

Studi Kinerja Teoritis Dan Konsumsi Energi Pengkondisian Udara Menggunakan R22 Dan R290

Matheus M. Dwinanto¹, Wenseslaus Bunganaen¹, Indra H. Syaifullah¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597

E-mail: matheus.dwinanto@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan refrigeran hidrokarbon yang lebih ramah lingkungan di sistem pengkondisian udara telah menjadi tuntutan dan isu sentral pada masa yang akan datang. Artikel ini menyajikan hasil simulasi perbandingan penggunaan R22 dan R290 terhadap kinerja dan konsumsi energi per tahun sistem pengkondisian udara. Analisis termodinamika sistem yang menggunakan kedua refrigeran tersebut menggunakan perangkat lunak CoolPack versi 1.50 pada berbagai variasi temperatur evaporasi, dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Besaran-besaran penting yang dianalisis adalah laju aliran massa refrigeran, rasio tekanan kompresor, temperatur gas refrigeran keluar kompresor, pelepasan kalor di kondensor, daya kompresor, koefisien kinerja, dan konsumsi energi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja dan konsumsi energi sistem yang menggunakan kedua jenis refrigeran tersebut pada dasarnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, R290 memiliki temperatur keluar kompresor jauh lebih rendah sehingga umur pakai kompresor lebih lama. Di samping itu, R290 lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan R22 maka penggunaan R290 sangat dianjurkan.

ABSTRACT

The use of more environmentally friendly hydrocarbon refrigerants in air conditioning systems has become a demand and a central issue in the future. This article presents the simulation results of the comparison of the use of R22 and R290 on the performance and energy consumption per year of air conditioning systems. The thermodynamic analysis of the system using the two refrigerants used CoolPack software version 1.50 at various evaporation temperatures, with the condensation temperature held constant. The important quantities analyzed are refrigerant mass flow rate, compressor pressure ratio, and refrigerant gas temperature leaving the compressor, heat release in the condenser, compressor power, performance coefficient, and energy consumption. The results of this study indicate that the performance and energy consumption of systems that use the two types of refrigerants basically have no significant difference. However, the R290 has a much lower compressor exit temperature which results in a longer compressor life. In addition, R290 is more environmentally friendly than R22, so the use of R290 is highly recommended.

Keywords: Air conditioning, coefficient of performance, energy consumption, environmentally friendly refrigerant.

PENDAHULUAN

Pengkondisian udara telah menjadi kebutuhan masyarakat baik itu untuk rumah tangga, minimarket, gedung perkantoran, hotel, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, terutama di daerah beriklim panas, pengkondisian udara merupakan kebutuhan yang tidak lagi mengandung arti kemewahan karena dapat memberikan kenyamanan termal bagi penghuninya.

Sejak pengkondisian udara diluncurkan pertama kali, refrigeran yang sangat populer digunakan di Indonesia adalah R22 (HCFC-22). Namun, perkembangan kebijakan global di bidang lingkungan (Protokol Montreal dan Kyoto) mendorong negara-negara berkembang untuk wajib melaksanakan penghapusan penggunaan Bahan Perusak Ozon (BPO) secara bertahap sampai batas waktu tertentu, maka Kementerian Perindustrian mengeluarkan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor: 41/M-IND/PER/5/2014 tentang

Larangan Penggunaan HCFC (*Hydrochloroflourocarbon*) di Bidang Perindustrian, yang diundangkan pada tanggal 4 Juni 2014 [1]. Oleh karena itu, refrigeran dari golongan hidrokarbon seperti R290 saat ini mulai digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti R22, dan Tabel 1 menyajikan efek lingkungan refrigeran R22 dan R290 [2].

Tabel 1. Efek R22 dan R290 terhadap lingkungan

Refrigeran	Tipe	Ozon Depleting Potential (ODP)	Global Warming Potential (GWP)	Waktu Hidup di Atmosfir (Tahun)
R22	HCFC	0,05	1780	12
R290	HC	0	3	0

Sebenarnya hidrokarbon sebagai refrigeran sudah dikenal masyarakat sejak 1920 di awal teknologi refrigerasi bersama fluida kerja natural lainnya seperti ammonia, dan karbon dioksida. Hidrokarbon yang sering dipakai sebagai refrigeran adalah propana (R290), isobutana (R600a), dan n-butana (R600). Meskipun hidrokarbon sangat mudah terbakar tetapi refrigeran ini memiliki beberapa kelebihan seperti, ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai *Ozon Depleting Potential* (ODP) nol, dan GWP yang dapat diabaikan, sifat-sifat termodinamika dan karakteristik perpindahan kalor yang baik, kerapatan fasa uap yang rendah, dan kelarutan yang baik dengan pelumas mineral [3, 4]. Hal inilah yang mendorong dilakukan penelitian ini guna menganalisis kinerja teoritis dan konsumsi energi pengkondisian udara yang menggunakan R290 sebagai pengganti R22 dengan bantuan perangkat lunak CoolPack.

Kinerja termodinamika refrigerasi dan pengkondisian udara sangat dipengaruhi oleh refrigeran yang digunakan sebagai fluida kerja karena terdapat beda temperatur yang terbatas antara sistem dan lingkungannya, di mana ini merupakan sumber utama ireversibilitas sistem refrigerasi. Penurunan temperatur evaporasi pada hakikatnya akan mengakibatkan penurunan kinerja, dan efisiensi sistem, begitupun sebaliknya [5, 6]. Ini mendorong beberapa peneliti melakukan studi teoritis dan eksperimen penggunaan

refrigeran hidrokarbon terhadap kinerja sistem refrigerasi dan pengkondisian udara, diantaranya studi kinerja teoritis penggunaan R290, R600a, dan R1270 sebagai alternatif pengganti R22 di sistem refrigerasi yang menggunakan penukar kalor *subcooling*. Hasil studi ini menunjukkan bahwa secara umum sifat termodinamika R290 dan R1270 cocok dengan R22, dan kedua refrigeran ini menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada R22 dalam sistem refrigerasi dengan penukar kalor *subcooling*. R600a memiliki kinerja yang sedikit lebih baik dalam hal daya per ton refrigerasi yang lebih rendah, dan COP yang lebih tinggi, tetapi tekanan saturasi dan volume spesifiknya menyimpang secara signifikan dari R22, sehingga membutuhkan desain ulang sistem sebelum digunakan sebagai pengganti R22 [7].

Efek pengurangan kuantitas pengisian R290 di AC split 5,25 kW sebagai pengganti R22 telah dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan diameter tabung kondensor, panjang pipa kapiler, dan kecepatan udara permukaan kondensor. Pengurangan 50% diameter tabung kondensor mengakibatkan panjang pipa kapiler bertambah panjang 21% dan peningkatan kecepatan udara permukaan kondensor. Ditemukan juga bahwa pada pengisian 300 gram R290, parameter kinerja seperti kapasitas pendinginan, koefisien kinerja, dan konsumsi daya lebih baik daripada penggunaan R22 untuk semua kondisi pengujian [8].

Analisis teoritis kinerja termodinamika penggunaan R290 sebagai pengganti R22 telah dilakukan di sistem refrigerasi kompresi uap standar dengan rentang temperatur evaporasi $-25 - 10^{\circ}\text{C}$ dan temperatur kondensasi 45°C . Sifat-sifat refrigeran berdasarkan REFPROP 9.0 dan hasil analisis menunjukkan temperatur buang kompresor, kapasitas pendinginan volumetrik, dan laju aliran massa refrigeran di sistem yang menggunakan R290 lebih rendah bila dibandingkan dengan penggunaan R22. Koefisien kinerja sistem R290 sedikit lebih rendah dibandingkan dengan R22. Namun, koefisien kinerja dapat ditingkatkan untuk

sistem yang dirancang khusus dengan mempertimbangkan sifat-sifat R290. Secara keseluruhan, R290 dapat menjadi pengganti yang lebih baik untuk R22 dalam aplikasi nyata karena sifat-sifat termodinamik dan lingkungan yang lebih baik [9].

Studi eksperimental terhadap kinerja refrigeran *walk-in* yang menggunakan R290 sebagai pengganti R22 juga telah dilakukan dengan memvariasikan temperatur udara evaporator $-12 - 4^{\circ}\text{C}$ dan temperatur udara masuk kondensor $20 - 30^{\circ}\text{C}$. Hasil studi ini menunjukkan penggunaan R290 dapat menurunkan temperatur buang kompresor $46,6 - 81^{\circ}\text{C}$, laju aliran massa refrigeran berkurang $28,8 - 50,4\%$, kapasitas volumetrik refrigeran berkurang $15,2 - 32,5\%$, konsumsi daya kompresor berkurang $34,3 - 44,3\%$, dan koefisien kinerja meningkat $35 - 115,5\%$ [10].

Perbandingan R290 dan R22 di AC *window* berkapasitas 1 ton juga telah dipelajari secara eksperimen. Sistem ini dioptimalkan dengan penambahan kondensor berpendingin evaporatif untuk meningkatkan kinerja termodinamika. Hasilnya menunjukkan R290 dapat meningkatkan COP pada berbagai temperatur pengujian, menurunkan konsumsi daya $\pm 50\%$, dan kuantitas pengisian R290 lebih rendah $\pm 70\%$ dibandingkan R22. Penerapan kondensor berpendingin udara evaporatif dengan menggunakan R290 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja AC *window* [11].

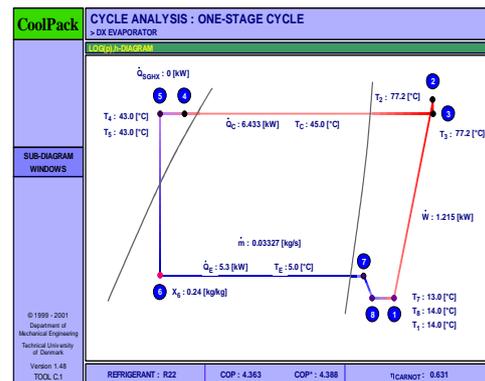
Studi kinerja *batch air blast freezer* menggunakan refrigeran R290 dan R600a sebagai pengganti R404A juga telah dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa pada temperatur evaporator minimum, kinerja sistem yang menggunakan R290 dan R600a lebih tinggi dibandingkan dengan R404A. Namun, R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat R404A sehingga lebih sesuai menggantikan R404A dibandingkan dengan R600a [12].

Studi kinerja teoritis dan konsumsi energi *air blast freezer* menggunakan refrigeran hidrofluorokarbon dan hidrokarbin juga telah dilakukan di mana hasilnya menunjukkan

bahwa pada temperatur evaporator minimum, kinerja sistem yang menggunakan R290 dan R600a rata-rata lebih tinggi $\pm 14\%$ dibandingkan dengan R404A dan R507A. R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat pada R404A dan R507A sehingga lebih sesuai menggantikan kedua refrigeran tersebut dibandingkan dengan R600a. Namun, ini adalah analisis teoritis sistem yang dapat mengarah pada kinerja yang lebih tinggi daripada kondisi normal. [13].

METODE PENELITIAN

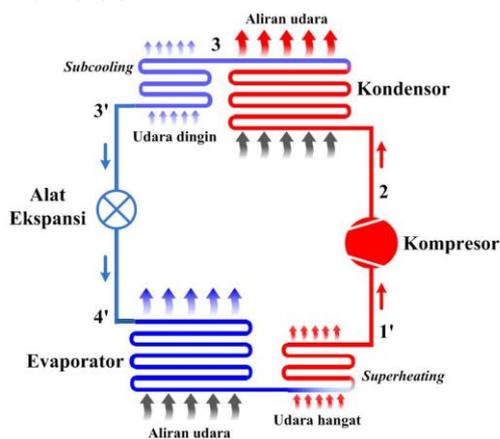
Studi teoritis ini menggunakan perangkat lunak CoolPack versi 1.50. Perangkat lunak tersebut dapat mensimulasikan dengan baik analisis siklus, perhitungan dimensi sistem, perhitungan kondisi operasi, evaluasi efisiensi sistem dan efisiensi komponen serta simulasi transien sistem. CoolPack versi 1.50 berisi kumpulan program simulasi yang mudah digunakan dan kuat secara numerik [14]. Deskripsi model pengkondisian udara kompresi uap di dalam perangkat lunak CoolPack disajikan pada Gambar 1.



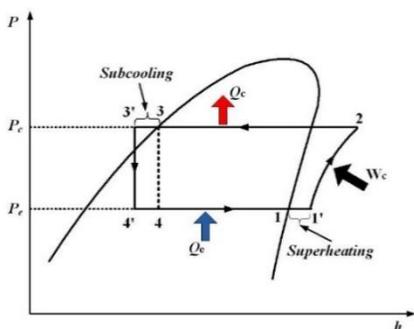
Gambar 1. Deskripsi model pengkondisian udara dalam CoolPack.

Dalam pengkondisian udara kompresi uap sederhana, uap refrigeran diasumsikan memasuki kompresor sebagai uap jenuh, dan cairan refrigeran diasumsikan sebelum memasuki alat ekspansi sebagai cairan jenuh. Jika dimensi evaporator sedikit diperbesar,

uap jenuh biasanya akan terus menyerap kalor dan karenanya menjadi *superheated* sebelum mencapai kompresor. Dalam praktiknya, ini dikendalikan oleh katup ekspansi. Dengan cara yang sama, jika dimensi kondensor sedikit diperbesar, cairan jenuh akan terus melepaskan kalor dan menjadi *subcooled* sebelum memasuki katup ekspansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam kebanyakan kasus, prosedur *superheating* dan *subcooling* diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem.



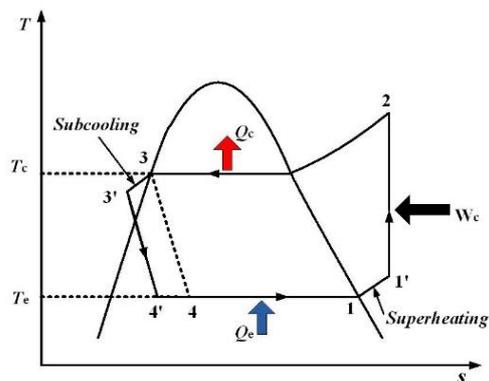
Gambar 2. Skematik pengkondisian udara kompresi uap dengan *subcooling* dan *superheating*.



Gambar 3. Diagram P-h dengan *subcooling* dan *superheating*.

Gambar 3 dan 4 menyajikan perbandingan diagram P-h dan T-s untuk siklus kompresi uap dengan *subcooling* dan *superheating* (1'-2-3'-4'-1') dan siklus kompresi uap jenuh (1-2-3-4-1). Karena kapasitas pendinginan per

unit massa lebih besar untuk siklus *subcooled* dan *superheated* daripada untuk siklus jenuh, laju aliran massa refrigeran per unit kapasitas lebih kecil untuk siklus tersebut daripada untuk siklus jenuh. Disamping itu, peningkatan kapasitas pendinginan secara proporsional lebih besar daripada peningkatan kalor kompresi, sehingga COP untuk siklus *subcooled* dan *superheated* lebih tinggi daripada siklus jenuh.



Gambar 4. Diagram T-s dengan *subcooling* dan *superheating*.

Dari Gambar 2, 3, dan 4 dapat ditentukan laju aliran massa refrigeran dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{h_{1'} - h_4} \quad (1)$$

dengan Q_e adalah kapasitas pendinginan.

Kalor yang dilepaskan selama proses kondensasi ditentukan dengan persamaan:

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_{3'}) \quad (2)$$

maka kerja kompresi dapat ditentukan dari:

$$W_c = Q_c - Q_e \quad (3)$$

Kapasitas *subcooling* dan *superheating* dapat ditentukan dari persamaan:

$$Q_{SC} = \dot{m}(h_3 - h_{3'}) \quad (4)$$

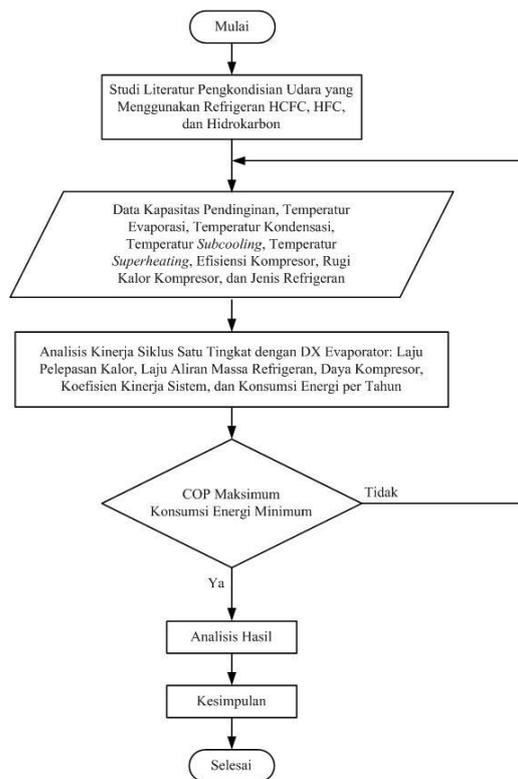
$$Q_{SH} = \dot{m}(h_1 - h_1') \quad (5)$$

Koefisien kinerja sistem merupakan rasio kapasitas pendinginan terhadap kerja kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

Konsumsi energi system selama satu tahun pengoperasian dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Konsumsi energi/tahun} = W_C \times 8760 \quad (7)$$



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

Tahapan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian seperti pada Gambar 5. Dalam gambar ini, pengambilan keputusan didasarkan pada koefisien kinerja maksimum dan konsumsi energi per tahun minimum.

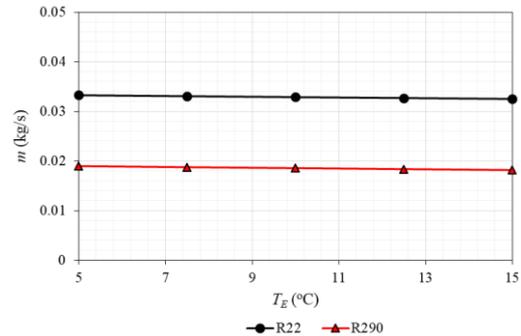
Beberapa parameter dan asumsi dalam studi ini disajikan pada Tabel 2. Parameter-parameter dan asumsi yang dipilih berdasarkan rentang kerja dari pengkondisian udara kompresi uap $\pm 1,5$ TR.

Tabel 2. Parameter penelitian dan asumsi

Parameter	Satuan	Nilai
Kapasitas pendinginan	kW	5,3
Temperatur evaporasi	$^{\circ}\text{C}$	5 – 15
Temperatur kondensasi	$^{\circ}\text{C}$	45
Temperatur <i>subcooling</i>	$^{\circ}\text{C}$	2
Temperatur <i>superheating</i>	$^{\circ}\text{C}$	8
Efisiensi isentropic kompresor	-	0,8
Rugi kalor kompresor	%	10

HASIL DAN PEMBAHASAN

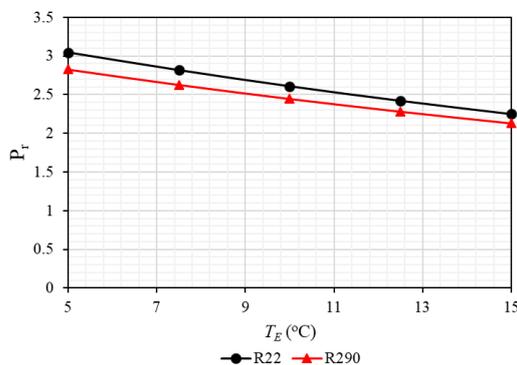
Gambar 6 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi dengan laju aliran massa refrigeran untuk pengkondisian yang menggunakan refrigeran R22 dan R290. Dalam gambar ini terlihat bahwa laju aliran massa refrigeran di sistem yang menggunakan refrigeran R290 lebih kecil $\pm 44\%$ dibandingkan dengan R22 untuk kapasitas pendinginan dan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Hal ini disebabkan oleh densitas R290 pada setiap tingkat keadaan lebih kecil $\pm 50\%$ dibandingkan dengan R22.



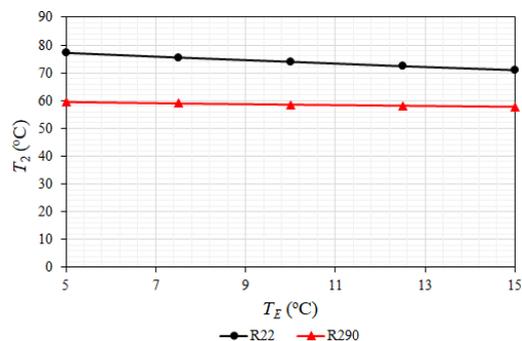
Gambar 6. Temperatur evaporasi vs laju aliran massa refrigerant.

Bila kapasitas pendinginan dan temperatur kondensasi dipertahankan konstan selama proses berlangsung maka penurunan temperatur evaporasi akan mengakibatkan rasio tekanan di kompresor akan meningkat, begitupun sebaliknya. Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 7, dan ini terjadi baik itu untuk R22 maupun R290. Namun, rasio tekanan di kompresor yang

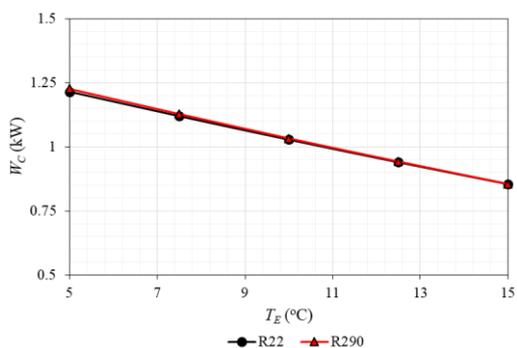
menggunakan R290 lebih rendah $\pm 6,2\%$ bila dibandingkan dengan penggunaan R22.



Gambar 7. Temperatur evaporasi vs rasio tekanan kompresor.



Gambar 8. Temperatur evaporasi vs temperatur gas refrigeran keluar kompresor.



Gambar 9. Temperatur evaporasi vs daya kompresor.

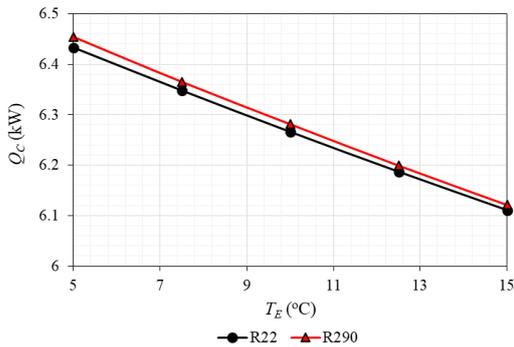
Temperatur gas refrigeran saat keluar kompresor adalah salah satu parameter penting dalam memilih refrigeran alternatif.

Temperatur keluar kompresor yang lebih rendah akan meningkatkan umur pakai kompresor karena stabilitas refrigeran dan pelumas yang lebih baik. Gambar 8 menunjukkan bahwa temperatur gas refrigeran keluar kompresor untuk sistem dengan R290 jauh lebih rendah daripada R22.

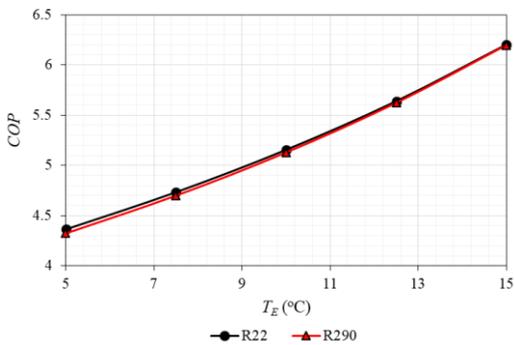
Peningkatan rasio tekanan di kompresor akan berdampak pada kenaikan daya kompresor untuk setiap penurunan temperatur evaporasi, begitupun sebaliknya, dan ini ditunjukkan pada Gambar 9. Daya kompresor untuk pengkondisian udara yang menggunakan R290 nilainya sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan yang menggunakan R22 yaitu $\pm 0,496\%$. Hal ini disebabkan oleh nilai entalpi R290 lebih besar $\pm 48\%$ dibandingkan dengan R22 selama proses kompresi.

Gambar 10 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap laju pelepasan kalor di kondensor, dan terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka laju pelepasan kalor di kondensor akan menurun, dan ini berlaku untuk baik itu sistem yang menggunakan R22 maupun R290. Laju pelepasan kalor untuk sistem yang menggunakan R290 sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan yang menggunakan R22 yaitu $\pm 0,234\%$. Hal ini disebabkan nilai entalpi R290 lebih besar $\pm 48\%$ dibandingkan dengan R22 selama proses kondensasi.

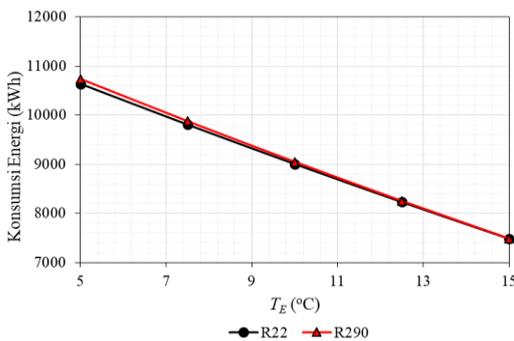
Gambar 11 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi dengan koefisien kinerja (COP). Dalam gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka koefisien kinerja sistem juga akan meningkat. Meningkatnya koefisien kinerja ini disebabkan oleh pada saat kapasitas pendinginan konstan, daya kompresor mengalami penurunan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dalam Gambar 11 juga terlihat bahwa garis koefisien kinerja sistem yang menggunakan R22 dan R290 pada dasarnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga dapat dikatakan memiliki kinerja yang sama.



Gambar 10. Temperatur evaporasi vs pelepasan kalor di kondensor.



Gambar 11. Temperatur evaporasi vs koefisien Kinerja.



Gambar 12. Temperatur evaporasi vs konsumsi energi

Gambar 12 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi dengan konsumsi energi sistem selama satu tahun pengoperasian (8760 jam). Dalam gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka konsumsi energi per tahun akan mengalami

penurunan, dan rata-rata selisih penurunan konsumsi energi untuk sistem yang menggunakan R22 dan R290 adalah $\pm 0,50\%$. Selisih ini menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan dalam hal konsumsi energi per tahun antara penggunaan R22 dan R290.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kinerja teoritis maka diperoleh kesimpulan bahwa kinerja sistem pengkondisian udara yang menggunakan refrigeran R22 dan R290 pada dasarnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan atau dapat dikatakan memiliki kinerja yang sama. Temperatur gas refrigeran keluar kompresor untuk sistem yang menggunakan R290 memiliki nilai jauh lebih rendah daripada penggunaan R22 sehingga umur pakai kompresor akan lebih lama. Konsumsi energi per tahun sistem yang menggunakan refrigeran R22 dan R290 tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, R290 lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan R22 maka penggunaan R290 lebih dianjurkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 41/M-IND/PER/5/2014 Tentang Larangan Penggunaan Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) di Bidang Perindustrian.
- [2]. Bhatkar, V. W., Kriplani, V. M., and Awari, G. K., 2013, Alternative refrigerants in vapour compression refrigeration cycle for sustainable environment: a review of recent research, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 10, pp. 871–880.
- [3]. De Graaf, D., 2019, R290 Split Air Conditioners Resource Guide Version 1.0, GIZ GmbH, Germany.
- [4]. Secop, 2018, Practical Application of Refrigerants R600a and R290 in Small

- Hermetic Systems, Secop GmbH, Germany.
- [5]. Dwinanto M. M., Koehuan V. A., and Monteiro J. M., 2015, Analysis of Dual Evaporator Refrigeration System via Exergetic Performance Coefficient Criterion, Prosiding SEMNASTEK, hal. 1 – 17.
- [6]. Dwinanto M. M., Suhanan, and Prajitno, 2017, Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems, AIP Conference Proceedings, 1788: 030011:1–8.
- [7]. Bukola O. B., and Zhongjie H., 2012, Comparative Analysis of the Performance of Hydrocarbon Refrigerants with R22 in a Sub-Cooling Heat Exchanger Refrigeration System, Journal of Power and Energy, Vol. 226, No. 7, pp. 882 – 891.
- [8]. Ayyamperumal LS, Dhasan ML, Chandrasekaran S., 2019, Experimental Investigation on the Performance of Condenser for Charge Reduction of HC-290 in a Split Air-Conditioning System. Heat Transfer Engineering, pp. 1–13.
- [9]. Choudharia, CS. Sapali, N., 2017, Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 as a Substitute to R22 in Refrigeration Systems. Energy Procedia, Vol. 107, pp. 346–352.
- [10]. El-Sayed, A. R., El Morsi, M., and Mahmoud, N. A., 2018, Experimental Investigation of a Walk-in Refrigerator Performance using R290 as a Retrofit for R22. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 26, No. 4, pp. 1850029-1-1850029-14.
- [11]. Vishakha S. J., and Ashok J. K., 2018, Experimental performance study of R290 as an alternative to R22 refrigerant in a window air conditioner. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 377, pp. (012046) 1-8.
- [12]. Jafri, M., Servianus, Y. H., dan Dwinanto, M. M., 2020, Studi Kinerja Teoritis Batch Air Blast Freezer yang Menggunakan Refrigeran R290 dan R600a sebagai pengganti R404A, Jurnal ROTASI, Vol. 22, No. 4, hal. 253 – 259.
- [13]. Selan, R. N. dan Dwinanto, M. M., 2021, Studi Kinerja dan Konsumsi Energi Air Blast Freezer Menggunakan Refrigeran Hidrofluorokarbon dan Hidrokarbon, Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin, Vol. 6, No. 1, hal. 26-34.
- [14]. Venkataiah S., and Rao G. V., 2014, Analysis of Alternative Refrigerants to R22 for Air-Conditioning Applications at Various Evaporating Temperatures, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, No. 3, pp. 39–46.