

Kaji Eksperimental Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap dengan Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon (Hcr12) Sebagai Alternatif Refrigeran Pengganti R12 dengan Sistem Penggantian Langsung (*Drop In Substitute*)

Afdhal Kurniawan Mainil

Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu
Jln WR Supratman Kandang Limun Bengkulu
Telp. (0736) 344087. Email: afdhal_km@yahoo.com

Abstract

Type of refrigerant the most recognized and the most used today in the vapor compression cycle is R-12 refrigerant (halocarbon group), which is technically quite good. The refrigerant also has low toxicity and low flammable. But, in the mid 1970's known that chlorine has contained in the refrigerant were released into the environment could damage of ozone in the stratosphere and caused greenhouse effect. Because of that, it using has stopped. An alternative refrigerant is hydrocarbon refrigerant (HCR) and one of it is hydrocarbon-12 (HCR-12). HCR-12 have several advantages, besides friendly environmental because have low global warming effect and low destruction of ozone, this type of refrigerator can be used as direct changer on the refrigerant machine so no needed compressor replacement and more efficient electric energy than R-12. In this research, did a study experimental to compared R-12 with HCR-12 with used vapor compression cooler machine. The result of measurement have been get performance of vapor compression cooler machine COP_R (Coefficient of Performance Refrigeration) and COP_{HP} (Coefficient of Performance Heat Pump) for R-12 and HCR-12 relatively are 2.4 – 9.8 (COP_R) and 3.4 – 10.8 (COP_{HP}) and 6.4 – 14.1 (COP_R) and 7.4 – 15.1 (COP_{HP}). Performance of vapor compression cooler machine COP_R and COP_{HP} have tendency increase with increase rate of flow of refrigerant until 0.035 for R-12 and 0.014 for HCR-12. Performance vapor compression cooler machine of COP_R increase if absorbed of heat (Q_e) by evaporator increase and COP_{HP} increase if released of heat (Q_k) by condenser increase. According of the results concluded that performance of vapor compression cooler machine with hydrocarbon-12 (HCR-12) better than R-12.

Key words : refrigerant, hydrocarbon, R-12, ODP, GWP.

PENDAHULUAN

Siklus kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam siklus refrigerasi. Refrigeran yang digunakan dalam siklus tersebut terutama adalah refrigeran halokarbon, yang secara teknis cukup baik, apalagi refrigeran jenis ini tingkat racun dan tingkat mampu nyalanya

rendah. Namun pada pertengahan tahun 1970-an diketahui bahwa klorin yang terdapat dalam refrigeran halokarbon yang terlepas ke lingkungan dapat merusakkan lapisan ozon di stratosfir. Hal ini akan berdampak pada lingkungan, dimana radiasi UV intensitas tinggi yang mencapai bumi sebagai akibat merusakkan lapisan ozon dapat menimbulkan kanker kulit.

Untuk mengantisipasi hal ini, maka pemakaian serta produksi zat-zat yang dapat menimbulkan kerusakan lapisan ozon ini mulai dilarang secara nasional maupun internasional, terutama setelah ditetapkannya Konvensi Wina 1985 yang ditindaklanjuti dengan Protokol Montreal 1987.

Pemerintah Indonesia meratifikasinya dengan menerbitkan Keppres No. 23 pada tanggal 13 Mei 1992 serta ditindaklanjuti dengan Kep.Memperindag No 110/MPP/Kep/1/1998 dan No.111/MPP/Kep/1/1998 tentang pelarangan memproduksi dan memperdagangkan zat-zat yang dapat merusak lapisan ozon. Sebagai tindak lanjut dari larangan ini, baik kalangan industri, perguruan tinggi ataupun lembaga penelitian lainnya, mulai melakukan penelitian untuk mencari zat pengganti bahan-bahan yang dapat merusak lapisan ozon atau meningkatkan performansi zat-zat yang telah diyakini dapat menggantikan fungsi dari zat-zat yang dapat merusak lapisan ozon.

Salah satu refrigeran halokarbon yang selama ini banyak digunakan yaitu R-12. Sampai dengan saat ini penelitian mencari refrigeran alternatif pengganti refrigeran R-12 telah mengalami peningkatan yang cukup berarti. Salah satu refrigeran pengganti yang telah berangsur luas penggunaannya yaitu refrigeran hidrokarbon, salah satunya adalah HCR-12 yang secara teknis memiliki sifat-sifat yang mendekati R-12.

Pada penelitian ini dilakukan suatu kaji eksperimental untuk membandingkan antara HCR-12 dan juga R-12 dengan menggunakan mesin pendingin kompresi uap. Kajian tersebut dimaksudkan untuk mengetahui prestasi dan karakteristik dari mesin kompresi uap dengan menggunakan HCR-12 dan R-12

TINJAUAN PUSTAKA

a. Siklus Kompresi Uap

Secara prinsip untuk mendinginkan suatu ruangan atau benda, kita harus mendekatkan ruang atau benda tersebut dengan suatu permukaan atau fluida yang bertemperatur lebih rendah dari temperatur yang didinginkan. Dengan demikian energi dalam bentuk panas dapat dipindahkan dari ruang/benda ke permukaan fluida dingin. Apabila diinginkan agar fluida tidak terbuang, fluida harus didaurkan melalui sistem sedemikian rupa, sehingga energi yang diambil dari ruang dingin dapat dibuang keluar/lingkungan. Proses pengambilan energi tersebut terjadi di evaporator dengan laju perpindahan panas sebesar Q_e . Sedangkan proses pembuangan energi dalam bentuk panas ke sekeliling tersebut terjadi di kondensor dengan laju sebesar Q_k .

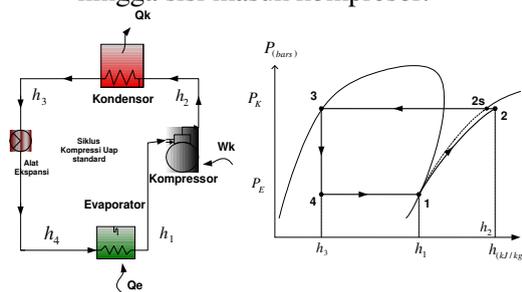
Siklus kompresi uap dibedakan antara siklus kompresi uap ideal dan siklus kompresi uap nyata. Pada siklus kompresi uap ideal proses berlangsung di dalamnya dengan kondisi ideal yang tidak akan ditemukan dalam penerapannya, sedangkan siklus kompresi uap sebenarnya berlangsung pada siklus kompresi uap nyata.

a.1. Siklus Kompresi Uap Ideal

Siklus yang paling banyak digunakan untuk merealisasikan uraian di atas pada sistem refrigerasi adalah siklus kompresi uap. Di dalam siklus ini, uap dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik, kemudian uap ini ditampung dalam kondensor untuk dikondensasikan sambil melepas panas ke lingkungan sehingga menjadi cair dan ditampung di receiver. Cairan ini kemudian diekspansikan melalui katup sehingga temperatur dan tekanannya turun. Keluar dari katup ekspansi refrigeran yang dapat berfasa campuran cair dan gas ini masuk ke evaporator untuk diuapkan sambil menyerap kalor dari lingkungan, uap bertekanan rendah ini nanti akan dikompresikan kembali, sehingga siklus berulang seperti diuraikan di atas.

Jadi secara umum ada dua bagian penting dalam siklus kompresi uap yaitu :

1. Bagian yang bertekanan tinggi mulai dari sisi keluar kompresor hingga sisi masuk katup ekspansi.
2. Bagian yang bertekanan rendah mulai dari sisi keluar katup ekspansi hingga sisi masuk kompresor.



Gambar 2.1 Siklus Kompresi Uap Ideal

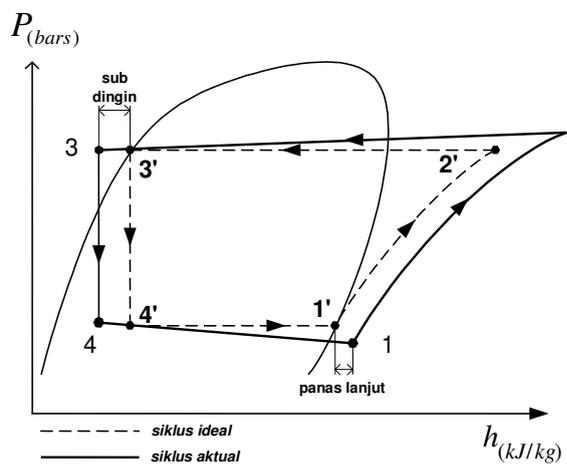
Sebuah siklus kompresi uap memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator, seperti digambarkan pada gambar 2.1.

Keempat komponen tersebut sekaligus juga mewakili 4 proses termodinamika yang dialami oleh refrigeran pada siklus

ini.

a.2. Siklus Kompresi Uap Nyata

Siklus kompresi uap ideal yang diuraikan di atas tidak mungkin terjadi, sehingga pada siklus kompresi uap nyata terjadi beberapa terjadi. Pada kenyataannya siklus kompresi uap mengalami penyimpangan dari kompresi uap ideal. Penyimpangan dari siklus yang sebenarnya ini dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 . Siklus kompresi Uap Aktual

b. Refrigeran

Refrigeran dapat dikelompokkan ke dalam jenis senyawa seperti senyawa hidrokarbon, senyawa anorganik, dan senyawa halokarbon. Senyawa halokarbon merupakan senyawa sintetik yang diturunkan dari senyawa hidrokarbon. Senyawa ini biasa juga disebut sebagai senyawa hidrokarbo-fluorinated (*fluorinated hydrocarbons*). Oleh sebab itu pembagian kelompok refrigeran tidak dilakukan menurut kelompok senyawa tetapi menurut ANSI/ASHRAE Standard 34 -1992 dan 34a-1993 dilakukan

berdasarkan nomor refrigeran. Seperti telah disebutkan sebelumnya refrigeran halokarbon diturunkan dari refrigeran hidrokarbon. Senyawa dasar hidrokarbon yang biasa digunakan adalah metana, etana dan propana. Senyawa hidrokarbon ini terdiri dari atom-atom carbon dan hidrogen. Refrigeran halokarbon adalah senyawa hidrokarbon yang satu atau beberapa atom hidrogennya digantikan oleh elemen halogen yaitu khlorin (Cl) dan atau fluorin (F). dengan demikian dari metana, etana, dan propana dapat diturunkan berbagai jenis refrigeran halokarbon. Refrigeran halokarbon yang diturunkan dari metana disebut sebagai refrigeran halokarbon gugus turunan metana dan demikian pula halnya dengan gugus turunan etana dan gugus turunan propana.

Sifat-sifat yang dipertimbangkan dalam memilih refrigeran, adalah: *sifat kimia, sifat fisik dan sifat termodinamik*. Berdasarkan sifat-sifat kimianya refrigeran yang baik : tidak beracun, tidak bereaksi dengan komponen refrigerasi, dan tidak mudah terbakar, serta tidak berpotensi menimbulkan pemanasan global (GWP rendah (*Global Warming Potential*)) dan tidak merusak lapisan ozon (ODP rendah (*Ozone Depleting Potential*)). Hal ini diperlukan agar kelestarian lingkungan terjaga, karena lapisan ozon di stratosfir berfungsi melindungi bumi dari radiasi sinar ultra violet yang berbahaya (antara lain dapat menimbulkan kanker kulit, dapat membunuh phytoplankton yang merupakan bagian dari rantai kehidupan laut). Berdasarkan sifat fisik dan termodinamiknya refrigeran yang baik mampu menghasilkan kapasitas refrigerasi per satuan daya kompresi yang tinggi.

Sifat-sifat fisik dan termodinamik refrigeran yang mempengaruhi daya kompresi dan kapasitas refrigerasi, adalah:

1. **Tekanan penguapan** : refrigeran sebaiknya mempunyai tekanan penguapan yang relatif tinggi, karena temperatur refrigeran juga tinggi, sehingga untuk kompresor yang sama dapat diperoleh kapasitas refrigerasi yang lebih besar.
2. **Tekanan pengembunan** : refrigeran dengan tekanan pengembunan rendah lebih diinginkan dalam sistem refrigerasi, karena rasio kompresinya menjadi lebih kecil dan daya kompresor yang dibutuhkan untuk kompresi pun menjadi kecil, selain itu mesin refrigerasi bekerja lebih aman, karena kemungkinan terjadinya kebocoran, atau kerusakan pada saluran refrigeran menjadi kecil.
3. **Kalor laten penguapan dan volume spesifik** : refrigeran, dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik fasa uap yang kecil, lebih diinginkan, karena pada sistem dengan kapasitas refrigerasi yang sama laju massa refrigeran menjadi lebih kecil. Dengan demikian untuk kapasitas refrigerasi yang sama diperlukan ukuran unit refrigerasi yang lebih kecil.
4. **Konduktivitas termal**: sifat ini mempengaruhi kinerja penukar kalor (evaporator dan kondensor). Refrigeran, dengan konduktivitas termal tinggi, lebih diinginkan dalam suatu sistem refrigerasi. Oleh karena dapat menghasilkan kinerja penukar kalor yang baik (pada beda temperatur yang kecil antara penukar kalor (refrigeran) dan lingkungan, mampu menghasilkan laju perpindahan panas yang besar).
5. **Viskositas refrigeran**: refrigeran dengan viskositas rendah yang lebih baik dalam sistem refrigerasi, karena dalam alirannya refrigeran akan

mengalami tahanan yang kecil. Hal tersebut akan memperkecil rugi aliran dalam pipa.

c. Refrigeran Hidrokarbon

Hidrokarbon (HC) merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon (R-12 dan R-22) karena beberapa kelebihan yang dimiliki yaitu :

1. Ramah lingkungan, yaitu tidak merusak lapisan ozon (ODP = 0), tidak menimbulkan pemanasan global (GWP kecil). Dapat dilihat pada tabel 2.1.

Table 2.1. ODP and GWP refrigeran hidrokarbon (HCR-12) dengan beberapa refrigeran lainnya.

Refrigerant	ODP	GWP
HCR-12	0	3
R-11	1	3500
R-12	1	7300
R-134a	0	1300

2. Pengganti langsung (drop-in substitute) tanpa perubahan komponen, sehingga untuk mesin refrigerasi yang sebelumnya menggunakan refrigeran R-12 maka refrigeran hidrokarbon dapat langsung menggantikannya tanpa melakukan penggantian komponen. Beberapa refrigeran tidak dapat langsung menggantikan refrigeran lainnya, seperti R-134a tidak dapat langsung digunakan untuk menggantikan R-12 tanpa penggantian beberapa komponen.
3. Pemakaian refrigeran lebih sedikit. Masa refrigeran hidrokarbon yang digunakan pada suatu mesin refrigerasi lebih sedikit dibandingkan jika menggunakan refrigeran lainnya. Pada

gambar 1. dapat dilihat bahwa masa refrigeran hidrokarbon (HCR-12) yang digunakan lebih sedikit, hanya sekitar 40 % dibandingkan dengan R-12.

4. Lebih hemat energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa refrigeran hidrokarbon (HCR-12) lebih hemat energi antara 5–25 %, dibandingkan R-12, hal ini karena jumlah refrigeran yang digunakan lebih sedikit, sehingga kerja kompresor lebih ringan, yang akan menghemat pemakaian energi listrik Pada
5. Memenuhi standar internasional yang dikeluarkan oleh Independent Australian Hydrocarbon Refrigeration Association (IAHRA), Greenhill Technology Association (GTA) Inc., Australia serta Calor Gas, UK,

Kelemahan hidrokarbon yang menonjol adalah mudah terbakar, namun hal ini tidak terlalu mengkhawatirkan jika prosedur keamanan penggunaan hidrokarbon diterapkan dengan baik serta telah diakui dan diatur oleh berbagai standar internasional yaitu : BS4434:1995 (Inggris), AS/NZ1677:1998 (Australia / New Zeland) dan DIN 7003 (Jerman).

Tabel 2.2 Perbandingan komposisi HCR-12 dan HCR-22 dengan Standar Internasional

Komponen	1.1.1.	Standar	HCR – 12	HCR – 22
Hidrokarbon jenuh	%	> 99.5	99.7	99.95
• Etana	%	< 0.5	0.01	0.35
• Pentana	%	< 0.5	< 0.1	< 0.1
Hidrokarbon tak jenuh	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Karbon dioksida CO ₂	%		< 0.1	< 0.1
Air	ppm	< 10	2.3	1.8

Kandungan Belerang	ppm	< 10	< 1	< 1
--------------------	-----	------	-----	-----

Penelitian refrigeran hidrokarbon dengan LES sudah mulai banyak dilakukan, dan beberapa sudah mulai digunakan serta dipatenkan.

METODOLOGI

Untuk mengetahui performa refrigeran R-12 dan HCR-12 dilakukan pengukuran performa masing-masingnya dengan menggunakan mesin pendingin kompresi uap. Skema alat mesin pendingin kompresi uap ditunjukkan pada Gambar.3.1. Hasil pengukuran yang diperoleh kemudian dilakukan penghitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini.

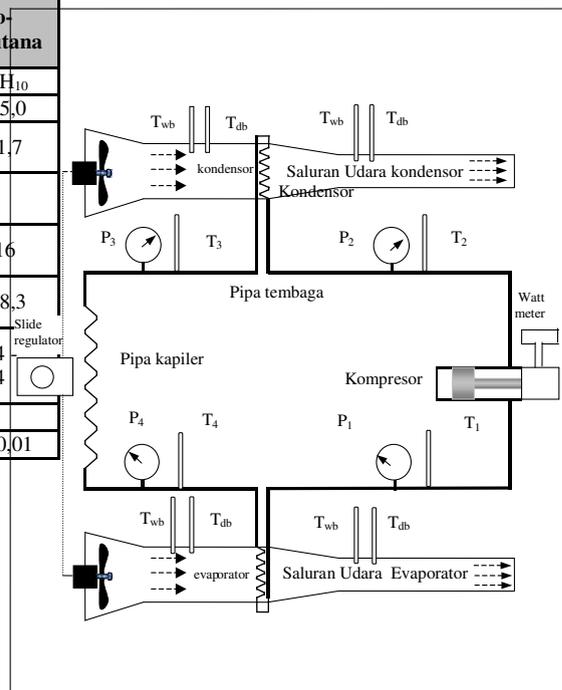
Tabel 2.3. Refrigeran alternatif sebagai pengganti R-12

Parameter	Refrigeran			
	R-12	R-134a	Propana/Isobutana	Iso-butana
Rumus kimia	CF ₂ Cl ₂	CH ₂ FCF ₃	C ₃ H ₈ /C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀
Temperatur kritis	112,0	101,1	96,0	135,0
Titik didih pada 1 atm [°C]	-29,8	-26,16	-30	-11,7
Massa jenis pada -25°C				
- uap jenuh [kg/m ³]	7,57	5,50	3,14	1,16
- cair jenuh [kg/m ³]	1472,0	1371,0	584,4	608,3
Batas nyala [% di dalam udara, 20°C, 1 atm]	-	-	1,8 - 9,0	1,4 - 8,4
ODP *	1,0	0	0	0
GWP #	3,1	0,27	< 0,01	< 0,01

* ODP relatif terhadap R-12 = 1

GWP relatif terhadap CO₂ = 1

Refrigeran hidrokarbon dapat terbakar jika bercampur dengan udara pada komposisi yang tepat dan titik nyalanya tercapai. Komposisi yang harus dihindari ini adalah jika hidrokarbon berada pada komposisi 2 –10% volume. Kedua kondisi ini, komposisi dan titik nyalanya, tidak boleh terjadi secara serentak baik didalam sistem refrigerasi maupun diluar sistem. Agar tidak mudah terbakar refrigeran hidrokarbon dapat diberi substansi tambahan agar sifat mampu nyalanya turun (LFS – *Low Flammable Substance*).



Gambar 3.1 Instalasi alat uji Mesin Pendingin Kompresi Uap.

Langkah-langkah perhitungan:

1. **Dampak Refrigerasi** adalah besarnya panas yang dapat diserap oleh

refrigeran persatuan massa. Besarnya dihitung dengan selisih entalpi refrigeran masuk dan keluar kondensor

$$q_e = \frac{Q_E}{m} = h_1 - h_4$$

2. **Kerja Kompresi** adalah kerja yang diterima oleh refrigeran untuk tiap satuan massa refrigeran

$$w_k = \frac{W_k}{m} = h_2 - h_1$$

3. **Coefficient of Performance (COP)** adalah perbandingan dampak refrigerasi dengan kerja kompresor

$$COP = \frac{q_e}{w_k} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

4. **Dampak pelepasan** adalah jumlah kalor yang dilepaskan refrigeran tiap satuan massa refrigeran

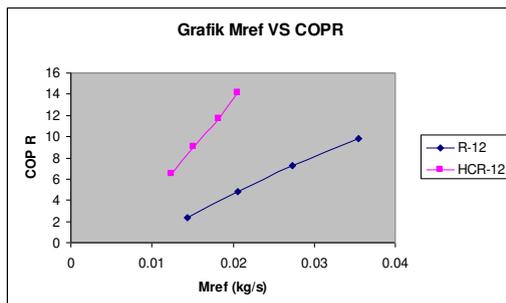
$$q_k = \frac{Q_k}{m} = h_2 - h_3$$

5. **Faktor Prestasi** adalah perbandingan jumlah kalor yang dilepaskan kondensor dengan kerja kompresor

$$COP = \frac{q_k}{w_k} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

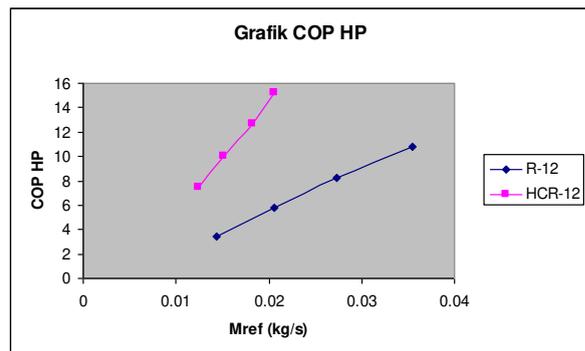
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian didapatkan grafik:



Gambar 4.1. Grafik laju aliran massa refrigeran (m_{ref}) terhadap COP_R

Pada Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa semakin tinggi laju aliran massa refrigeran, semakin tinggi COP_R . Kondisi ini merupakan pengaruh langsung dari panas yang diserap oleh evaporator. Perbandingan antara kedua refrigeran dapat dilihat refrigeran hidrokarbon memberikan COP_R yang lebih besar dari pada R12.



Gambar 4.2. Grafik laju aliran massa refrigeran (m_{ref}) terhadap COP_{HP}

Hal yang sama juga dijumpai pada gambar 4.2 di bawah ini, karena merupakan konsekuensi langsung dari keadaan apabila sistem bekerja sebagai pompa kalor. Bisa dilihat nilai COP_{HP} Refrigeran hidrokarbon lebih besar dari pada R12.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas tentang refrigeran hidrokarbon ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Lebih ramah lingkungan , tidak merusak lapisan ozon ($ODP = 0$) dan tidak menimbulkan efek pemanasan global (GWP kecil).
2. Pengganti langsung (*drop in substitute*), tanpa perubahan komponen mesin.
3. Lebih hemat energi antara 5 – 25 %.
4. Pemakaian refrigeran lebih sedikit

5. Sifat mampu nyalanya (flammability) dapat dikurangi dengan penambahan LFS (*Low Flammable Substance*).

Berdasarkan hasil kajian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Prestasi mesin pendingin kompresi uap COP_R (*Coefficient of Performance Refrigeration*) dan COP_{HP} (*Coefficient of Performance Heat Pump*) dengan menggunakan Refrigeran Hidrokarbon lebih tinggi dibandingkan menggunakan R12. Pada R-12, COP_R berkisar antara 2.4 sampai 9.8, COP_{HP} berkisar antara 3.4 sampai 10.8, sedangkan pada HCR-12, COP_R berkisar antara 6.4 sampai 14.1, COP_{HP} berkisar antara 7.4 sampai 15.1
2. Prestasi mesin pendingin kompresi uap COP_R (*Coefficient of Performance Refrigeration*) dan COP_{HP} (*Coefficient of Performance Heat Pump*) cenderung naik pada peningkatan laju aliran refrigerant hingga mencapai 0.035 pada R12 dan 0.014 pada HCR-12
3. Prestasi mesin pendingin kompresi uap COP_R (*Coefficient of Performance Refrigeration*) akan naik jika peningkatan panas yang diserap evaporator (Q_e) dan COP_{HP} (*Coefficient of Performance Heat Pump*) akan naik jika terjadi peningkatan panas yang dilepas kondensor (Q_k)

DAFTAR PUSTAKA

1. Agarwal, Radhey S., May 5-7, 1997, *Retrofitting of Domestic and Small Capacity Commercial Refrigeration Appliances Using Hydrocarbon Blends*, Proceedings Seminar on ODS Phase-Out: Solutions for the Refrigeration Sector, Kuta, Bali,.
2. Althouse, Andrew D., 1982, *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, The Goodheart-Willcox Company, Inc., South Holland, Illinois,.
3. Ambarita, Himsar, 2001, *Perancangan dan Simulasi Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida dengan HCR-12 sebagai Pengganti R-12 yang Sekaligus Bertindak sebagai Mesin Refrigerasi pada Lemari Pendingin (Cold Storage) dan Pompa Kalor pada Lemari Pengereng (Drying Room)*, Tesis, Jurusan Teknik Mesin, ITB, Bandung,.
4. An Ecofrig Publication, 1999, *Safe Conversion and Servicing Practices for Refrigeration Appliances Using Hydrocarbon Refrigerant*,.
5. Aziz, Azridjal, 2001, *Pembuatan dan Pengujian Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Hibrida dengan Refrigeran HCR-12 yang Sekaligus Bertindak Sebagai Mesin Refrigerasi pada Lemari Pendingin (Cold Storage) dan Pompa Kalor pada Lemari Pengereng (Drying Room)*, Tesis, Jurusan Teknik Mesin, ITB, Bandung,.
6. Eco-refrigeration, 1997, *Proceeding Conference of HC Fluids in Domestic and Commercial Refrigeration Appliances*,.
7. Hewitt, G.F., 1994 *Process Heat Transfer*, CRC Press Inc., Boca Raton, USA,
8. Moran, M.J., Saphiro, H.N., 1995, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York,
9. Pasek, A.D., Tandian, N.P., July 2-6 2000, *Short Course on the Applications of Hydrocarbon Refrigerants*, International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion 2000, Bandung, Indonesia, .
10. Stoecker, W.F. and Jones, J.W., 1989, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi Kedua*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
11. Watanabe, K., Widiatmo, J.V., May 5-7, 1997, *Alternative Refrigerants and Their Thermophysical Properties Research*, Proceedings Seminar on ODS Phase-Out: Solutions for the Refrigeration Sector, Kuta, Bali,