

Kajian Kinerja Sistem Refrigerasi Menggunakan Refrigeran R32, R22 & R1270 Menggunakan REFPROP

Farash Arya Pratama¹, Windy Hermawan Mitrakusuma², Muhamad Anda Falahuddin³,
Wirenda Sekar Ayu⁴

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail: farash.arya.tptu18@polban.ac.id

²E-mail: windyhm@polban.ac.id,

³E-mail: m.andafalahuddin@polban.ac.id

⁴E-mail: wirendasekar@polban.ac.id

ABSTRAK

Salah satu komponen terpenting mesin refrigerasi adalah refrigeran. Refrigeran merupakan zat pemindah panas dalam sistem pendingin tanpanya sistem refrigerasi tidak akan mungkin bekerja. Seiring perkembangan refrigeran memiliki berbagai macam jenis untuk memenuhi setiap kebutuhan sistem pendingin yang dibutuhkan dan untuk memilih refrigeran yang baik tidak lah mudah karena berbedanya refrigeran menghasilkan kerja pendingin yang berbeda juga. Penelitian bertujuan untuk mengetahui refrigeran yang memiliki performansi terbaik dengan membandingkan data kinerja pada sistem refrigerasi dengan menvariansikan refrigeran R32, R22 & R1270. Metode penelitian yang dilakukan adalah analisis pada simulasi sistem refrigerasi kompresi uap sederhana yang dilakukan dengan parameter temperatur kondensasi 50°C dan 30°C, juga temperatur evaporasi dari suhu 10°C s/d -10°C kemudian ditentukan data entalpi pada setiap titik menggunakan program REFPROP sebagai basis perhitungan sifat termodinamika fluida. Sehingga dapat diamati kinerja evaporator, kinerja kompresor, kinerja kondensor, COP dan efisiensi. Dari ketiga refrigeran yang diuji didapat refrigeran R1270 memiliki nilai performansi terbaik dari segi kinerja sistem dan COP pendinginan. Dari segi keamanan R32 bisa menjadi alternatif pengganti R1270 dengan alasan R1270 memiliki sifat mudah terbakar.

Kata Kunci

Refrigerasi, Refrigeran, REFPROP, Kinerja

1. PENDAHULUAN

Pada zaman modern sekarang, perkembangan ilmu pengetahuan terus meningkat dengan pesat sehingga perkembangan di dunia industri, khususnya di bidang refrigerasi dan tata udara yang dapat berperan diberbagai bidang. Bidang tersebut meliputi tempat tinggal, kesehatan, transportasi laut dan udara, industri, pertanian, perikanan dan banyak lagi yang lainnya. Mengingat pentingnya alat-alat refrigerasi dan tata udara disegala bidang maka penggunaanpun akan semakin banyak terutama sebagai sarana penyimpanan produk yang membutuhkan temperatur rendah dan konstan. Contohnya, digunakan sebagai penyimpanan dan pengawetan bahan-bahan yang mudah rusak seperti, buah-buahan, sayuran, daging, ikan dan lain-lain. Salah satu komponen terpenting mesin refrigerasi adalah refrigeran. Refrigeran merupakan zat pemindah panas dalam sistem pendingin tanpanya sistem refrigerasi tidak akan mungkin bekerja. Seiring perkembangan refrigeran memiliki berbagai macam jenis untuk memenuhi setiap kebutuhan sistem pendingin yang dibutuhkan dan untuk memilih refrigeran yang baik

tidak lah mudah karena berbedanya refrigeran menghasilkan kerja pendingin yang berbeda juga.

Pemilihan refrigeran melibatkan kompromi antara konflik properti termofisik yang diinginkan. Refrigeran harus memenuhi banyak persyaratan, beberapa di antaranya tidak secara langsung berkaitan dengan kemampuannya untuk mentransfer panas. Stabilitas kimia dalam kondisi penggunaan merupakan karakteristik penting. Kode keselamatan mungkin memerlukan refrigeran yang tidak mudah terbakar dengan toksisitas rendah untuk beberapa aplikasi. Konsekuensi lingkungan dari kebocoran zat pendingin juga harus dipertimbangkan. Biaya, ketersediaan, efisiensi, kesesuaian dengan pelumas kompresor dan bahan peralatan, serta peraturan lokal dan nasional adalah masalah lain. [1].

Secara alami dari sudut pandang ekonomis operasi, diinginkan bahwa refrigeran memiliki karakteristik fisik dan termal yang akan menghasilkan persyaratan daya minimum per unit kapasitas pendingin, yaitu, tinggi koefisien kinerja. [2].

Salah satu contoh refrigeran yang dulunya sering dipiik pada sistem refrigerasi adalah refrigeran R22. Freon R22 merupakan fluida yang ditemukan pada tahun 1930, senyawa CFC ini memiliki properti fisika yang baik digunakan untuk refrigeran atau penggunaan untuk mesin pendingin, yaitu tidak beracun, stabil dan tidak mudah terbakar, serta memiliki harga yang relatif murah. Akan tetapi setelah peneliti menemukan bahwa CFC adalah termasuk *ozon depleting substance* (ODS) yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan pada ozon, masyarakat mulai menghentikan pemakaian zat ini. R-22 memiliki ODP sebesar 0.055 dan GWP sebesar 1810 yang bisa bertahan selama 12 tahun di atmosfer[3]. Dari nilai COP_a dan COP_c, didapatkan efisiensi sistem dari sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R-22 adalah 56,15%, sedangkan untuk sistem dari sistem refrigerasi menggunakan refrigeran MC-22 adalah 55,81%[4].

Dari sekian banyak refrigeran, terdapat 2 refrigeran yang mulai banyak dipakai dipasaran namun tetap ramah lingkungan, yaitu refrigeran R32 dan R1270. Pada tahun 2014, R22 sudah dilarang di Indonesia sehingga penggunaannya diganti dengan R32. Begitu pula dengan R410a dan R502 penggunaannya sudah jarang dipakai dan diganti oleh R1270. Refrigeran R32 sangat dianjurkan karena memiliki nilai GWP (Potensi Pemanasan Global) 677 di bawah standar batas penggunaan gas RAC yaitu 750 dan ODP (Potensi Penipisan Ozon) nol. Sehingga penggunaan Refrigeran R32 menciptakan AC yang ramah lingkungan serta memiliki tingkat kedinginan yang lebih baik. Sama halnya dengan R32.

Emisi CO₂ R32 relatif setara dengan 405, Ketika pendingin mengalami kebocoran CO₂, rasio pengurangan emisi R32 bisa mencapai 77,6 dibandingkan dengan R22. Hasil ini menunjukkan bahwa Refrigerant baru R32 bisa sesuai untuk perumahan dan pengurangan emisi CO₂ sekitar 50%-90% kondisi udara perumahan dan komersial EPA.[5]

Refrigeran R1270 pun merupakan refrigeran yang ramah lingkungan. Kekuatan R1270 adalah tidak berbahaya bagi lapisan ozon (ODP-0) dan memiliki efek yang rendah terhadap pemanasan global, yaitu < 2. Indeks kapasitas dan CoP dari R-1270 lebih baik dari R22 [6]. Akan tetapi refrigeran ini masih belum banyak digunakan pada produsen refrigerator dikarenakan sifat R1270 yang mudah terbakar. Karakteristik ini sebenarnya tidak berbahaya selama digunakan dengan prosedur yang tepat. Berdasarkan penjelasan tersebut untuk mengetahui refriegeran yang memiliki performansi terbaik, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan data kinerja pada sistem refrigerasi dengan memvariansi refrigeran R32, R22 & R1270 menggunakan aplikasi REFPROP sebagai basis pengambilan data sifat termodinamika refrigeran.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa dan menguji kinerja sistem dengan memvariansikan refrigeran R32, R22 & R1270 dengan aplikasi REFPROP
2. Membandingkan kinerja sistem dari variasi refrigeran berbeda dengan aplikasi REFPROP

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Refrigerasi

Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor atau panas dari suatu benda atau ruang untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda ekuivalen dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. Pada aplikasi tata udara, kalor yang diambil berasal dari udara. Untuk mengambil kalor dari udara, maka udara harus bersentuhan dengan suatu bahan atau material yang memiliki temperatur yang lebih rendah.

2.2 Refrigeran

Refrigeran adalah suatu media (fluida) perambat panas yang menyerap panas dengan menguapkan pada temperatur dan tekanan rendah serta melepaskan panas dengan jalan mengembunkannya pada temperatur yang dan tekanan yang tinggi. Jadi refrigeran yang ada pada sistem refrigerasi mudah mengalami perubahan phase dari cair menjadi gas maupun sebaliknya. Karakteristik termodinamika refrigeran antara lain meliputi temperatur penguapan, temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan untuk keperluan jenis pendinginan.

2.3 Refrigeran yang digunakan

2.3.1 Refrigeran-22 (R22)

R22 merupakan CHCl F₂ (Chloro DiFluoro Methane) yang sangat populer, karena banyak dipakai untuk air conditioning ukuran kecil dan sedang. Jenis freon yang satu ini memiliki potensi pemanasan perusakan ozon senilai 0.05 jika dibandingkan dengan jenis freon lainnya yang hanya bernilai 0. Namun, freon jenis ini tidak mudah terbakar. Akan tetapi, di Indonesia, peraturan pemerintah melalui Departemen Perindustrian dan Perdagangan nomor 41/M-IND/PER/5/2014, 40/M-DAG/PER/7/2014 dan 55/M-DAG/PER/9/2014 menyatakan bahwa sejak tahun 2015 lalu, freon dengan jenis R22 ini dihapus dan tidak diizinkan untuk digunakan lagi.

2.3.2 Refrigeran R-32

R32 adalah refrigeran yang pada masa sekarang paling diminati dikarenakan R32 memiliki efisiensi yang baik dalam mentransferkan panas, maka dapat mengurangi

konsumsi energi listrik hingga kurang lebih 10% dibandingkan dengan menggunakan refrigeran R-22. Dan memiliki nilai GWP sepertiga dari sesama refrigeran HFC yaitu R-410a.

Karakteristik R-22

| | |
|-----------------------------|--------------------|
| Rumus kimia | CHClF ₂ |
| Masa per molekul | 86.48 gram |
| Normal Boiling Point | -40.76°C |
| Safety group | A1 |
| Atmospheric Lifetime, years | 4.9 |
| ODP | 0.05 |
| GWP100 | 1881 |
| Critical pressure (KPa) | 4947 |

Karakteristik R-32:

| | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Rumus kimia | CH ₂ F ₂ |
| Masa per molekul | 52.0 gram |
| Normal Boiling Point | -52°C |
| Safety group | A2L |
| Atmospheric Lifetime, years | 4.9 |
| ODP | 0 |
| GWP100 | 675 |
| Critical pressure (KPa) | 5800 |

2.3.3 Refrigeran-1270 (R-1270/Propylene)

Refrigeran R1270 atau Propylene adalah refrigeran hidrokarbon yang karakteristiknya membuat dia cocok digunakan untuk menggantikan refrigeran sintetis untuk sistem pendingin udara perumahan refrigeran yang banyak digunakan pada AC central, pompa panas, AC, dan berbagai peralatan pendingin ruangan rumah tangga lainnya. Karakteristik termodinamika R1270 cocok untuk penggunaan sumber energi yang efisien. Memiliki kompatibilitas yang baik dengan komponen sistem pendingin udara, biaya penggunaan yang rendah dan konduktivitas termal yang baik, serta membutuhkan pipa dengan dimensi yang lebih kecil. R1270 adalah refrigeran yang mudah terbakar dan oleh karena itu tidak cocok untuk retrofit sistem refrigeran fluorocarbon yang ada.

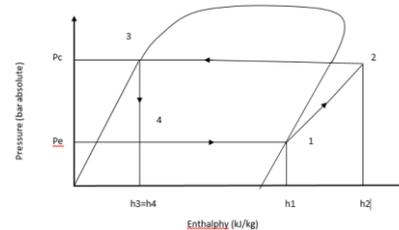
Karakteristik R-1270:

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Rumus kimia | CH ₃ CH=CH ₂ |
| Masa per molekul | 42.1 gram |
| Normal Boiling Point | -48°C |
| Safety group | A3 |
| Atmospheric Lifetime, years | 0.001 |
| ODP | 0 |
| GWP100 | 1.8 |
| Critical pressure (KPa) | 4554.8 |

2.4 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi yang umum dan mudah dijumpai pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah

tangga, komersial, dan industri, adalah sistem refrigerasi kompresi uap. Pada sistem ini terdapat refrigeran, yakni suatu senyawa yang dapat berubah fase secara cepat dari uap ke cair dan sebaliknya. Pada saat terjadi perubahan fase dari cair ke uap, refrigeran akan mengambil kalor (panas) dari lingkungan. Sebaliknya, saat berubah fase dari uap ke cair, refrigeran akan membuang kalor (panas) ke lingkungan sekelilingnya.



Gambar 1. Diagram P-h sistem refrigerasi kompresi uap

Proses Kompresi (1-2)

Refrigeran masuk kompresor dengan tekanan rendah dan temperatur rendah dalam keadaan uap jenuh. Refrigeran yang masuk kompresor ditekan sehingga tekanannya naik dari sebelumnya tekanan rendah menjadi tekanan tinggi sehingga temperaturnya pun ikut naik.

Kerja yang dilakukan kompresor adalah:

$$Q_w = m(h_2 - h_1) \quad (1)$$

Proses Kondensasi (2-3)

Refrigeran masuk kondenser dalam keadaan superheat. Di kondenser refrigeran melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi penurunan temperatur sampai batas uap jenuh, setelah itu refrigeran berubah fasa dari uap menjadi cair jenuh. Proses ini terjadi dalam keadaan tekanan konstan (isobar) dan besar kalor yang dilepaskan di kondenser atau *heat rejection* adalah:

$$Q_k = m(h_2 - h_3) \quad (2)$$

Proses Ekspansi (3-4)

Pada proses ini refrigeran diturunkan tekanannya. Dengan terjadinya penurunan tekanan maka temperatur refrigeran akan ikut turun. Dalam hal ini refrigeran tidak mengalami penambahan atau pengurangan energi sehingga prosesnya dalam kondisi entalpi konstan (isenthalpy).

Proses Evaporasi (3-4)

Proses ini terjadi pada tekanan konstan (isobar). Refrigeran yang keluar dari alat ekspansi masuk ke evaporator lalu menyerap kalor dari bahan atau media

yang akan diinginkan. Kalor yang diserap tersebut digunakan refrigeran untuk berubah fasa dari campuran menjadi uap jenuh. Refrigeran yang keluar dari evaporator dalam bentuk uap jenuh dan besar kalor yang diserap evaporator disebut beban pendinginan atau kapasitas pendinginan. Kalor yang diserap evaporator dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (3)$$

COP_c dan COP_a

Untuk menghitung suatu prestasi ideal mesin refrigerasi berdasarkan nilai

COP_{Carnot} sebagai berikut:

$$COP_c = \frac{T_e}{(T_k - T_e)} \quad (4)$$

COP_{aktual} merupakan nilai suatu prestasi aktual yang dimiliki mesin refrigerasi yang dapat dicapai dengan persamaan sebagai berikut:

$$COP_a = \frac{Q_e}{Q_w} \quad (5)$$

Efisiensi Sistem

Efisiensi adalah Perbandingan besaran COP_a dan COP_c menunjukkan efisiensi sistem refrigerasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{COP_a}{COP_c} \times 100\% \quad (6)$$

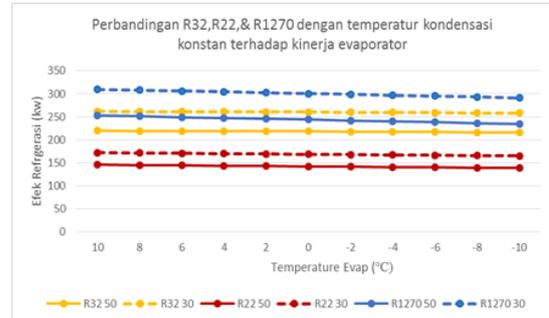
3. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan adalah analisis pada simulasi sistem refrigerasi kompresi uap sederhana yang dilakukan dengan parameter temperatur kondensasi 50°C dan 30°C, juga temperatur evaporasi dari suhu 10°C s/d -10°. Pengambilan data dilakukan menggunakan refrigeran R32, R22 & R1270 kemudian ditentukan data entalpi pada setiap titik menggunakan program REFPROP. Program ini digunakan untuk menghitung sifat termodinamika dan transport dari suatu fluida dan campurannya [7]. Pengolahan data dilakukan sehingga dapat diamati kinerja kompresor, kinerja evaporasi, kinerja kondensor, COP dan efisiensi. Adapun rincian dari pengerjaan analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat siklus kompresi uap R-32, R-22 & R-1270 dengan simulasi REFPROP.
2. Menentukan nilai COP_a, COP_c, efisiensi, kerja kompresor, efek refrigerasi, *heat rejection* pada R32, R22 & R1270.
3. Melakukan kajian perbandingan refrigeran R32, R22, & R1270 terhadap hasil yang diperoleh.

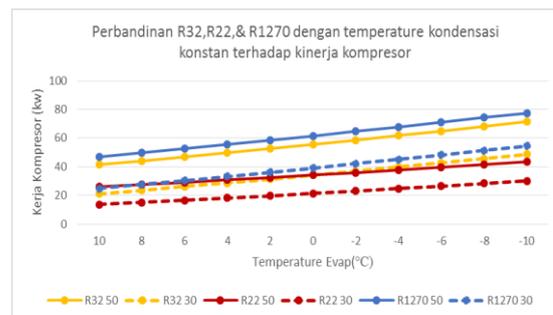
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada simulasi sistem refrigerasi telah dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem pada refrigeran R32, R22 & R1270. Data yang hasil pengujian didapatkan menggunakan program REFPROP ditampilkan pada gambar dibawah berikut.



Gambar 2. Perbandingan R32, R22 dan R1270 terhadap efek refrigersai

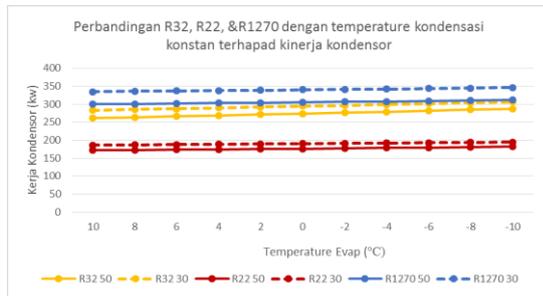
Pada gambar 2 terlihat seiring penerunan temperatur konstan kondensasi pada tiap refrigeran mengalami kenaikan pada kinerja evaporasi cukup besar sedangkan seiring penurunan temperatur evaporasi tiap refrigeran kinerja evaporasi mengalami sedikit penurunan. Pada grafik dari tiga jenis refrigeran didapatkan besar kerja evaporator R1270 berada pada posisi paling tinggi berkisar 300kJ/kg – 230kJ/kg dengan nilai kerja evaporator R32 berada dibawahnya berkisar 252kJ/kg – 215kJ/kg dan pada R22 memiliki nilai kerja evaporator terendah berkisar 172 kJ/kg- 138 kJ/kg.



Gambar 3. Perbandingan R32, R22 dan R1270 terhadap kinerja kompresor

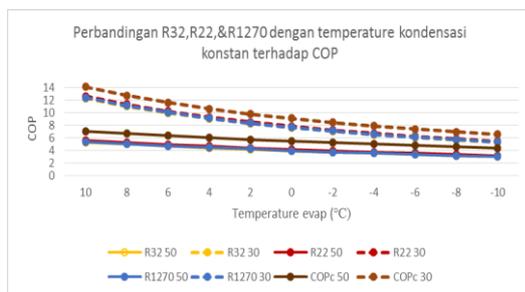
Pada gambar 3 terlihat pada keadaan suhu kondensasi konstan dari tertinggi hingga terendah tiap refrigeran mengalami penurunan nilai kerja kompresor cukup besar sedangkan seiring perubahan suhu evaporasi tiap refrigeran mengalami kenaikan nilai kerja kompresor. Pada grafik dapat dibandingkan dari tiga jenis refrigeran pada dua keadaan suhu kondensasi konstan R1270 memiliki nilai kerja kompresor tertinggi berkisar 77kJ/kg – 25 kJ/kg, R32 memiliki nilai sedikit lebih rendah dibawah R1270 berkisar 71 kJ/kg – 21 kJ/kg dan

R22 memiliki nilai kerja kompresor terendah berkisar 43 kJ/kg k² – 13 kJ/kg.



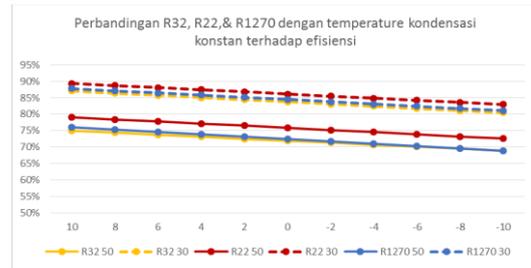
Gambar 4. Perbandingan R32, R22 dan R1270 terhadap kinerja kondensor

Pada gambar 4 terlihat pada keadaan suhu kondensasi konstan tertinggi hingga terendah nilai kerja kompresor tiap refrigeran mengalami sedikit peningkatan sedangkan seiring penurunan suhu evaporasi nilai kerja kondensor terlihat stabil dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu banyak. Pada grafik dapat dibandingkan dari tiga jenis refrigeran pada dua keadaan suhu kondensasi konstan. R1270 memiliki nilai kerja kondensor tertinggi dari refrigeran lainnya berkisar 350 – 300 kw dengan R32 berada dibawahnya berkisar 300 kJ/kg – 250 kJ/kg dan pada R22 memiliki nilai kerja kondensor terendah berkisar 200 kJ/kg – 150 kJ/kg.



Gambar 5. Perbandingan R32, R22 dan R1270 terhadap COP

Pada gambar 5 suhu kondensasi 50°C COP_c memiliki nilai berkisar 7 – 4,3 seiring penurunan suhu evaporasi dengan COP_a ketiga refrigeran lebih rendah dari COP_c dan memiliki nilai yang hampir sama berkisar 5,3 - 3 dengan R22 memiliki nilai COP_a tertinggi. Pada suhu kondensasi konstan 30°C COP_c memiliki nilai berkisar 14.1 – 6.5 seiring penurunan suhu evaporasi dengan COP_{aktual} ketiga refrigeran lebih rendah dari COP_{carnot} dan memiliki nilai yang berkisar 12.5 – 5 dengan R22 memiliki nilai COP_a tertinggi.



Gambar 6. Perbandingan R32, R22, dan R1270 terhadap efisiensi

Nilai efisiensi pada gambar 6 di pengaruhi oleh perbandingan dari nilai COP_a dan COP_c. Pada grafik terlihat keadaan suhu kondensasi tertinggi hingga terendah nilai efisiensi ketiga refrigeran mengalami kenaikan cukup besar dan seiring penurunan suhu evaporasi ketiga refrigeran terlihat stabil sambil mengalami sedikit penurunan. Pada grafik dapat dibandingkan nilai tiga jenis refrigeran pada dua keadaan suhu kondensasi konstan terlihat R22 memiliki nilai efisiensi paling tinggi hingga 90% dengan R1270 berada di bawahnya dan R32 memiliki nilai efisiensi terendah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis data dari hasil simulasi perhitungan ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh kinerja evaporator mesin pendingin terhadap ketiga refrigeran tertinggi dicapai pada keadaan temperatur kondensasi 30°C dengan daya efek refrigerasinya R32=261,63Kj/kg, R22=172,07Kj/kg, R1270=309,63Kj/kg.
2. Pengaruh kinerja kompresor mesin pendingin terhadap ketiga refrigeran tertinggi dicapai pada keadaan temperatur kondensasi 50°C dengan daya kerja kompresornya R32=41,93Kj/kg, R22=26,00Kj/kg, R1270=46,99Kj/kg.
3. Pengaruh kinerja kondensor mesin pendingin terhadap ketiga refrigeran tertinggi dicapai pada keadaan temperatur kondensasi 30°C dengan daya heat rejectionnya R32=282,85Kj/kg, R22=185,69Kj/kg, R1270=334,55Kj/kg.
4. Cop tertinggi pada ketiga refrigeran dicapai pada keadaan temperatur kondensasi 30°C dengan COP_a terendah dihasilkan oleh refrigeran R32=12,32 sedangkan COP_a tertinggi dihasilkan oleh refrigeran R22=12,64.
5. Efisiensi tertinggi pada ketiga refrigeran dicapai pada keadaan temperatur kondensasi 30°C dengan efisiensi terendah dihasilkan oleh refrigeran R32=

sedangkan efisiensi tertinggi dihasilkan oleh refrigeran R22=87% sedangkan efisiensi terendah oleh refrigeran R22=89%.

6. Dari ketiga refrigeran yang di uji didapat refrigeran R1270 memiliki nilai performansi terbaik dari segi kinerja sistem dan COP pendinginan. Dari segi keamanan R32 bisa menjadi alternatif pengganti R1270 dengan alasan R1270 memiliki sifat mudah terbakar.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengerjaan penelitian ini maka dapat disampaikan saran untuk penelitian selanjutnya agar bisa dikembangkan untuk menganalisa kinerja refrigeran pada jenis sistem refrigerasi lainnya tidak terbatas kompresi uap saja.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai dari kegiatan Tugas Akhir oleh Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara dan penelitian mandiri dosen pembimbing dengan nomor kontrak: 105.14/PL1.R7/PG.00.03/202.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2017). ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTAL SI EDITION. ASHRAE Storebook.
- [2] Dossat, R. (t.thn.). Principles Of Refrigeration. TOPPAN COMPANY, LTD, TOKYO, JAPAN.
- [3] ASHRAE, "ASHRAE Handbook of Fundamental", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2009.
- [4] Sunardi, Cecep, dkk. (2019) "Pengaruh Refrigeran R-22 dan MC-22 terhadap performansi refrigerasi brine cooling". Seminar Nasional Edusainstek FMIPA UNIMUS 2019.
- [5] Advances in Energy Equipment Science and Engineering (Proceedings of the International Conference on Energy Equipment Science and Engineering, (ICEESE 2015), May 30-31, 2015, Guangzhou, China)
- [6] Saleh, B., and Wendland, M. (2006). Screening of pure fluids as alternative refrigerants.
- [7] Eric W. Lemmon, dkk, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties REFPROP. U.S. Department of Commerce,