penghematan konsumsi energi listrik pada saat dioperasikan dalam waktu yang lama, sehingga akan menguntungkan sekali terutama bagi penggunanya. Rata-rata nilai konsumsi energi listrik selama pemakaian 120 menit dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-134 sebesar 86,9 watt sedangkan R-134a sebesar 108,2 watt. Dengan demikian pada pemakaian refrigeran hidrokarbon (HC) Musicool MC-134 mengalami penghematan energi sebesar 19,76 % dibandingkan dengan menggunakan refrigeran R-134a.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dincer, I., 2003, *Refrigeration System and Application*, Wiley, England.
- Herlianika, H, 2005, **Eksperimen Dengan Alat Peraga Refrigerasi Dasar**, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Moran J. Michael & Shapiro, N, Howard, 2004, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Son Ltd. England, 5<sup>th</sup> Edition.
- Pasek, A.D., 2007, **Retrofit Sistem Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Ramah Lingkungan**, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Saksono, P., 2009, **Retrofit R-22 Ke Hidrokarbon Musicool MC-22 Serta Pengaruhnya Terhadap Performansi Sistem Refrigerasi (Tesis)**, Universitas Brawijaya, Malang.
- Stocker, W.F., 1996, **Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**, Erlangga, Jakarta.

