

STUDI KINERJA DAN KONSUMSI ENERGI *AIR BLAST FREEZER* MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROFLUOROKARBON DAN HIDROKARBON

Rima Nindia Selan¹, Matheus Magnus Dwinanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Email: rima_selan@staf.undana.ac.id

ABSTRACT

The use of hydrocarbon refrigerants that are more environmentally friendly than hydrofluorocarbons has become a demand. It will be a central issue in the future, both in household refrigerators and in industrial refrigerators such as air blast freezers. That is because hydrocarbon refrigerants have zero ozone depletion potential (ODP) and minimal global warming potential (GWP). This paper presents a theoretical performance study of R290 and R600a as substitutes for R404A and R507A refrigerants. CoolPack software is used to simulate the system's performance and energy consumption at several variations of the evaporation temperature, with the condensation temperature being kept constant. The results show that at the minimum evaporator temperature, the system performance using R290 and R600a is $\pm 14\%$ higher on average compared to R404A and R507A. R290 has closer characteristics to R404A and R507A, so it is more suitable to replace the two refrigerants compared to R600a. However, this is a theoretical analysis of the system that can lead to higher performance than normal conditions.

Keywords: *air blast freezer, performance, refrigeration, hydrofluorocarbon, hydrocarbon*

ABSTRAK

Penggunaan refrigeran hidrokarbon yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan hidrofluorokarbon telah menjadi tuntutan dan isu sentral pada masa yang akan datang baik itu di refrigerator rumah tangga maupun di refrigerator industri seperti *air blast freezer*. Hal ini disebabkan refrigeran hidrokarbon tidak memiliki potensi penipisan ozon ODP dan potensi pemanasan global GWP minimal. Makalah ini menyajikan studi kinerja teoritis penggunaan R290 dan R600a sebagai pengganti R404A dan R507A. Perangkat lunak CoolPack digunakan untuk mensimulasikan kinerja dan konsumsi energi sistem pada beberapa variasi temperatur evaporasi dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. 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. Namun, ini adalah analisis teoritis sistem yang dapat mengarah pada kinerja yang lebih tinggi daripada kondisi normal.

Kata kunci: *air blast freezer, kinerja, refrigerasi, hidrofluorokarbon, hidrokarbon*

PENDAHULUAN

Integrated cold storage (ICS) DKP Kupang merupakan tempat aktifitas pengolahan ikan yang dilengkapi dengan refrigerator untuk menghasilkan produk pengolahan ikan beku dan segar sehingga harus dilengkapi dengan fasilitas pembekuan, dan penyimpanan beku (*cold storage*) bertemperatur ruang -25°C . Ikan yang akan disimpan dalam *cold storage*, terlebih

dahulu harus dibekukan dalam ruang pembekuan cepat agar temperatur pusat ikan mencapai -18°C dalam waktu cepat. Metode pembekuan cepat yang umumnya digunakan adalah *Air Blast Freezer* (ABF). Di dalam ABF produk ikan dibekukan dengan pendinginan cepat selama rentan waktu 8 jam/*shift* (Anonim, 2017: 11-12, 27).

ABF di ICS Kupang menggunakan refrigeran R404A atau R507A yang merupakan

golongan hidrofluorokarbon. Refrigeran ini tidak mengandung *chlorine* sehingga tidak merusak lapisan ozon tetapi masih memiliki potensi pemanasan global yang tinggi. Oleh karena itu, pada masa yang akan datang perlu digunakan refrigeran yang memiliki GWP jauh lebih rendah, yaitu dari golongan hidrokarbon seperti R290 dan R600a. Saat ini, kedua jenis refrigeran tersebut mulai digunakan di sistem refrigerasi rumah tangga, *freezer* dan pengkondisian udara.



Gambar 1. Air Blast Freezer Tipe Batch

Tabel 1. Efek Refrigeran terhadap Lingkungan

Refrigeran	ODP	GWP	Tingkat Keamanan (ASHRAE)
R404A	0	3922	A1
R507A	0	3985	A1
R290	0	3	A3
R600a	0	3	A3

Sumber: Koh, dkk., 2017

Hal ini yang mendorong dilakukan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh penggunaan R600a dan R290 sebagai pengganti R404A dan R507A terhadap kinerja dan konsumsi energi *air blast freezer* menggunakan perangkat lunak CoolPack. Tabel 1 menyajikan sifat-sifat dan efek terhadap lingkungan dari R404A, R290, dan R600a (El-Sayed, dkk., 2018; Koh, dkk., 2017).

Kinerja termodinamika ABF 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 (Dwinanto, dkk., 2015 & 2017). Hal ini mendorong beberapa peneliti melakukan studi teoritis dan eksperimen penggunaan refrigeran hidrokarbon terhadap kinerja sistem refrigerasi, diantaranya membandingkan kinerja energi dan *exergy* siklus refrigerasi kompresi uap yang menggunakan R404A, R290, dan R744. Hasil studi ini menunjukkan bahwa pada berbagai variasi temperatur evaporasi dan kondensasi, R290 memiliki kinerja yang lebih baik daripada R404A, dan R744 (Shiliday, dkk., 2009).

Penggunaan R290, R600a, dan R1270 sebagai alternatif pengganti R22 di sistem refrigerasi yang menggunakan penukar kalor *subcooling* terhadap kinerja teoritis juga telah dilakukan. Hasil studi ini menunjukkan bahwa sifat termodinamika R290 dan R1270 cocok dengan R22, dan menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada R22. R600a memiliki kinerja 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 (Razzaq, dkk., 2018).

Studi eksperimental penggunaan R600a dan R436A (campuran 45% R600a dan 56%R290) sebagai pengganti R134a di refrigerator rumah tangga juga telah dilakukan untuk membandingkan efisiensi energi dari penggunaan ketiga refrigeran tersebut. Hasilnya menunjukkan R600a memiliki efisiensi terbesar dibandingkan dengan dua refrigeran lainnya pada berbagai kondisi operasi (Parashurama, dkk., 2019).

Perangkat lunak CoolPack telah digunakan untuk menganalisis penggunaan tujuh refrigeran diantaranya R404A, R290, dan R600a sebagai alternatif pengganti R22. Hasil simulasi menunjukkan bahwa R290 dan R600a menghasilkan laju aliran massa terkecil

sedangkan R404A adalah yang terbesar sehingga konsumsi dayanya paling besar dari semua refrigeran. Secara umum R600a memiliki kinerja tertinggi dibandingkan semua refrigeran yang ditinjau (Venkataiah dan Rao, 2014).

Efektivitas penukar kalor *liquid suction* dalam sistem refrigerasi yang menggunakan R22, R404A, dan campuran R290/R600a (50:50) juga telah diteliti secara eksperimen untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kinerja *cold storage*. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam keadaan stedi sistem yang menggunakan campuran R290/R600a memiliki kinerja yang lebih baik dari kedua refrigeran lainnya, dan memiliki karakteristik yang sama dengan R404A sehingga dapat digunakan sebagai pengganti R22 dan R404A (Prayudi, dkk., 2017).

Studi kinerja *batch air blast freezer* menggunakan refrigeran R290 dan R600a sebagai pengganti R404A juga telah dilakukan oleh Servianus, dkk. (2020). 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.

METODE

Perangkat lunak CoolPack versi 1.50 digunakan untuk mensimulasikan kinerja dan konsumsi energi *air blast freezer* yang menggunakan R600a, R290, R404A, dan R507A. Untuk sistem yang tidak menggunakan *suction gas heat exchanger*, masukan data yang dibutuhkan dalam perangkat lunak ini adalah temperatur evaporasi, temperatur kondensasi, derajat *subcooling*, derajat *superheating*, kapasitas pendinginan, kinerja kompresor, rugi kalor kompresor, rugi tekanan *suction line*, rugi tekanan *discharge line*, dan jenis refrigeran yang digunakan.

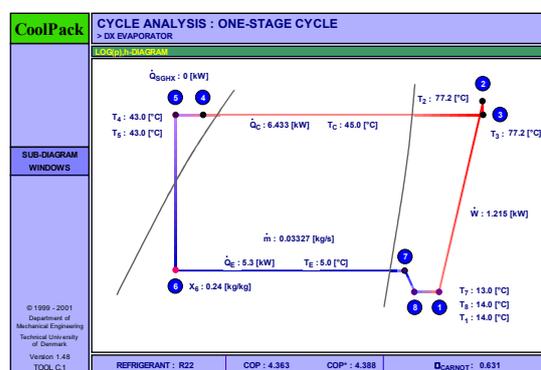
Hasil simulasi perangkat lunak ini adalah laju aliran refrigeran, rasio tekanan kompresor,

temperatur refrigeran keluar kompresor, laju pelepasan kalor di kondensor, koefisien kinerja, konsumsi energi per tahun, volume hisap kompresor, dan volume buang kompresor. Perhitungan efisiensi pendinginan menggunakan rumus (Karakurt, dkk., 2016):

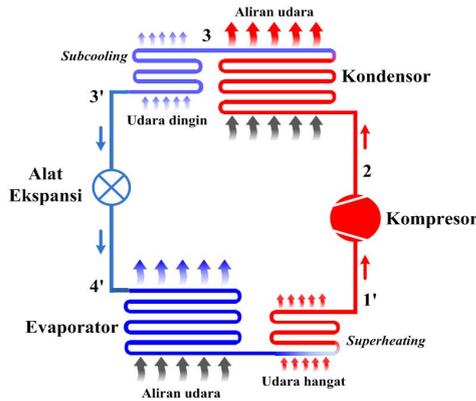
$$\eta_R = \frac{COP}{(COP)_{rev}} = \frac{COP(T_3' - T_1')}{T_1'}$$

dengan COP adalah koefisien kinerja, T_1' adalah temperatur *superheating*, dan T_3' adalah temperatur *subcooling*.

Dalam refrigerator kompresi uap sederhana, uap refrigeran diasumsikan memasuki kompresor sebagai uap jenuh, dan cairan refrigeran sebelum memasuki katup ekspansi diasumsikan sebagai cairan jenuh. Jika dimensi evaporator sedikit diperbesar maka uap jenuh biasanya akan terus menyerap kalor, dan karenanya menjadi uap *superheated* sebelum mencapai kompresor. Dalam praktiknya, ini dikendalikan oleh katup ekspansi. Jika dimensi kondensor sedikit diperbesar maka cairan jenuh akan terus melepaskan kalor, dan menjadi cairan *subcooled* sebelum memasuki katup ekspansi (Gambar 2). *Superheating* dan *subcooling* diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem (Keshtkar, 2016; Karakurt, dkk., 2016).

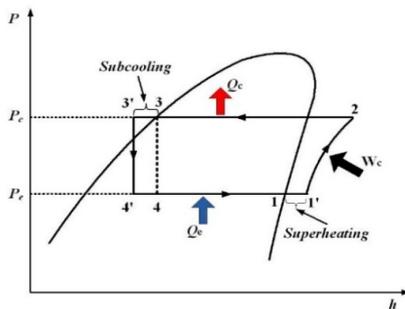


Gambar 2. Deskripsi Model Refrigerator dalam Coolpack

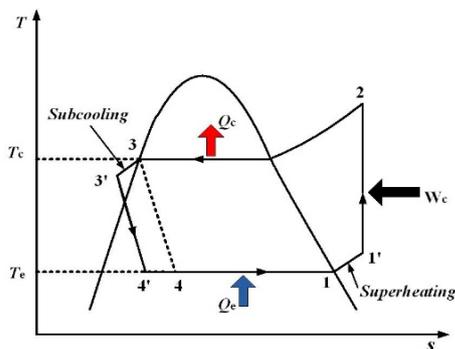


Gambar 3. Skematik Refrigerasi Kompresi Uap dengan *Subcooling* dan *Superheating*

Gambar 4 dan 5 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). Kapasitas pendinginan per unit massa lebih besar untuk siklus *subcooled* dan *superheated* sehingga laju aliran massa refrigeran per unit kapasitas lebih kecil untuk siklus tersebut daripada siklus jenuh. Disamping itu, peningkatan kapasitas pendinginan secara proporsional lebih besar daripada peningkatan kalor kompresi, sehingga COP siklus *subcooled* dan *superheated* lebih tinggi daripada siklus jenuh.



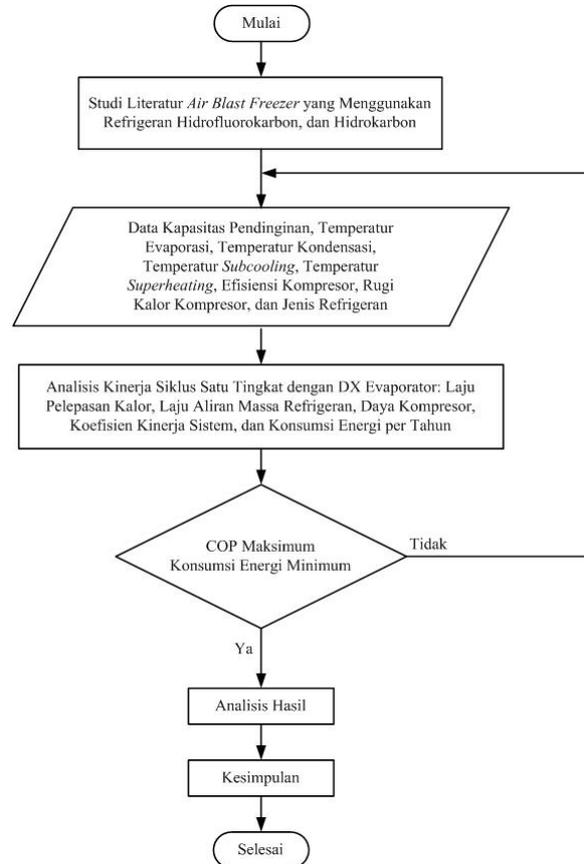
Gambar 4. Diagram P - h



Gambar 5. Diagram T - s

Tahapan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian seperti pada Gambar 6. 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 ABF kompresi uap dengan kapasitas pendinginan ±26,79 kW. Kisaran temperatur diambil dari sejumlah besar studi simulasi dari sistem tersebut dan dipilih berdasarkan rentang kerja dari BABF di UPI DKP Kupang. Namun, ini adalah analisis teoritis sistem yang dapat mengarah pada nilai COP yang lebih tinggi dari normal.



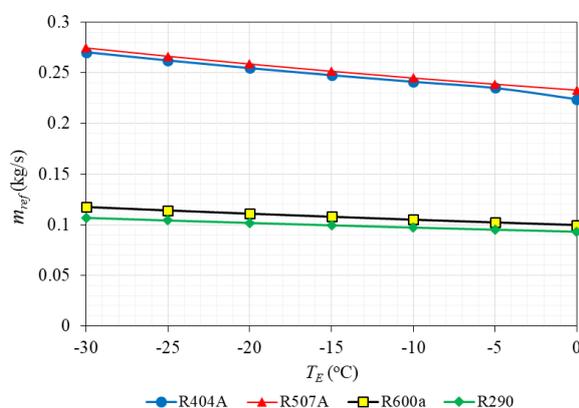
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Tabel 2. Parameter Penelitian dan Asumsi

Parameter	Satuan	Nilai
Kapasitas pendinginan	kW	26,79
Temperatur evaporasi	°C	-30 – 0
Temperatur kondensasi	°C	40
Temperatur <i>subcooling</i>	°C	2
Temperatur <i>superheating</i>	-	8
Efisiensi isentropik	-	0,8
Efisiensi volumetrik	%	10
Rugi kalor kompresor		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 menyajikan hubungan antara variasi temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa refrigeran untuk kapasitas pendinginan, dan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Terlihat bahwa laju aliran massa refrigeran yang menggunakan R290 dan R600a masing-masingnya lebih rendah ±59,45% dan ±56% dibandingkan dengan penggunaan R404A. Hal ini disebabkan oleh densitas R290 dan R600a pada setiap tingkat keadaan jauh lebih rendah. Namun, densitas yang rendah akan mengakibatkan laju aliran volume refrigeran yang lebih tinggi sehingga berdampak pada peningkatan ukuran penukar kalor (kondensor dan evaporator) untuk membatasi penurunan tekanan.

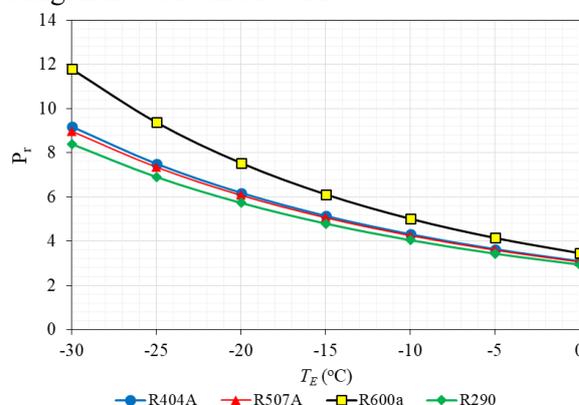


Gambar 7. Temperatur Evaporasi vs Laju Aliran Massa Refrigeran

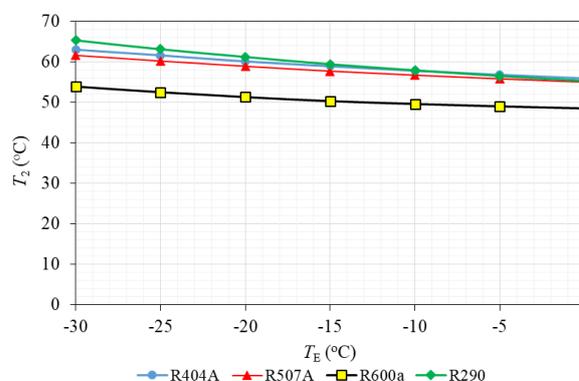
Selama proses pendinginan berlangsung, penurunan temperatur evaporasi akan mengakibatkan rasio tekanan di kompresor meningkat, begitupun sebaliknya. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8, dan ini terjadi untuk

semua refrigeran yang ditinjau. Rasio tekanan R290 adalah yang paling rendah di mana pada temperatur evaporasi minimum, rasio tekanannya lebih rendah masing-masingnya ±8,6% dan ±6,41% bila dibandingkan dengan penggunaan R404A, dan R507A serta lebih rendah ±28,8% dibandingkan R600a.

Temperatur gas refrigeran 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 pelumasan yang lebih baik. Pada Gambar 9 temperatur gas refrigeran keluar kompresor untuk sistem dengan R600a jauh lebih rendah dibandingkan dengan R290, R404A, dan R507A. R290 memiliki temperatur keluar kompresor yang tidak jauh berbeda dengan R404A dan R507A.



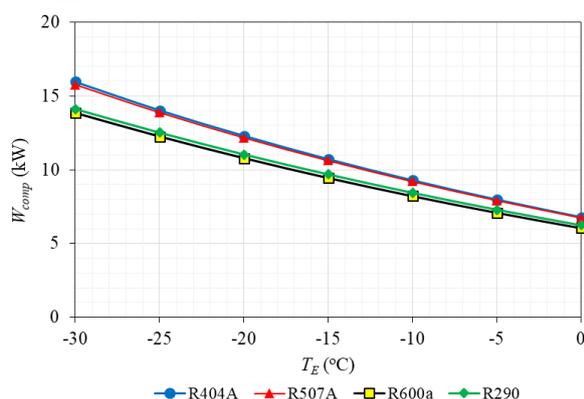
Gambar 8. Temperatur Evaporasi vs Rasio Tekanan Kompresor



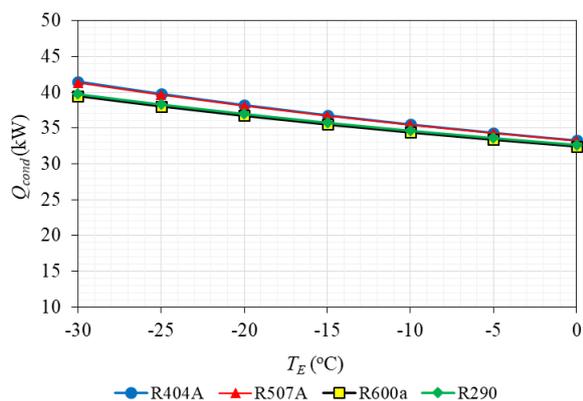
Gambar 9. Temperatur Evaporasi vs Temperatur Gas Refrigeran Keluar Kompresor

Peningkatan rasio tekanan di kompresor akan berdampak pada kenaikan daya kompresor untuk setiap penurunan temperatur evaporasi,

begitupun sebaliknya, dan ini ditunjukkan pada Gambar 10. Pada temperatur evaporasi minimum, daya kompresor sistem yang menggunakan R404A dan R507A relatif sama besar. Namun, penggunaan R290 nilainya rata-rata lebih kecil $\pm 10,97\%$ bila dibandingkan dengan yang menggunakan R404A dan R507A, dan penggunaan R600a lebih kecil $\pm 12,61\%$. Daya kompresor merupakan masukan energi terbesar yang dibutuhkan untuk mensirkulasikan sejumlah tertentu massa refrigeran sehingga proses penyerapan kalor di evaporator dan pelepasan kalor di kondensator dapat berlangsung dalam sistem.



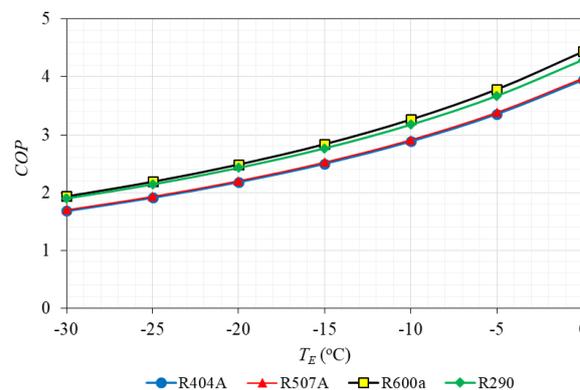
Gambar 10. Temperatur Evaporasi vs Daya Kompresor



Gambar 11. Temperatur Evaporasi vs Pelepasan Kalor di Kondensator

Gambar 11 menunjukkan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap laju pelepasan kalor di kondensator. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensator, dan menghitung besarnya aliran fluida pendingin kondensator. Terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka laju pelepasan kalor di kondensator akan menurun,

begitupun sebaliknya. Pada temperatur evaporasi minimum, pelepasan kalor untuk sistem yang menggunakan R600a dan R290 masing-masingnya rata-rata lebih kecil $\pm 4,6\%$ dibandingkan dengan sistem yang menggunakan R404A dan R507A.

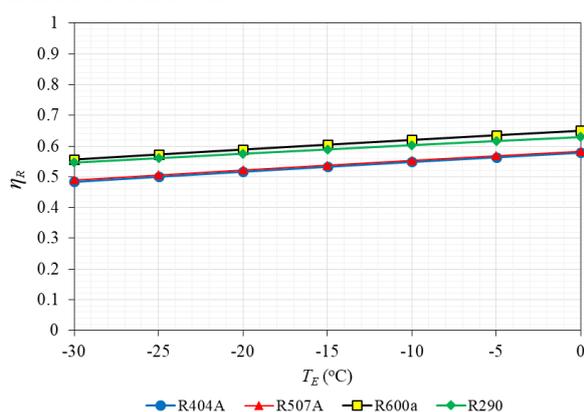


Gambar 12. Temperatur Evaporasi vs Koefisien Kinerja

Gambar 12 menunjukkan hubungan antara temperatur evaporasi dengan koefisien kinerja (COP). Dalam gambar ini terlihat bahwa dengan menurunnya temperatur evaporasi maka koefisien kinerja sistem juga akan menurun, begitupun sebaliknya. Sistem yang menggunakan R404A, dan R507A pada temperatur evaporasi minimum memiliki COP yang sama besar, dan nilainya lebih kecil dari R290 dan R600a masing-masingnya $\pm 12,31\%$ dan $\pm 14,39\%$. Temperatur evaporasi memiliki pengaruh yang kuat terhadap kinerja sistem refrigerasi. Hasil ini menunjukkan kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Karakurt, dkk. (2016) dan Servianus, dkk. (2020), di mana dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka COP akan meningkat, begitupun sebaliknya. Penggunaan refrigeran hidrokarbon akan menghasilkan COP yang lebih tinggi dibandingkan dengan refrigeran hidrofluorokarbon.

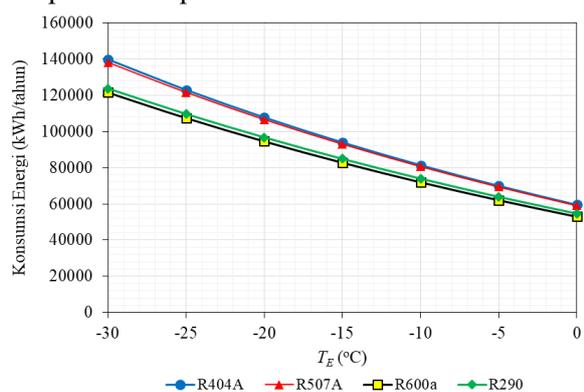
Sama halnya dengan koefisien kinerja, efisiensi pendinginan juga akan menurun dengan menurunnya temperatur evaporasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Pada temperatur minimum, efisiensi refrigerasi sistem yang menggunakan R404A dan R507A memiliki nilai yang sama besar, dan nilainya lebih kecil dari

R290 dan R600a masing-masingnya $\pm 12,31\%$ dan $\pm 14,39\%$. Temperatur evaporasi memiliki pengaruh yang kuat terhadap efisiensi pendinginan. Hasil ini menunjukkan kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Karakurt, dkk. (2016), di mana dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka efisiensi pendinginan akan meningkat, begitupun sebaliknya. Penggunaan refrigeran hidrokarbon akan menghasilkan efisiensi refrigerasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan refrigeran hidrofluorokarbon.



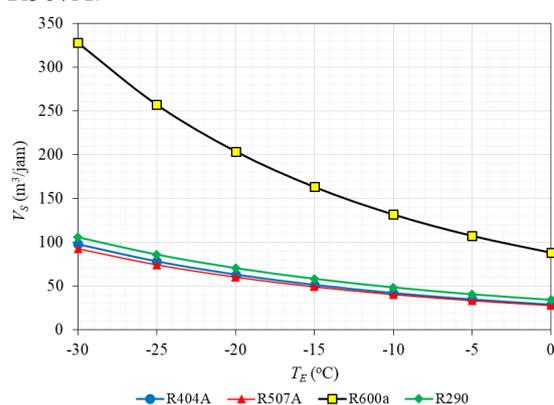
Gambar 13. Temperatur Evaporasi vs Efisiensi Pendinginan

Konsumsi energi sistem selama satu tahun pengoperasian yang menggunakan R404A dan R507A memiliki nilai yang lebih besar daripada yang menggunakan R290 dan R600a. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 14, di mana terlihat bahwa R600a memiliki nilai konsumsi energi yang paling rendah, dan lebih rendah $\pm 1,85\%$ dibandingkan dengan penggunaan R290 pada temperatur evaporasi minimum.



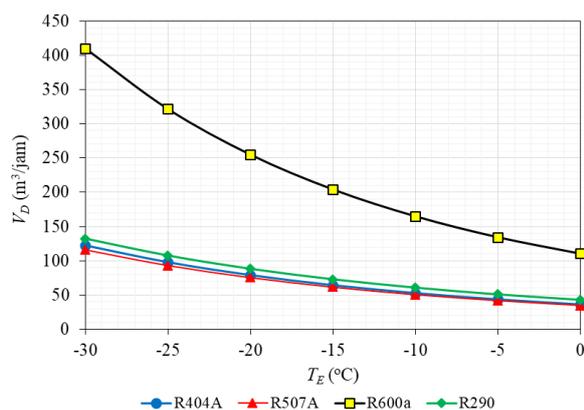
Gambar 14. Temperatur Evaporasi vs Konsumsi Energi

Sebagai tambahan informasi dalam analisis ini disajikan pengaruh temperatur evaporasi terhadap volume hisap dan volume buang refrigeran selama proses refrigerasi. Pada Gambar 15 terlihat bahwa dengan menurunnya temperatur evaporasi maka volume hisap kompresor akan meningkat. Pada temperatur evaporasi minimum, penggunaan R600a memiliki volume hisap yang sangat jauh lebih besar dibandingkan dengan ketiga refrigeran lainnya. Penggunaan R290 memiliki volume hisap lebih besar $\pm 8,12\%$ dibandingkan dengan R404A, dan lebih besar $\pm 14,16\%$ daripada R507A.



Gambar 15. Temperatur Evaporasi vs Volume Hisap Kompresor

Sama seperti volume hisap, untuk volume buang menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu penggunaan R600a memiliki volume buang yang jauh lebih besar dibandingkan dengan ketiga refrigeran lainnya. Penggunaan R290 memiliki volume buang lebih besar $\pm 8,16\%$ daripada R404A, dan lebih besar $\pm 14,22\%$ dibandingkan dengan penggunaan R507A. Karena volume hisap dan buang R290 memiliki nilai yang lebih dekat dengan R404A dan R507A, maka dimensi kompresor ketiga refrigeran tersebut memiliki ukuran yang tidak jauh berbeda.



Gambar 16. Temperatur Evaporasi vs Volume Buang Kompresor

SIMPULAN

Studi kinerja termodinamika ini menunjukkan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon (R290 dan R600a) akan menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan refrigeran hidrofluorokarbon (R404A dan R507A). Pada temperatur evaporator minimum sistem yang menggunakan R290 dan R600a memiliki COP, dan efisiensi refrigerasi rata-rata lebih tinggi $\pm 14\%$ serta konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan R404A dan R507A.

R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat pada R404A dan R507A sehingga lebih sesuai menggantikan kedua refrigeran tersebut dibandingkan dengan R600a. Di samping itu, refrigeran hidrokarbon lebih ramah lingkungan dibandingkan refrigeran hidrofluorokarbon sehingga penggunaannya pada masa yang akan datang lebih dianjurkan, walaupun memiliki sifat lebih mudah terbakar.

DAFTAR RUJUKAN

Anonim, 2017, Buku Manual *Cold Storage* Kapasitas 100T DKP Kupang, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Republik Indonesia, hal. 11 – 12, 27.

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.

Dwinanto M. M., Suhanan, and Prajitno, 2017, Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems, *AIP Conference Proceedings*, 1788: 030011:1–8.

El-Sayed A. R., El-Morsi M., and Mahmoud N A., 2018, A Review of the Potential Replacements of HCFC/HFCs Using Environmental Friendly Refrigerants, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 26 (3): 1-24.

Karakurt, A. S., Gunes, U., and Ust, Y., 2016, Exergetic and Economic Analysis of Subcooling and Superheating Effect on Vapor Compression Refrigeration System, *Proceedings of the ASME 2016 Power Conference*, pp. 1 – 6.

Keshkar, M. M., 2016, Effect of Subcooling and Superheating on Performance of a Cascade Refrigeration System with Considering Thermo-Economic Analysis and Multi-Objective Optimization, *Journal of Advanced Computer Science and Technology*, 5(2): 42 – 47.

Koh, J. H., Zakaria, Z., and Veerasamy, D., 2017, Hydrocarbons as Refrigerant – A Review, *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 34 (1): 35 – 50.

Prayudi, Nurhasanah R., and Diantari R. A., 2017, The Effect the Effectiveness of the Liquid Suction Heat Exchanger to Performance of Cold Storage with Refrigerant R22, R404A and R290/R600a, *AIP Conference Proceedings*, 1788: 030067:1–8.

Parashurama, S., Saleel, C. A., Govindgowda, M. S., and Khan, S. A., 2019, Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8: 496 – 501.

- Razzaq, M. A., Ahamed, J. U., Hossain, M. A. M., and Hossain, S., 2018, A Review on Hydrocarbon (HCs) as an Alternative Refrigerant: Based on Thermodynamic and Environmental Approach, *Mechanical Engineering Research Journal*, 11: 86 – 96.
- Servianus, Y. H., Dwinanto, M. M., dan Jafri, M., 2020, Studi Kinerja Teoritis Batch Air Blast Freezer yang Menggunakan Refrigeran R290 dan R600a sebagai pengganti R404A, *Jurnal ROTASI*, 22 (4): 253 – 259.
- 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*, 4 (3): 39–46.