

Penelitian Perbandingan Unjuk Kerja Tiga Refrigeran Hidrokarbon Indonesia Terhadap Refrigeran R12 (CFC-12)

Nasruddin, Imam Syafi'I, Dani Arsanto, Sarwono dan Yan Turyana

Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, BTMP BPPT Puspiptek Serpong

Abstrak

Hidrokarbon dapat digunakan sebagai alternatif refrigeran karena mempunyai nilai GWP yang kecil dan nilai ODP yang nol. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan beberapa jenis hidrokarbon produksi Indonesia. Pengujian dilakukan pada fasilitas pengujian tata udara BTMP-BPPT. Pengujian dilakukan dengan kondisi operasi: putaran kompresor 2980 rpm, temperatur masuk divariasikan antara -2°C sampai dengan 6°C dan temperatur keluar kondenser ditetapkan sebesar 39°C. Analisa dari hasil pengujian didapatkan bahwa unjuk kerja refrigeran hidrokarbon adalah hampir sama dengan CFC-12 bahkan pada beberapa parameter pengujian menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa hidrokarbon sangat cocok digunakan sebagai refrigeran alternatif pengganti CFC-12.

Kata kunci : Refrigeran, hidrokarbon, CFC, COP dan siklus kompresi uap satu tingkat

Abstract

Hydrocarbon can be used as alternative refrigerant because it has small GWP and zero ODP. This research intends to compare these Indonesian Hydrocarbon Refrigerants. The experiment was held at Air Conditioning Test Facility, BTMP - BPPT. The experiment was running based on the following conditions: compressor running at 2980 rpm, inlet evaporator for evaporator was varied from -2°C until 6°C and outlet temperatur of condenser was set at 39°C. Test analysis shows that hydrocarbon performance is almost same as CFC-12 even better than R12. As conclusion hydrocarbon can be used as alternative for CFC-12

Keywords : Refrigerant, hydrocarbon, CFC, COP and single stage vapour compression cycle

1. Pendahuluan

Pada saat ini CFC digunakan secara luas sebagai refrigeran di Indonesia. Hal ini dikarenakan CFC mempunyai banyak keuntungan pada berbagai segi. Tetapi di sisi lain aspek lingkungan yang kronis tidak dipertimbangkan di awal-awal penggunaannya, karena ternyata CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer. Di samping itu efek pemanasan global akibat emisi secara langsung maupun tidak langsung dari gas rumah kaca (termasuk CFC) juga menjadi masalah lingkungan yang menjadi perhatian bersama.

Pada bulan desember 1995 diadakan *Vienna conference* yang merupakan

kelanjutan dari *Montreal Protocol*. Pada konferensi tersebut ditetapkan skenario penghentian pemakaian CFC dan HCFC dan pencarian atas refrigeran-refrigeran alternatif yang ramah lingkungan.

Hidrokarbon sebagai salah satu refrigeran alternatif memiliki banyak keuntungan antara lain tidak diperlukan perubahan peralatan utama yang sudah ada atau pembelian peralatan baru, hidrokarbon biasa dipakai dengan pelumas mineral maupun sintesis serta tidak menyebabkan kerusakan ozon dan pemanasan global karena ODP yang dimiliki nol dan GWP-nya kecil. Kebutuhan pengisian hidrokarbon dalam mesin pendingin kurang dari separuh ($\pm 40\%$) [1] dibandingkan CFC. Penggunaan energi pengoperasian alat pendingin lebih hemat,

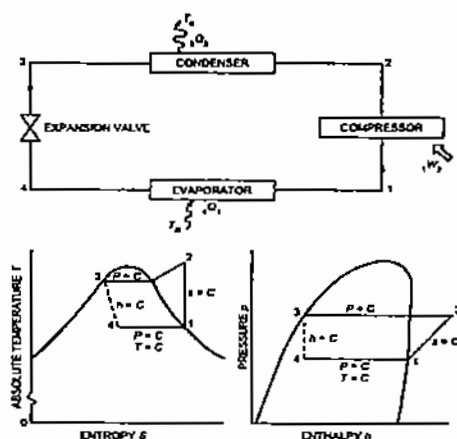
karena tekanan kondensasi menurun sehingga rasio kompresi berkurang dan kerja kompresor yang lebih ringan serta cepat mencapai suhu yang diinginkan.

Selain itu hidrokarbon tersedia diseluruh dunia tanpa hak paten, sehingga diproduksi secara bebas di negara manapun termasuk Indonesia hal ini tentunya akan menambah devisa negara dan melepaskan diri dari ketergantungan sebagai negara konsumen refrigeran. Adapun kelemahan hidrokarbon adalah mudah terbakar, sehingga diperlukan adanya aturan penggunaan yang harus dipenuhi dan prosedur penggantian yang aman.

Dengan makin banyaknya beredar merek dari refrigeran hidrokarbon ini, maka pengetahuan tentang karakteristik dari masing-masing refrigeran menjadi sangat penting terutama untuk melindungi konsumen terhadap keamanan dan kualitas produk yang dipakainya.

2. Siklus Kompresi Uap Satu Tingkat

Prinsip terjadinya suatu pendinginan di dalam suatu sistem refrigerasi adalah penyerapan kalor oleh suatu zat pendingin yang dinamakan refrigeran. Karena kalor yang berada di sekeliling refrigeran diserap, akibatnya refrigeran akan menguap sehingga temperatur di sekitar refrigeran akan bertambah dingin. Hal ini dapat terjadi mengingat penguapan memerlukan kalor.



Gambar 1.
Siklus Mesin Refrigerasi Dalam Diagram T-s dan p-h [2]

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal yang terjadi adalah kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor. Pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigeran.

Eksansi irreversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator.

Penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh [3].

2.1. Unjuk Kerja Siklus Kompresi Uap Ideal

Dari diagram p-h, besaran yang terpenting dalam daur kompresi uap dapat diketahui seperti: efek refrigerasi, kerja kompresi, pelepasan kalor dan COP.

- Efek refrigerasi dalam kJ/kg, adalah laju kalor yang diserap oleh suatu unit massa refrigeran selama proses evaporasi pada evaporator.

Efek ini dapat dihitung dengan:

$$Q_{Ref} = Q_H = (h_1 - h_4) \quad (1)$$

- Kerja yang diberikan ke kompresor W_{in} , dalam kJ/kg, diberikan sebagai:

$$W_m = (h_2 - h_1) \quad (2)$$

- Kalor yang dilepaskan oleh refrigeran pada kondensor $-Q_H$, dalam kJ/kg, adalah:

$$-Q_H = (h_2 - h_3) \quad (3)$$

- COP_{ref} dari siklus kompresi uap satu tingkat ideal adalah:

$$COP_{ref} = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja yang diberikan}} \quad (4)$$

2.2. Komponen Sistem Refrigerasi

Sistem Kompresi uap mempunyai empat komponen utama dan komponen tambahan dalam melangsungkan siklus refrigerasi. Komponen-komponen tersebut adalah:

2.2.1. Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem refrigerasi. Pada saat sama kompresor menghisap uap refrigeran yang bertekanan rendah dari evaporator dan mengkompresinya menjadi uap bertekanan tinggi sehingga uap akan tersirkulasi. Empat jenis kompresor yang paling umum adalah kompresor torak, kompresor sekrup, kompresor sentrifugal dan kompresor sudu. Dua dari karakteristik prestasi yang terpenting untuk suatu kompresor adalah kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya. Kedua karakteristik kompresor yang bekerja dengan kecepatan konstan tersebut, banyak ditentukan oleh langkah hisap dan buang.

2.2.2. Kondenser

Kondenser juga merupakan salah satu komponen utama dari sebuah mesin pendingin. Pada kondenser terjadi perubahan wujud refrigeran dari uap *super-heated* bertekanan tinggi ke cairan *sub-cooled* bertekanan tinggi. Agar terjadi perubahan wujud refrigeran, maka kalor harus dibuang dari uap refrigeran.

Kondensator dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu: kondensator berpendingin udara dan kondensator berpendingin air. Parameter kondensator yang dibahas pada penelitian ini adalah daya kondensator yang dapat dinyatakan sebagai:

$$Q_c = m \cdot \Delta h_c \quad (5)$$

2.2.3. Katup Ekspansi

Setelah refrigeran terkondensasi di kondensator, refrigeran cair tersebut masuk ke katup ekspansi yang menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengontrol jumlah refrigeran yang masuk ke evaporator serta menjaga perbedaan tekanan antara tekanan tinggi dan tekanan rendah. Jenis-jenis katup ekspansi adalah katup ekspansi pipa kapiler, katup ekspansi otomatis, dan katup ekspansi *termostatik*.

2.2.4. Evaporator

Pada evaporator, refrigeran menyerap kalor dari ruangan yang didinginkan. Penyerapan kalor ini menyebabkan refrigeran

mendidih dan berubah wujud dari cair menjadi uap.

Adanya proses perpindahan panas pada evaporator dapat menyebabkan perubahan wujud dari cair menjadi uap.

Kapasitas evaporator adalah kemampuan evaporator untuk menyerap panas dalam periode waktu tertentu, dan sangat ditentukan oleh perbedaan temperatur evaporator.

Kapasitas evaporator didefinisikan sebagai jumlah kalor yang diserap oleh evaporator.

$$Q_e = m \cdot \Delta h_e \quad (6)$$

2.3. Refrigeran

Refrigeran adalah zat kerja utama yang digunakan untuk menyerap dan mengalirkan kalor dalam sistem refrigerasi. Semua refrigeran menyerap kalor pada temperatur dan tekanan rendah selama evaporasi dan melepaskan kalor pada temperatur dan tekanan tinggi selama proses kondensasi. Syarat-syarat refrigeran antara lain tekanan penguapan harus cukup tinggi, tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi, mempunyai titik didih dan titik beku yang rendah, kalor/panas laten penguapan yang tinggi, volume spesifik lebih kecil, koefisien kinerja tinggi, konduktivitas termal yang tinggi viskositas yang rendah, konstanta dielektrik yang kecil, nilai tahanan listriknya besar, tidak korosif terhadap logam, tidak beracun, tidak berwarna dan tidak berbau, tidak mudah terbakar atau meledak, dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, mempunyai struktur kimia yang stabil, mudah dideteksi jika terjadi kebocoran, harganya murah, dan ramah lingkungan.

2.3.1. Refrigeran Halokarbon dan Dampaknya Terhadap Lingkungan

Refrigeran yang termasuk dalam kelompok halokarbon mempunyai satu atau lebih atom dari tiga atom halogen, klorin, fluorin dan bromin.

2.3.1.1. Chlorofluorocarbon (CFC)

Refrigeran halokarbon yang paling banyak dipakai adalah refrigeran CFC

terutama CFC-12 yang diperkenalkan pada tahun 1931, telah digunakan secara luas pada sistem refrigerasi mulai dari *water chiller* sampai *refrigerator*, AC mobil serta peralatan pengkondisi udara pada alat-alat transportasi dan penyimpanan produk. Senyawa CFC termasuk dalam kelompok zat yang merusak ozon karena mempunyai nilai ODP yang tinggi. *Ozone Depleting Potential* (ODP) adalah potensi suatu zat untuk merusak lapisan ozon.

2.3.1.2. Hydrochlorofluorocarbon (HCFC)

Refrigeran HCFC mulai diperkenalkan sebagai refrigeran transisi pengganti CFC Hal ini disebabkan karena refrigeran HCFC ini masih dapat menyebabkan kerusakan ozon, tetapi nilai ODP-nya lebih kecil dibandingkan CFC serta masih mengandung gas-gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Jenis refrigerant ini adalah HCFC-22 (R-22) yang mempunyai temperatur buang yang tinggi dan keterbatasan untuk larut dalam pelumas mineral yang digunakan pada sistem refrigerasi CFC-12 sehingga membutuhkan penggantian kompresor.

2.3.1.3. Hydrofluorocarbon (HFC)

Refrigeran alternatif baru yang dikembangkan selanjutnya adalah refrigeran HFC. Refrigeran HFC (seperti HFC 134a) ini mempunyai sifat termodinamika yang hampir sama dengan CFC-12. Refrigeran ini mempunyai nilai ODP nol sehingga tidak merusak ozon, tetapi masih mengandung gas-gas rumah kaca yang dapat meningkatkan pemanasan global.

Dari segi penggunaan refrigeran HFC ini membutuhkan minyak pelumas yang berbeda dengan minyak pelumas yang dipakai pada sistem refrigerasi CFC. Jadi refrigeran ini tidak dapat langsung diterapkan pada sistem refrigerasi CFC karena membutuhkan penggantian kompresor.

2.3.2. Refrigeran Hidrokarbon sebagai Refrigeran Pengganti yang Ramah Lingkungan

Penggunaan refrigeran yang ramah lingkungan mutlak diperlukan untuk menjaga

kelangsungan alam, sehingga benar-benar ramah lingkungan. Salah satu refrigeran alami yang sedang dikembangkan adalah refrigeran hidrokarbon yang menjadi topik pembahasan pada penelitian ini.

Dalam pemilihan hidrokarbon sebagai alternatif pengganti CFC dan HCFC hal-hal yang harus diperhatikan adalah titik didih pada tekanan normal (*Normal Boiling Point*), kapasitas volumetrik refrigerasi dan efisiensi energi. Titik didih ini harus diperhatikan untuk menjamin tekanan operasi yang hampir sama dengan CFC dan HCFC untuk menghindari keperluan peralatan tekanan tinggi seperti kompresor. Semakin tinggi titik didih normalnya, kapasitas refrigerasi volumetrik harus dipertimbangkan untuk menentukan jenis dan ukuran kompresor yang digunakan. Efisiensi energi ditentukan pemakaian daya listrik kompresor.

Tabel 1
Karakteristik Refrigeran [4]

Parameter	CFC-12	HCFC-22	HFC-134a	HC-290/600a (PIB)	R290 pengganti R22
Rumus kimia	CCl ₂ F ₂	CHClF ₂	C ₂ H ₂ F ₄	C ₃ H ₈ + iC ₄ H ₁₀	
Berat mol	120,9	86,5	100	51,1	
Titik didih, °C	-29,9	-40,8	-26,1	-31,5	-42,1
Kalor laten, KJ/kg	165	233	217	405	426
Massa jenis, kg/m ³	1,292	1,170	1,187	0,517	
Sifat mudah terbakar	Tak ada	Tak ada	Ada	Ada	
Kadar racun	Tak ada	Tak ada	Ada	Ada	
Pelumas kompresor	Mineral	Mineral	Sintetik	Mineral	
ODP	1	0,05	0	0	
GWP	3,1	0,34	0,27	-	
Kalor spesifik cair pada 30°C (kJ/kg K)	0,99	1,27	1,45	2,54	2,80

Beberapa refrigeran HC yang menggantikan CFC, HCFC dan HFC. Propana (R-290) menggantikan R-22 (HCFC-22), propana/Iso Butana (R290/R600a) menggantikan R12 (CFC-12) dan R134a (HFC-134a).

2.3.3. Kelebihan dan Kekurangan Refrigeran Hidrokarbon

Kelebihan refrigeran HC antara lain:

- Tidak diperlukan perubahan peralatan utama yang sudah ada atau pembelian peralatan baru.
- Hidrokarbon biasa dipakai dengan pelumas mineral maupun sintetis.
- Hidrokarbon tidak menyebabkan kerusakan ozon dan pemanasan global karena ODP yang dimiliki nol dan GWP-nya kecil.
- Hidrokarbon tersedia diseluruh dunia tanpa hak paten, sehingga diproduksi secara bebas di negara manapun termasuk Indonesia, tidak seperti refrigeran sintetis yang hanya diproduksi oleh perusahaan tertentu.
- Kebutuhan hidrokarbon kurang dari separuh dibandingkan CFC.

Adapun kelemahan hidrokarbon adalah mudah terbakar, sehingga diperlukan adanya aturan penggunaan yang harus dipenuhi dan prosedur penggantian yang aman.

3. Pengujian dan Pengolahan Data

3.1. Peralatan Pengujian

Pengujian dilakukan pada Fasilitas Pengujian Pengkondisian Udara (*Air Conditioning Test Facility*) yang terdapat di Laboratorium Termodinamika dan Mesin Propulsi (BTMP-BPPT) Serpong. Refrigeran yang digunakan untuk pengujian adalah refrigeran hidrokarbon Tipe HC-A dan Tipe HC-Y dan Tipe HC-Z dengan refrigeran CFC-12 sebagai standar perbandingan dan hasil dari percobaan dengan memakai tipe refrigeran hidrokarbon yang sama pada percobaan yang telah dilakukan sebelumnya. Pengujian dimulai dengan refrigeran CFC-12 untuk mendapatkan standar perbandingan. Fasilitas pengujian ini terdiri dari tiga sirkuit yaitu sirkuit refrigeran sebagai sirkuit primer dan sirkuit udara dan air sebagai sirkuit skunder. Sirkuit refrigeran memiliki empat komponen utama yaitu:

1. Kompresor

- Tipe: Open type/reciprocating
- Listrik motor kompresor : 15 kW

- Power supply: 380 V
- Rotasi: 0-3000 rpm

2. Evaporator

- Tipe: *Tubes and fins air cooled evaporator*
- Kapasitas Termal: 16 kW
- Material: Pipa tembaga/sirip alumunium
- Dimensi: 890 x 531 x 270 mm
- Sambungan: Sisi udara: *welding flanges*. Sisi refrigeran: inlet 5/8", outlet 1 3/8"

3. Kondenser

- Tipe: *Shell and coil water cooled condensor*
- Kapasitas Termal: 26 kW
- Material: Cangkang: baja
- Pipa: pipa tembaga
- Sisi air: threaded: 1/2"
- Sisi refrigeran: inlet: 7/8" Outlet: 5/8"
- Dimensi: Tinggi cangkang: 400 mm
- Diameter cangkang: 219 mm

4. Katup ekspansi

Tipe: Hand operated dengan needle valve

5. Instrumentasi tambahan

Instrumentasi tambahan ini diinstalasi untuk menambah unjuk kerja dari alat pengujian. Instrumentasi ini berupa: *Anti hammer blow* dan *filter dryer*

3.2. Parameter yang Diukur

Parameter yang diukur adalah temperatur, tekanan, kelembaban, laju alir masa refrigeran, daya Listrik, laju aliran masa

3.3. Prosedur Pengujian

Pengisian refrigerant:

- Sebelum pengisian, sistem divakumkan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengisian refrigerant. Pada pengujian kali ini dilakukan pada refrigerant HC-A, HC-Y, HC-Z. Untuk mencegah kebakaran akibat refrigeran hidrokarbon dipasang alarm berupa *leak detector* yang dilengkapi dengan blower yang di pasang pada sisi pengisian refrigeran.

- Pengisian dihentikan setelah tercapai kondisi refrigeran keluar kondensor dalam keadaan cair jenuh

3.4. Kondisi Pengujian

Untuk memudahkan pengujian perbandingan unjuk kerja ini, ditetapkan beberapa kondisi kerja sebagai berikut:

1. Suhu refrigeran keluar dari kondensor dijaga pada suhu $\pm 39^\circ\text{C}$ dengan laju aliran 0,38 kg/det dan temperatur inlet air pada kondensor 26°C .
2. Suhu refrigeran masuk evaporator ditetapkan 5 variabel suhu yang berbeda yaitu, -2°C , 0°C , 2°C , 4°C , 6°C dengan cara mengatur bukaan katup ekspansi dengan pengoperasian tangan.
3. Udara luar yang masuk dikondisikan pada suhu 26°C dan dengan laju aliran konstan pada 0,38 Kg/det.
4. Kompresor dioperasikan pada putaran maksimal yaitu 2980 rpm.
5. Kelembaban dijaga pada kondisi 75% – 80% kelembabannya

3.5. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah tercapai kondisi kestabilan yaitu ditandai dengan tampilan pada layar komputer dengan perbedaan toleransi $\pm 0,2$ untuk masing-masing data tampilan. Kondisi kestabilan sistem adalah saat kesetimbangan perpindahan panas di evaporator antara udara dan refrigeran. Data yang diambil dilakukan pengkondisian rata-rata nilai sebanyak sepuluh data dan kemudian dilakukan analisa unjuk kerja dari masing-masing refrigerant dan dibandingkan. Pada saat yang bersamaan juga dilakukan pengukuran temperatur dan kelembaban udara ruang tempat fasilitas pengujian.

3.6. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Entalpi
Perhitungan entalphi dilakukan dengan menggunakan program REPROP NIST Ver.6.01 [5] dengan data P dan T sebagai masukan.
2. Perhitungan kapasitas Refrigerasi (Q_{ref}).

Efek refrigerasi diperoleh dari perbedaan entalphi setelah dan sebelum refrigeran masuk evaporator dikalikan massa refrigeran.

$$Q_{Ref} = m \cdot (h_1 - h_4) \text{ kW} \quad (7)$$

3. Kebutuhan Daya

Daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor adalah hasil kali antara laju alir massa dan kenaikan entalpi selama proses kompresi isentropik.

$$P = m \cdot \Delta h_1 = m \cdot (h_3 - h_2) \text{ kW} \quad (8)$$

4. Kapasitas kondensasi

Daya pendinginan refrigeran oleh air pendingin di kondensor melalui suatu pertukaran panas dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{Kond} = m \cdot (h_4 - h_5) \text{ kW} \quad (9)$$

5. Koefisien Prestasi (Coefficient of Performance)

$$COP = \frac{Q_{Ref}}{P} \quad (10)$$

4. Hasil Perhitungan dan Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan data dan pengolahan yang dilakukan didapat hasil pengujian sebagai berikut:

4.1. Analisa Hasil Perhitungan

Dari analisa hasil perhitungan dalam bentuk grafik perbandingan antara refrigeran hidrokarbon tipe HC-A, HC-Y dan HC-Z terhadap CFC 12, serta dengan melakukan perbandingan dengan data yang telah diambil pada percobaan lalu terhadap ketiga tipe refrigeran tersebut didapat hasil bahwa untuk refrigeran tipe HC-A, tipe HC-Y dan HC-Z memiliki data pengujian yang tidak terlalu jauh berbeda dengan R-12, sementara pada refrigeran HC-A memiliki keanehan yaitu terjadi perbedaan yang cukup besar pada nilai COP refrigeran dan COP udara yang dihasilkan hal ini disebabkan karena terjadi perubahan komposisi zat pada HC-A sementara hasil komposisi yang dipakai adalah komposisi pada pengujian terdahulu

Hal inilah yang menyebabkan COP udara dan COP refrigeran yang didapat menjadi jauh berbeda.

Tabel 2
Koefisien Unjuk Kerja

Refrigeran	Evaporator		Kompresor	Kondensor	COP
	Q _{ref} (kW)	Q _{ud} KW	Q (kW)	Q (kW)	
R-12	11,7	12,3	4,4	15,5	2,67
	12,8	14	4,6	16,91	2,77
	13,8	15	4,9	18,35	2,82
	15,1	16,4	5	19,9	2,99
HC-A	18,7	17,6	4,7	23,54	4,01
	22	22,8	5,2	21,94	4,2
	22	20,4	5,2	22,17	4,2
	25,2	21,9	6	25,57	4,21
	25,1	23,1	6	26,36	4,19
	25,6	25,3	6	27,88	4,24
HC-Y	2	15,8	4,7	5,9	0,43
	2	16,9	5,1	6,12	0,38
	1,1	18,3	5,7	5,3	0,19
	0,6	17	5,2	4,5	0,12
	0,7	18,1	5	3,59	0,15
HC-Y lama	18,4	27,5	6,2	24,54	2,97
	19,8	27,5	6,2	21,88	3,19
	19,3	24,9	4,9	13,27	3,94
HC-Z	9,7	13,9	4,6	17,85	2,09
	11,5	16,1	5,1	19,9	2,25
	12,6	16,9	5,4	21,06	2,34
	13,1	16,9	5,5	21,34	2,38

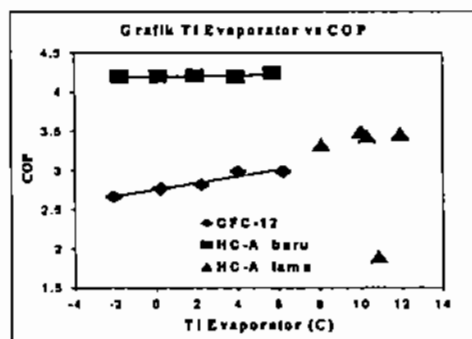
4.1.1. Analisa Grafik Refrigeran Hidrokarbon Tipe HC-A, HC-Y dan HC-X Terhadap Refrigeran CFC-12

Hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan terhadap refrigeran hidrokarbon HC-A dan CFC-12 di dapat beberapa grafik perbandingan sebagai berikut.

4.1.1.1. Koefisien Performansi (COP) Versus Temperatur Masuk Evaporator

Koefisien unjuk kerja (COP) suatu refrigeran merupakan perbandingan antara efek refrigerasi di evaporator dengan kerja kompresor.

Grafik COP versus temperatur masuk evaporator dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



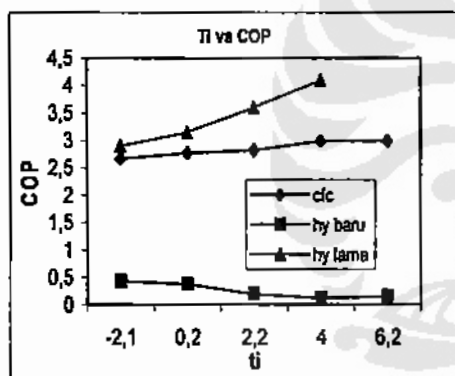
Gambar 2.
Perbandingan COP HC-A dan CFC-12

Dari Gambar 2 terlihat bahwa dengan semakin tinggi temperatur inlet evaporator, COP CFC-12 mengalami kecenderungan untuk naik, sementara HC-A cenderung konstan bahkan turun walaupun hanya 0,01 dan kemudian naik lagi hal ini disebabkan pengambilan temperatur inlet rata-rata evaporator yang memiliki toleransi yang cukup signifikan sehingga mempengaruhi COP yang ditampilkan. Secara umum kenaikan COP sejalan dengan kenaikan temperatur inlet evaporator disebabkan semakin tinggi temperatur inlet evaporator menyebabkan kerja kompresi untuk mencapai temperatur kondensasi yaitu $\pm 39^{\circ}\text{C}$ menjadi berkurang.

Dari kecenderungan kedua grafik terlihat bahwa refrigeran HC-A mempunyai COP yang lebih besar dibandingkan COP CFC-12 sekitar 33% - 36% sehingga terlihat refrigeran HC-A mempunyai efek refrigerasi yang lebih besar dibandingkan dengan CFC-12 di karenakan refrigeran HC-A memiliki kalor laten yang lebih besar di bandingkan refrigeran CFC-12. (Tabel 1).

Pada Gambar 3 terlihat bahwa HC-Y baru dibandingkan dengan CFC-12 serta dengan HC-Y lama dimana COP yang didapat bahwa COP HC-Y baru cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena kualitas komposisi refrigeran HC-Y baru yang tidak sama dengan yang lama, dimana data komposisi dari refrigeran sangat berbeda dan tidak murni (adanya zat lain selain propana/isobutana) atau jika dibandingkan dengan CFC yang merupakan zat tunggal, sehingga sangat mempengaruhi unjuk kerja dari refrigeran tersebut. Ketidakmurnian

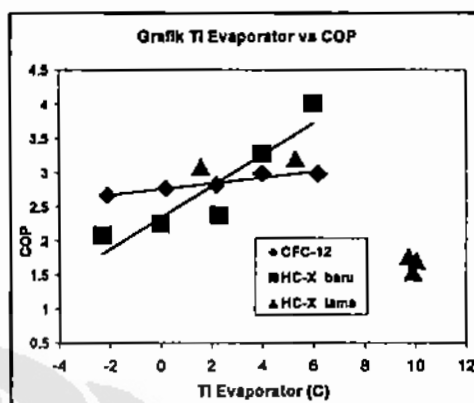
komposisi refrigeran hidrokarbon produksi dalam negeri merupakan masalah yang besar sehingga banyak terjadi masalah-masalah di lapangan yang sulit untuk dianalisa. Proses pemurnian refrigeran hidrokarbon pada dasarnya dapat dilakukan sesuai dengan standar yang ada, akan tetapi proses ini akan menyebabkan biaya produksi yang semakin mahal yang pada akhirnya akan mempengaruhi harga jual refrigeran hidrokarbon. Zat-zat lain yang sangat mempengaruhi unjuk kerja refrigeran hidrokarbon misalnya kandungan uap air yang berlebihan dan juga sulfur yang ada di dalamnya. Kandungan uap air yang berlebihan akan menyebabkan adanya penyumbatan pada sisi aliran yang cukup kecil dan temperatur rendah misalnya di katup ekspansi, sedangkan kandungan sulfur akan menyebabkan pembentukan asam di dalam sistem.



Gambar 3.
Grafik Ti Evaporator HC-Y Vs CFC-12

Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan temperatur masuk evaporator pada CFC-12 terjadi pula kenaikan COP-nya, namun gradien kenaikannya lebih kecil dibandingkan HC-X baru. Perbedaan entalpi yang besar pada efek refrigerasi refrigeran HC-X merupakan akibat dari karakteristik termodinamik HC-X sendiri yang memiliki efek konduktivitas termal yang baik (*high thermal conductivity*) sehingga pada proses perpindahan kalor refrigeran ini mampu menyerap ataupun melepaskan kalor dengan baik dibanding CFC-12. Sedangkan untuk HC-X lama terjadi penurunan COP pada suhu inlet evaporator 10°C. Hal ini

dikarenakan proses evaporasi yang sangat singkat, refrigeran keluar evaporator masih dalam kondisi 2 fase, dan selanjutnya penguapan refrigeran dilakukan dengan bantuan alat *anti-hammer blow*, hal inilah yang menyebabkan COP pada titik ini kecil [2].



Gambar 4.
Perbandingan COP HC-X dan CFC-12

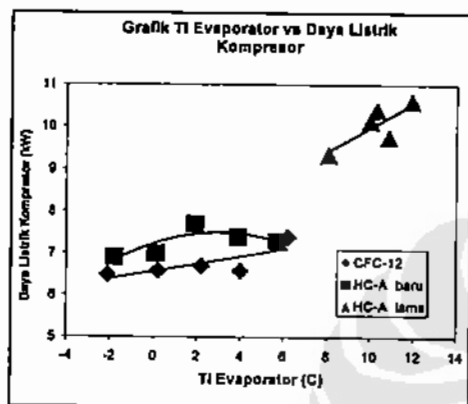
4.1.1.2. Ti Evaporator vs Daya Kompresor

Daya yang dibutuhkan sebuah kompresor secara ideal adalah hasil kali antara laju alir massa refrigeran dengan kenaikan entalpi selama proses kompresi isentropik. Harga kenaikan entalpi ini akan menjadi besar pada suhu-suhu penguapan yang rendah dan akan menurun menjadi nol bila tekanan hisap menyamai tekanan buang. Karena itu kurva daya kompresor akan menunjukkan angka nol di dua titik, yaitu pada saat suhu evaporator menyamai suhu kondenser dan pada saat laju aliran massa menjadi nol dan diantara kedua titik ekstrim tersebut terdapat puncak kebutuhan daya.

Jika ditinjau kembali laju aliran refrigeran yang terbesar adalah dimiliki oleh CFC-12 namun demikian harga kenaikan entalpi selama proses kompresi isentropiknya hampir sama dengan HC-A, secara teoritis CFC-12 ini akan membutuhkan konsumsi daya yang lebih besar dibandingkan dengan HC-A yang aliran massa refrigerannya lebih kecil dari CFC-12.

Grafik hubungan konsumsi daya dengan kenaikan suhu inlet evaporator untuk HC-A baru ditunjukkan pada Gambar 5, dimana

kenaikan suhu inlet evaporator akan dibarengi kenaikan konsumsi daya sampai pada titik maksimumnya yaitu pada suhu inlet evaporator berada disekitar 2°C dan akan menurun seiring kenaikan suhu evaporator. Dari Gambar 5 untuk CFC-12 terlihat bahwa daya listrik yang dikonsumsi pada percobaan ini lebih kecil dibandingkan HC-A baru pada range -2° sampai 6°C, sedangkan pada HC-A lama terlihat kecenderungan untuk lebih besar pada temperatur evaporasi yang besar diatas 8°C.



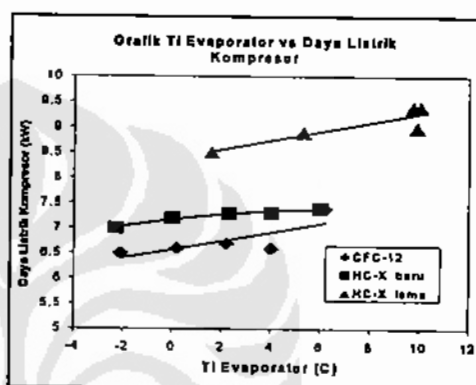
Gambar 5. Grafik Perbandingan *Ti* Evaporator vs Daya Kompresor HC-A

Dari berbagai percobaan yang dilakukan terhadap refrigeran hidrokarbon menunjukkan kalau refrigeran ini membutuhkan daya yang lebih sedikit dibandingkan refrigeran CFC. Gambar 6 ditampilkan bahwa daya listrik untuk HC-X terlihat kecenderungan akan menurun setelah mencapai titik maksimumnya sebagaimana dijelaskan sebelumnya dan kecenderungannya nantinya akan menurun seiring kenaikan temperatur inlet evaporator. Sedangkan untuk CFC-12 grafiknya terlihat cenderung meningkat sebelum mencapai titik maksimumnya. Sedangkan kalau dibandingkan dengan HC-X yang lama maka pada percobaan yang sekarang sudah terlihat suatu pola dimana kebutuhan daya kompresor mulai menurun. Salah satu sebabnya adalah komposisi yang berbeda dari refrigeran yang ada walaupun dengan merek yang sama.

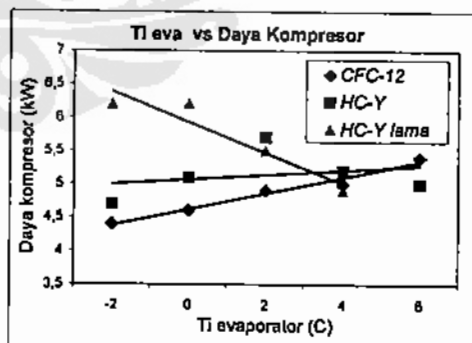
Dari Gambar 7 terlihat bahwa terjadi kecenderungan menurunnya daya listrik kompresor pada HC-Y lama terhadap

kenaikan temperatur evaporasi, sementara pada HC-Y baru terjadi kecenderungan daya kompresor menurun seiring meningkatnya temperatur masuk evaporator.

Dilihat dari daya listrik yang dikonsumsi baik pada CFC-12 maupun HC-Y baru dimana pada titik pengujian awal daya yang dikonsumsi oleh refrigeran HC-Y baru lebih besar dibandingkan dengan CFC-12, tetapi pada temperatur inlet yang cukup besar perbedaan yang didapat menjadi kecil bahkan terjadi kecenderungan terjadi CFC-12 semakin naik dengan konsumsi daya yang lebih banyak dibandingkan dengan HC-Y.



Gambar 6. Grafik Perbandingan *Ti* Evaporator vs Daya Kompresor HC-X

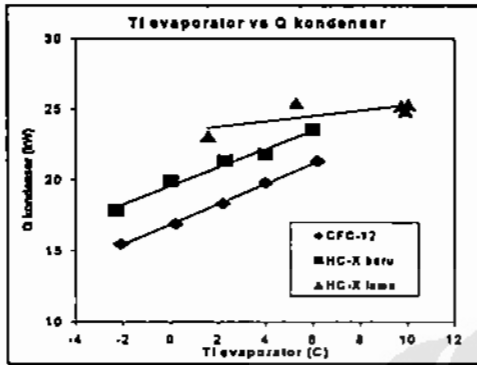


Gambar 7. Grafik Perbandingan *Ti* Evaporator vs Daya Kompresor HC-Y

4.1.1.3. Grafik *Ti* Evaporator vs Kapasitas Kondenser

Suhu kondenser pada percobaan ini dijaga tetap sebesar 39°C. Sedangkan kapasitas kondenser merupakan perkalian antara laju aliran massa refrigeran dengan

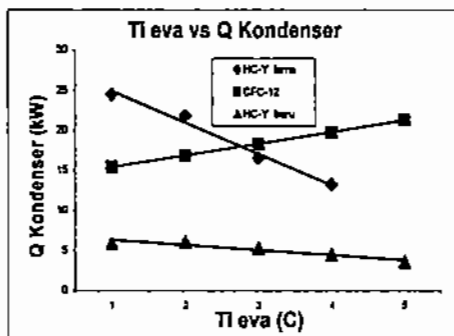
perbedaan entalpi di kondenser. Untuk CFC-12 sebagaimana terlihat pada Gambar 8, kenaikan kapasitas kondensernya berada di bawah HC-X baru, keduanya memiliki kecenderungan untuk naik. Hal yang sama juga terjadi untuk HC-X yang lama namun peningkatan kapasitas kondensernya tidak sebesar HC-X baru.



Gambar 8.

Grafik Perbandingan T_i Evaporator vs Kapasitas Kondensor HC-X

Kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dan di kompresor akan dilepaskan di kondenser, untuk setiap peningkatan temperatur inlet evaporator maka semakin besar kalor yang diserap refrigeran yang pada akhirnya akan meningkatkan kapasitas kondenser. Untuk HC-A baik baru ataupun lama dan CFC-12, ketiganya juga menunjukkan kenaikan kapasitas kondenser, dan seperti penjelasan sebelumnya hidrokarbon memiliki kemampuan melepaskan kalor yang baik dibandingkan CFC-12.



Gambar 9.

Grafik Perbandingan T_i Evaporator vs Kapasitas Kondensor HC-Y

Dari Gambar 9 terlihat kecenderungan bahwa dengan naiknya temperatur T_i , maka terdapat kecenderungan turunnya nilai Q dikondenser untuk HC-Y dan HC-Y lama. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa yang bertambah besar seiring dengan bertambahnya kenaikan temperatur masuk evaporator menyebabkan tekanan turun pada *outlet* kompresor dan *inlet* kondenser untuk menjaga temperatur *outlet* kondenser konstan 39°C . Akibatnya gesekan dan kalor yang dikeluarkan menjadi besar dan titik keluar pada diagram $p-h$ semakin bergeser kearah kanan hal inilah yang menyebabkan kapasitas kondenser pada HC-Y lama dan HC-Y baru menurun disebabkan *outlet* kondenser yang berada pada kondisi 2 fase sehingga beda entalpi *inlet* dan *outlet* kondenser semakin kecil dan refrigeran keluar dari kondenser berada pada kondisi dua fase.

5. Kesimpulan

1. Dari pemakaian daya listrik yang terpakai dengan kecenderungan pada temperatur rendah pemakaian daya listrik HC lebih besar dibandingkan CFC, kemudian setelah 2°C , terjadi kecenderungan yang sebaliknya dapat diambil kesimpulan bahwa HC baik dilakukan pada kondisi temperatur melebihi dari 0°C . Hal ini mungkin disebabkan sifat termodinamika refrigeran hidrokarbon itu sendiri.
2. COP yang dihasilkan oleh HC cenderung lebih besar dibandingkan dengan R-12, hal ini disebabkan juga karena karakteristik dari refrigeran HC yang unik pada katup ekspansi dimana kecenderungan garis pada diagram $p-h$ kearah kiri.
3. Laju aliran massa untuk refrigeran hidrokarbon yang jauh lebih kecil disebabkan oleh massa jenisnya yang lebih kecil sehingga pengisian yang dibutuhkan lebih sedikit.
4. Dari grafik unjuk kerja terlihat bahwa hidrokarbon tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh dengan CFC-12 bahkan pada beberapa penunjukkan terlihat kelebihan dibandingkan CFC-12

sehingga hidrokarbon layak sebagai pengganti CFC-12.

Daftar Acuan

- [1]. Pusat kajian Tata Udara (PAKARTU) dan swisscontack, "Makalah Pelatihan Hidrokarbon, Perlindungan Ozon dengan Teknologi Pendingin Hidrokarbon", Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia, salemba, 2000.
- [2]. ASHRAE Handbook Fundamental, 2005.
- [3]. Alhamid.Idrus, Nasruddin "Materi Perkuliahan Teknik Pendingin", Jakarta 1999.
- [4]. Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones. "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara" edisi kedua erlangga, 1999.
- [5]. REFPROP 6.01 , Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database, NIST.



**PERPUSTAKAAN PUSAT
UNIVERSITAS INDONESIA**