

## Studi performa sistem pendingin kompresi uap dengan R22/R404A/R134a dengan menggunakan software EES

Ekadewi A. Handoyo<sup>1,\*</sup>, Amelia<sup>1</sup>, Suwandi Sugondo<sup>1</sup>, Yusak Tanoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia

\*email: ekadewi@petra.ac.id

### Abstrak

Mesin pendingin diperlukan untuk banyak hal seperti menunjang kehidupan terutama untuk daerah empat musim, menunjang proses di banyak industri, dan mempermudah proses penyimpanan makanan. Kebanyakan mesin pendingin menggunakan sistem pendingin kompresi uap.

Salah satu komponen penting dalam sistem tersebut adalah fluida kerja sebagai refrigerant. Refrigerant yang banyak dipakai adalah HCFC R22 yang masih memiliki ODP (Ozone Depletion Potential) dan sudah dilarang diproduksi. Refrigerant yang tidak memiliki ODP yang dapat menggantikan R22 adalah HFC R134a dan HFC R404a.

Suatu program dengan EES (Engineering Equation Solver) dibangun untuk mempelajari pengaruh ketiga refrigerant jika digunakan pada suatu sistem pendingin kompresi uap.

Dari studi dengan EES didapatkan bahwa Refrigerant HCFC R22 memberikan COP tertinggi dan memerlukan kerja input kompresor terkecil. Refrigerant HFC R134a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi ketika temperatur kerja kondensor 45°C dan COP sedikit lebih rendah dari R22. Refrigerant HFC R404a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi ketika temperatur kerja kondensor 35°C. Temperatur saturasi R404a paling rendah untuk semua tekanan kerja, baik di evaporator maupun di kondensor. Dengan demikian, R404a paling tepat digunakan untuk pendinginan yang memerlukan temperatur rendah.

**Kata kunci :** refrigerant R22, refrigerant R134a, refrigerant R404a, EES, sistem pendingin

### Pendahuluan

Kemajuan teknologi memberi banyak kemudahan dalam hidup manusia. Alat transportasi memudahkan perpindahan dari satu lokasi ke lokasi lain. Alat bantu dalam pertanian juga membuat proses menanam, merawat, atau memanen lebih mudah. Semua bidang dalam hidup manusia dipengaruhi oleh teknologi. Kebiasaan dan perilaku manusia ikut dipengaruhi teknologi. Pada jaman dahulu sebelum ada mesin pendingin, proses mengolah makanan dilakukan ketika hendak memasak. Bahan baku dibeli sesuai dengan kebutuhan atau dilakukan pengasapan atau penggaraman jika tersedia melimpah. Mesin pendingin atau freezer yang dihasilkan teknologi memungkinkan orang menyimpan bahan baku dalam jumlah lebih banyak dari yang diperlukan.

Dalam lemari es, udara dingin bersirkulasi di dalamnya dan mendinginkan semua yang

ada di dalam lemari es, termasuk makanan atau minuman. Selain lemari es, orang juga membuat freezer untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah sehingga dapat membekukan makanan atau minuman. Lemari es atau freezer pada hakekatnya adalah peralatan yang dapat menyerap panas dari udara dalam ruangan lemari es atau freezer dan membuang panas tersebut ke sekitar.

Lemari es atau mesin pendingin bekerja dengan siklus pendingin tertentu. Pada umumnya, mesin pendingin bekerja dengan siklus pendingin kompresi uap. Siklus pendingin lain yang dapat digunakan adalah siklus pendingin gas, siklus pendingin absorpsi, siklus pendingin *cascade*, dan siklus pendingin *thermoelectric* [1]. Siklus pendingin gas biasanya digunakan untuk menyediakan udara dalam pesawat terbang. Siklus pendingin absorpsi menggunakan fluida sebagai absorbent agar peningkatan tekanan dalam siklus dapat dilakukan oleh

pompa bukan kompresor. Jika beda temperatur kerja dalam ruang kabin dengan lingkungan sangat tinggi, siklus pendingin kompresi uap dapat diparalel dan sering disebut siklus pendingin *cascade*. Sedang siklus pendingin *thermoelectric* menggunakan efek Peltier. Dari semua siklus pendingin, yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah siklus pendingin kompresi uap.

Komponen utama dari suatu siklus pendingin kompresi uap adalah kompresor, katup ekspansi, evaporator, dan kondensor. Fluida kerja yang mengalir di antara keempat komponen itu disebut refrigerant. Kompresor membuat refrigerant mengalir melalui ketiga komponen yang lain. Ketika refrigerant mengalir melalui katup ekspansi, tekanan refrigerant turun drastis. Penurunan tekanan ini disertai dengan penurunan temperatur. Refrigerant yang sangat dingin ini kemudian dialirkan ke dalam evaporator yang pada dasarnya adalah deretan pipa. Karena refrigerant sangat dingin, maka udara yang dialirkan oleh fan dapat melepas panas dan temperatur udara turun lebih dingin. Udara yang dingin ini dialirkan oleh fan masuk ke ruang kabin dalam lemari es. Panas yang diterima refrigerant perlu dibuang ke lingkungan agar mesin pendingin dapat bekerja siklus. Pelepasan panas tersebut terjadi di kondensor yang pada dasarnya adalah deretan pipa dengan fin.

Perpindahan panas dalam evaporator dan kondensor melibatkan perubahan fase dari refrigerant. Oleh karenanya, sifat (*property*) termal refrigerant menjadi hal yang penting dalam menentukan fluida yang dapat menjadi refrigerant. CFC (*Chlorofluorocarbon*), HCFC (*Hydrochlorofluorocarbon*), dan HFC (*Hydrofluorocarbon*) banyak dan sejak lama digunakan sebagai refrigerant. Setelah CFC ditemukan berbahaya bagi lapisan ozon, dicarilah refrigerant pengganti. Pada tahun 1987 telah ditandatangani persetujuan internasional (Montreal Protocol) yang mengalami perubahan beberapa kali. Refrigerant CFC direncanakan tidak ada lagi pada 1 Januari 1996 untuk negara maju dan tahun 2000 untuk negara berkembang [2].

Pada tahun 1997, negara-negara yang menandatangani Kyoto Protocol sepakat mengurangi emisi dari gas rumah kaca

(Greenhouse Gases – GHG). Refrigerant HFC termasuk sebagai GHG karena mempunyai Global Warming Potential (GWP) yang tinggi meskipun Ozone Depletion Potential (ODP) HFC adalah nol. Regulasi terkait lingkungan fokus pada menghilangkan HFC ini [3].

Refrigerant yang paling banyak digunakan di mesin pendingin bangunan adalah HCFC yang dikenal sebagai R-22. Jenis tersebut mulai dikurangi dan akan dihapus untuk digunakan dalam peralatan pendingin baru dimulai pada tahun 2010, dan akan benar-benar dihentikan penggunaannya pada tahun 2020. Refrigerant pengganti HCFC R22 lebih susah dicari dibanding ketika mencari pengganti CFC R12. Dua refrigerant HFC yang umum digunakan sebagai pengganti R22 adalah R134a dan R404a. R134a untuk mesin pendingin dengan temperatur kerja medium, tidak terlalu rendah dan R404a sering digunakan untuk *freezer* [4].

Refrigerant R134a sama seperti R22 merupakan refrigerant tunggal. Sedangkan R404a terdiri dari 44% R125, 52% R143a, dan 4% R134a [4].

Perbandingan *physical and environmental characteristics* ada pada Tabel. 1 [5] dan [6].

Tabel. 1. *Physical and environmental characteristics* ketiga refrigerant

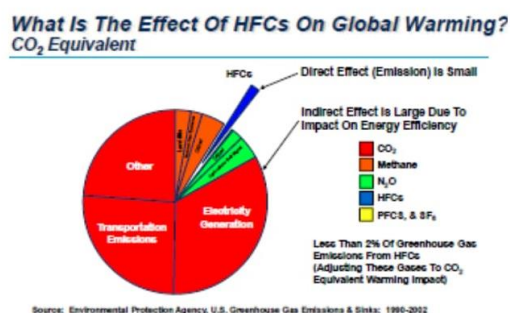
Properties	R22	R134a	R404a
Berat molekul (kg/kmol)	86.47	102	97.6
Titik didih pada 1 atm (°C)	-40.8	-26.1	-45.48
T <sub>kritis</sub> (°C)	96.1	101.1	72.12
P <sub>kritis</sub> (kPa)	4990	4060	3735
ODP	0.05	0	0
GWP	1810	1300	3943

Tekanan kritis ketiganya di atas 1 atm, sehingga ketiganya akan berwujud gas pada suhu dan tekanan standar (1 atm, 25°C). Pada tekanan 1 atm, titik didih R134a paling tinggi dan R404a paling rendah dan mendekati R22. Refrigerant sebaiknya bekerja pada tekanan di atas 1 atm. Hal ini menunjukkan bahwa R404a dapat bekerja pada temperatur yang lebih rendah dibanding R134a. Hal ini bersesuaian dengan yang disampaikan Grace & Tassou.

R134a dan R404a yang merupakan refrigerant HFC tidak memiliki ODP (Ozone Depletion Potential). Hanya saja GWP (Global Warming Potential) R404a sangat

tinggi. Jika terjadi kebocoran atau emisi, R134a dan R404a yang terlepas tidak berbahaya bagi lapisan ozon, tetapi keduanya menyebabkan pemanasan global, terutama R404a [4].

Pengaruh dari HFC terhadap pemanasan global secara langsung (yaitu ketika ada emisi HFC langsung ke lingkungan) kecil sekali, yaitu kurang dari 2%. Sedang pengaruh tidak langsung yaitu karena penggunaan energi listrik lebih besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [7].



Gambar 1. Pengaruh refrigerant HFC terhadap pemanasan global [7]

Meskipun GWP refrigerant R404a tinggi, tetapi R404a banyak dipakai di Eropa. Hal ini disebabkan karena sistem pendingin dengan R404a yang tercampur dengan 3% pelumas POE (Poly Ester Oil) memberikan COP dan kapasitas pendinginan lebih tinggi daripada R134a [8].

Untuk mengetahui kinerja sistem pendingin dengan refrigerant pengganti R22, maka dilakukan studi dengan menggunakan software EES (Engineering Equation Solver). Studi akan membandingkan refrigerant HCFC R22 dengan HFC R134a dan HFC R404a. Sebuah program dengan EES akan dibangun untuk mengetahui performa sistem pendingin dengan ketiga refrigerant tersebut. Performa sistem pendingin yang hendak dibandingkan meliputi: kapasitas pendinginan, laju aliran refrigerant, COP, pengaruh tekanan kerja evaporator, dan tekanan kerja kondensor.

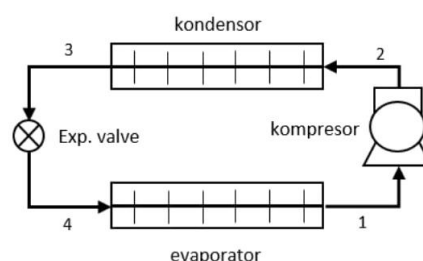
### Model Termodinamika dari performa sistem pendingin

Sistem pendingin bekerja berdasarkan siklus pendingin kompresi uap (*vapor-compression refrigeration cycle*) dengan empat komponen

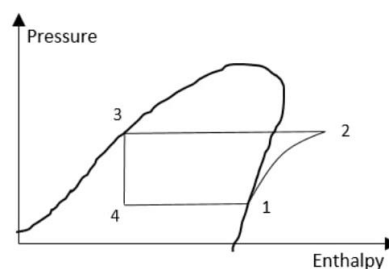
utama seperti pada Gambar 2. Diagram *P-h* siklus dapat dilihat pada Gambar 3.

Beberapa asumsi yang diambil dalam studi ini adalah:

- analisa dilakukan pada kondisi *steady*,
- tekanan refrigerant selama mengalir melalui evaporator maupun kondensor adalah konstan,
- refrigerant ke luar evaporator dan memasuki kompresor dalam keadaan uap jenuh,
- refrigerant ke luar kondensor dan memasuki katup ekspansi dalam keadaan cair jenuh,
- efisiensi isentropik kompresor adalah 0,7.



Gambar 2. Siklus pendingin kompresi uap



Gambar 3. Diagram *P-h* siklus kompresi uap

Hukum ke-1 Termodinamika untuk siklus pendingin yang merupakan siklus tertutup seperti pada Persamaan 1 [1]:

$$Q_{in-evap} + W_{in-compressor} + Q_{out-condensor} = 0 \quad (1)$$

$Q_{in-evap}$  adalah laju panas yang diterima refrigerant ketika mengalir melalui evaporator atau **kapasitas pendinginan**, yang dihitung dengan Persamaan 2, yaitu:

$$Q_{in-evap} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (2)$$

$W_{in-compressor}$  adalah daya listrik yang diperlukan kompresor untuk mengalirkan

refrigerant yang dapat dicari dengan Persamaan 3, yaitu:

$$W_{in-compressor} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

$Q_{out-condensor}$  adalah laju panas yang dibuang refrigerant ketika mengalir melalui kondensor yang dicari dengan Persamaan 4, yaitu:

$$Q_{out-condensor} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (4)$$

Performa suatu sistem pendingin umumnya diukur dengan **COP (Coefficient of Performance)** yang ditentukan dengan Persamaan 5:

$$COP = \frac{Q_{in-evap}}{W_{in-compressor}} \quad (5)$$

Di mana:

$\dot{m}$  = laju aliran refrigerant yang mengalir dalam sistem pendingin,

$h$  = enthalpy refrigerant yang besarnya bergantung pada temperatur dan tekanan. Index 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan posisi refrigerant dalam siklus seperti pada Gambar 1 dan 2.

#### EES (Engineering Equation Solver)

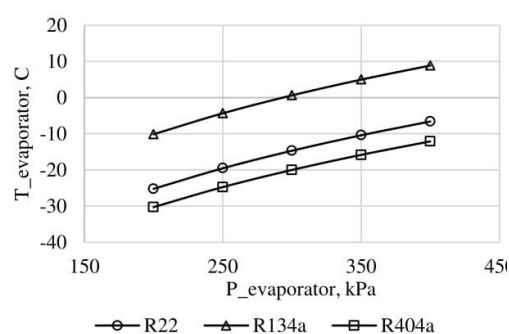
EES adalah program komputer yang dapat menyelesaikan persamaan matematis. Secara numerik, EES dapat menyelesaikan beberapa persamaan aljabar non-linier yang saling berkaitan dan persamaan differential. Beberapa kelebihan dari Program ini adalah: dapat menyelesaikan persamaan differential dan integral, dapat digunakan untuk optimasi, untuk analisa ketidakpastian, untuk regresi linier dan tidak linier, konversi satuan. Kelebihan utama EES adalah program ini memiliki database yang akurat dari property transport dan termodinamika dari ratusan substansi yang dapat digunakan di dalam persamaan yang hendak diselesaikan melalui program yang dibangun [9]. Dengan program EES, data yang diperlukan dalam perhitungan seperti massa jenis, viskositas, konduktivitas termal, enthalpi, temperatur atau tekanan saturasi, titik kritis, dan sebagainya telah tersedia.

Sebuah program dengan EES dibangun dengan menggunakan semua data input dan persamaan terkait. Adapun data input meliputi: temperatur kerja refrigerant melalui evaporator dan kondensor, efisiensi isentropik kompresor diambil 70%, dan jenis refrigerant

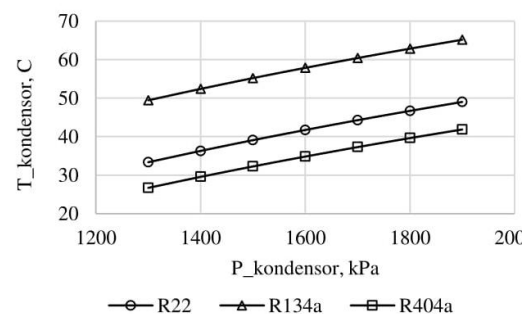
R22, R134a, dan R404a. Variabel input untuk temperatur di evaporator:  $-25^{\circ}\text{C}$  hingga  $0^{\circ}\text{C}$  dengan kenaikan tiap  $5^{\circ}\text{C}$ . Sedang temperatur kerja di kondensor dipilih  $35^{\circ}\text{C}$  dan  $45^{\circ}\text{C}$ .

#### Hasil dan Analisa

Setiap refrigerant memiliki temperatur saturasi yang berbeda pada tekanan tertentu. Gambar 4 menunjukkan temperatur saturasi ketika refrigerant mengalir melalui evaporator dan Gambar 5 ketika melalui kondensor. Dari kedua gambar terlihat pada tekanan yang sama, R134a mempunyai temperatur saturasi yang paling tinggi baik ketika mengalir di evaporator maupun kondensor. Hal ini memperkuat pernyataan yang disampaikan Grace & Tassou.



Gambar 4. Pengaruh tekanan kerja ketiga refrigerant di evaporator terhadap temperatur kerja evaporator.



Gambar 5. Pengaruh tekanan kerja ketiga refrigerant di kondensor terhadap temperatur kerja kondensor.

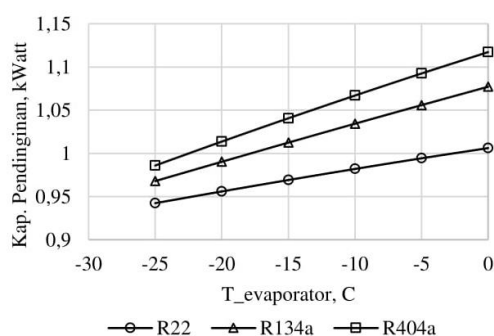
Dari kedua gambar juga terlihat bahwa R404a mempunyai temperatur saturasi yang lebih mendekati R22. Hanya saja R404a mempunyai GWP yang tinggi.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa kapasitas pendinginan dapat mencapai 1,12 kWatt

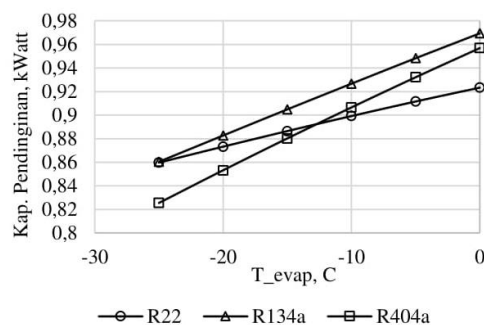


ketika digunakan R404a dan temperatur kerja evaporator  $0^{\circ}\text{C}$ . Kapasitas pendinginan dicari dengan Persamaan (2). Nilai kapasitas ditentukan dari laju aliran massa refrigerant dan selisih enthalpi keluar dan masuk evaporator yang merupakan sifat fisis refrigerant. Kapasitas ini berkurang menjadi 980 Watt ketika temperatur kerja evaporator sangat rendah, yaitu  $-25^{\circ}\text{C}$ . Kapasitas dengan R404a lebih tinggi dibanding R22 dan R134a. Gambar 6 menunjukkan kapasitas pendinginan ketika temperatur kerja kondensor  $35^{\circ}\text{C}$ . Sedang Gambar 7 menunjukkan kapasitas ketika temperatur kerja kondensor  $45^{\circ}\text{C}$ . Refrigerant 134a memberikan kapasitas pendinginan lebih tinggi dibanding R404a. Ketika temperatur kerja evaporator  $0^{\circ}\text{C}$ , kapasitas pendinginan dengan R134a dapat mencapai 0,970 kWatt dan hanya 0,957 Watt dengan R404a.

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan kapasitas pendinginan pada dua temperatur kondensor yaitu  $35^{\circ}\text{C}$  dan  $45^{\circ}\text{C}$ . Ketika kondensor bekerja pada temperatur yang lebih rendah, R404a memberikan kapasitas yang tertinggi, tetapi ketika temperatur kondensor meningkat kapasitas pendinginan R134a lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena sifat fisis ketiga refrigerant. Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa R134a lebih cocok dipakai pada temperatur kondensor yang agak tinggi atau lingkungan agak panas. Hal ini sesuai dengan temuan beberapa peneliti yang menyampaikan bahwa R404a yang mempunyai titik didih lebih rendah dari R134a lebih tepat digunakan untuk keperluan medis, karena temperatur rendah yang dapat dicapai R404a [10].

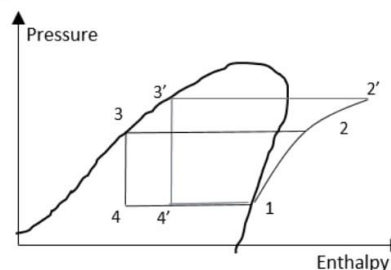


Gambar 6. Kapasitas pendinginan ketika  $T_{\text{kondensor}} = 35^{\circ}\text{C}$



Gambar 7. Kapasitas pendinginan ketika  $T_{\text{kondensor}} = 45^{\circ}\text{C}$

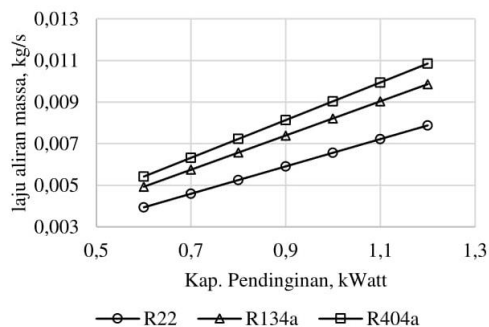
Kapasitas pendinginan yang dihasilkan sistem pendingin lebih tinggi ketika temperatur kondensor lebih rendah. Pada Diagram  $P-h$  di Gambar 8 terlihat bahwa kubah saturasi semakin menyempit ketika tekanan semakin tinggi. Jika temperatur atau tekanan kerja kondensor meningkat, maka titik 2 bergeser ke atas menjadi titik 2'. Pergeseran ini juga membuat refrigerant ke luar dari kondensor berpindah ke titik 3' dan ke luar dari katup ekspansi pada titik 4'. Hal ini menyebabkan kapasitas pendinginan menurun ketika temperatur kondensor lebih tinggi.



Gambar 8. Diagram  $P-h$  ketika temperatur kondensor lebih tinggi

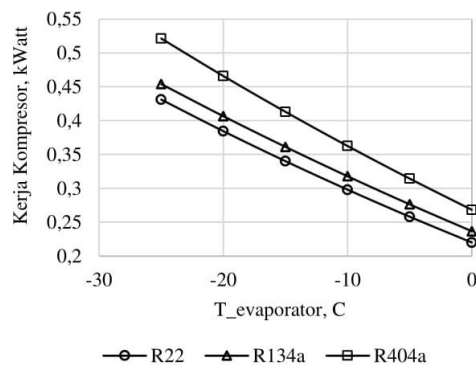
Laju aliran massa refrigerant yang diperlukan meningkat seiring dengan kenaikan kapasitas pendinginan, seperti pada Gambar 9. Untuk menghasilkan kapasitas pendinginan yang sama, laju aliran massa tertinggi diperlukan untuk R404a dan terendah untuk R22. Ketika kapasitas pendinginan 1,1 kWatt, laju aliran massa R404a yang diperlukan sebanyak 0,0118 kg/s dan yang diperlukan R134a sebanyak 0,00855 kg/s. Kebutuhan laju aliran massa R404a selalu lebih tinggi daripada R134a maupun

R22 untuk menghasilkan kapasitas pendinginan yang sama. Hal ini mempengaruhi kerja input yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor seperti pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 9. Laju aliran refrigerant pada berbagai kapasitas pendinginan.

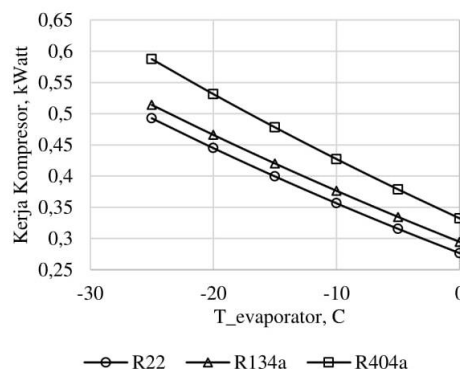
Jika kondensor bekerja pada temperatur yang lebih tinggi, yaitu 45°C, maka kompresor memerlukan kerja input yang lebih tinggi dibanding ketika temperatur kondensor 35°C, seperti pada Gambar 10 dan 11. Kerja input kompresor dicari dengan Persamaan (3). Temperatur kerja kondensor lebih tinggi menandakan tekanan kerja yang lebih tinggi. Kompresor memerlukan kerja input lebih besar untuk mengalirkan refrigerant ke tekanan lebih tinggi.



Gambar 10. Kerja input kompresor ketika  $T_{kondensor} = 35^{\circ}\text{C}$

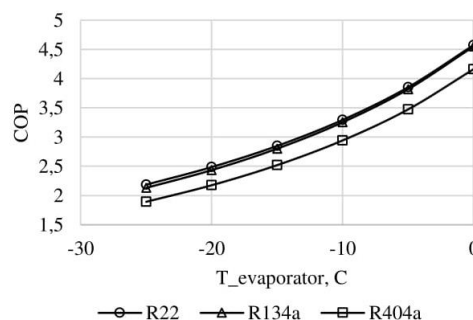
Kerja input terbesar yang diperlukan adalah ketika menggunakan R404a dan terkecil ketika menggunakan R22. Dari Gambar 10, ketika temperatur kerja evaporator 0°C dan kondensor 35°C, kerja

input kompresor untuk mengalirkan R404a, R134a, dan R22 adalah 0,268 kW, 0,237 kW, dan 0,220 kW. Sedang untuk temperatur kerja kondensor 45°C, dari Gambar 11 terlihat kerja yang diperlukan adalah: 0,332 kW, 0,295 kW, dan 0,277 kW untuk R404a, R134a, dan R22.

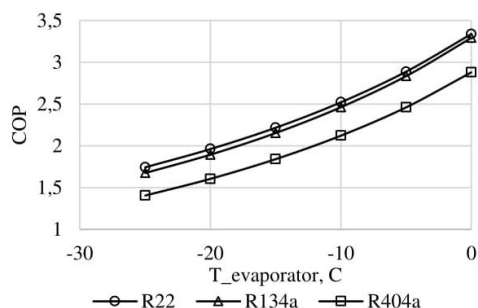


Gambar 11. Kerja input kompresor ketika  $T_{kondensor} = 45^{\circ}\text{C}$

Sedang COP sistem pendingin dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13. Kerja input kompresor dan kapasitas pendinginan menentukan COP, performa sistem pendingin yang dicari dengan Persamaan (5). Ketika temperatur kerja kondensor meningkat, COP berkurang. Ketika temperatur kerja kondensor 35°C dan temperatur evaporator 0°C, dari Gambar 12 terlihat bahwa COP jika menggunakan R22 adalah 4,57, dengan R134a sebesar 4,55 dan dengan R 404a sebesar 4,16. Namun, jika temperatur kerja kondensor naik menjadi 45°C, Gambar 13 menunjukkan bahwa COP menjadi 3,34 dengan R22, 3,29 untuk R134a, dan 2,88 untuk R404a.



Gambar 12. COP sistem pendingin ketika  $T_{kondensor} = 35^{\circ}\text{C}$



Gambar 13. COP sistem pendingin ketika  $T_{\text{kondensor}} = 45^{\circ}\text{C}$

Refrigerant R22 selalu membuat COP sistem pendingin paling tinggi, lalu R134a, dan terkecil R404a. Meskipun COP paling rendah, tetapi R404a tetap dipakai sebagai ganti R22 untuk keperluan pendinginan temperatur rendah, seperti pemakaian R404a untuk heat pump di utara China [11].

### Kesimpulan

Dari studi dengan EES didapatkan:

- Refrigerant HFC R404a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi, yaitu 1,12 kWatt ketika temperatur kerja kondensor  $35^{\circ}\text{C}$  dan temperatur evaporator  $0^{\circ}\text{C}$ .
- Refrigerant HCFC R22 memberikan COP tertinggi, yaitu 4,57 dan memerlukan kerja input kompresor terkecil, yaitu 0,220 kWatt.
- Ketika temperatur kerja kondensor  $45^{\circ}\text{C}$ , Refrigerant HFC R134a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi 0,970 kWatt dan COP (sebesar 3,29) yang sedikit lebih rendah dari R22 (sebesar 3,32).
- Laju aliran massa tertinggi diperlukan untuk pendingin dengan fluida kerja HFC R404a dan terendah dengan HCFC R22 untuk menghasilkan kapasitas pendinginan yang sama.
- Temperatur saturasi R404a paling rendah untuk semua tekanan kerja, baik di evaporator maupun di kondensor. Jadi R404a paling tepat digunakan untuk pendinginan yang memerlukan temperatur rendah.

### Ucapan Terima kasih

Penulis sangat bersyukur untuk hibah penelitian yang diterima dari Kopertis Wilayah VII Jawa Timur, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dengan kontrak no. /SP2H/PDSTRL\_PEN/LPPM-UKP/V/2016.

### Referensi

- [1] M. J. Moran dan H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 7th ed., New York: John Wiley & Sons, 2015.
- [2] E. Commision, *The Montreal Protocol*, European Communities, 2007.
- [3] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbri, A. Barragan-Cervera, F. Moles dan B. Peris, "Analysis based on EU Regulation No 517/2014 of new HFC/HFO mixtures as alternatives of high GWP refrigerants in refrigeration and HVAC systems," *International Journal of Refrigeration* 52, pp. 21-31, 2015.
- [4] I. N. Grace dan S. A. Tassou, "Simulation of the Performance of Alternative Refrigerants in Liquid Chillers," *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2000.
- [5] V. Jain, S. S. Kachhwaha dan R. S. Mishra, "Comparative performance study of vapour compression refrigeration system with R22/R134a/R410A/R407C/M20," *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 2, Issue 2, pp. 297-310, 2011.
- [6] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbri, B. Peris, F. Molés dan G. Verdú, "Experimental evaluation of R448A as R404A lower-GWP alternative in refrigeration systems," *Energy Conversion and Management* 105, p. 756-762, 2015.
- [7] R. Rajendran, "Recent Developments In refrigerants for air conditioning and refrigeration systems," *Emerson Climate Technologies*, 2012.
- [8] K. Saravanan dan R. Vijayan, "Experimental study of R134A and R404A with poe oil in vapour compression system using water cooled serpentine condenser," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 2, pp. 3871-3888, 2015.
- [9] S. A. Klein, *Engineering Equation Solver Manual Book*, F-Chart Software, 2016.
- [10] D. Li, B. Chen, W. Wu, G. Wang dan Y. He, "Multi-scale modeling of tissue freezing during cryogen spray cooling with R134a, R407c and R404a," *Applied Thermal Engineering*, vol. 73, pp. 1489-1500, 2014.
- [11] L. Jin, F. Cao, D. Yang dan X. Wang, "Performance investigations of an R404A air-source heat pump with an internal heat exchanger for residential heating in northern China,"

*international journal of refrigeration*, vol. 67, p.  
239–248, 2016.