

## KAJIAN SIMULASI PENGARUH SUBCOOLED DAN SUPERHEATED PADA SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP DENGAN R22 DAN R32

Muhammad Arman<sup>1</sup>, Windy Hermawan Mitrakusuma, Sri Murniati<sup>1</sup>, Cynthia Andini S.Y

Politeknik Negeri Bandung  
[akang.arman@polban.ac.id](mailto:akang.arman@polban.ac.id)

### Abstract

*Subcooled and superheated are one of the more complicated refrigeration cycle processes. Subcooled is a process that occurs because the heat dissipation in the condenser runs smoothly so that the phase change in the refrigerant at the end of the condenser is a mixture of liquid and gas. Superheated occurs when the system is deficient in refrigerant, causing the refrigerant to come out of the evaporator to be completely gaseous. To determine the consequences of the subcooled and superheated processes, various methods can be used, such as conducting experiments using tools directly and performing simulations using a program. In this final project, the simulation method is used because it is easier than using a direct tool. The refrigerants used were refrigerants R22 and R32 by varying the values of subcooled, superheat, and isentropic efficiency under the specified conditions. The values of subcooled temperature and superheated temperature were varied at 0 K, 3 K, 5 K, 7 K, 9 K, and 11K. Isentropic efficiency was varied at 50%, 75%, and 100%. This simulation data processing uses the REFPROP (Reference fluid Properties) program which can calculate the thermodynamic properties of the fluid and can be accessed with the Microsoft Excel add-ins. After performing the simulation, it can be concluded that if a subcooled process occurs in the system, the COP value will increase by 2.5%. Conversely, if there is a superheating process, the COP value will decrease by 0.3% and the compressor work will increase by 1.7%. Furthermore, in the simulation of variation in isentropic efficiency when the efficiency is at 50%, the resulting COP value is 50% lower and the compressor work released is 50% higher so that the required compressor power is 75% greater than the 100% efficiency. It can be said that the system works better if there is an increase in subcooled temperature and 100% isentropic efficiency.*

*Keyword: Subcooled, Superheated, REFPROP, Isentropic Efficiency*

### 1. PENDAHULUAN

Refrigeran R22 dan R32 merupakan jenis refrigeran yang banyak digunakan oleh industri sebagai fluida kerja mesin pendingin. Refrigeran R22 atau HCFC-22 sudah digunakan setelah adanya pelarangan untuk menggunakan refrigeran CFC (*Chlorofluorocarbon*), kelebihanannya yaitu harga yang sangat terjangkau dan bahan yang tidak mudah terbakar. Namun, sejak tahun 2015, refrigeran R22 mulai diberhentikan untuk berproduksi karena refrigeran tersebut mempunyai nilai *Ozone Depletion Potential* (ODP) 0.05 dan *Global Warming Potential* (GWP) 1810. Selain itu, refrigeran tersebut dapat merusak lapisan ozon dan mengakibatkan adanya pemanasan global. Akan tetapi, penggunaan refrigeran tersebut masih diperbolehkan hingga tahun 2030 karena masih banyak pihak industri yang mesin pendinginnya menggunakan fluida kerja R22.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, para peneliti melakukan pengembangan jenis refrigeran agar ramah lingkungan. Salah satu hasilnya yaitu refrigeran *difluoromethane* atau biasa dikenal dengan R32 karena memiliki bahan yang ramah lingkungan. Nilai ODP-nya 0 dan GWP-nya 675. Refrigeran R32 juga memiliki angka index dingin (*cooling index*) 160. Hal tersebut jauh lebih tinggi dari refrigeran R22. Namun, R32 memiliki tingkat mudah terbakar (*flammability*) yang cukup tinggi walaupun tidak akan menyebabkan kebakaran yang cukup parah.

Siklus refrigerasi tidak ideal adalah siklus yang terjadi karena adanya proses *subcooled* dan *superheated* di dalam kondensor dan evaporator. *Subcooled* dan *superheated* memiliki fungsi utama masing-masing, yaitu *subcooled* berfungsi untuk meningkatkan kapasitas pendinginan pada evaporator dan *superheated* berfungsi untuk memastikan fasa refrigeran yang masuk ke dalam kompresor sepenuhnya gas. Namun, bila *subcooled* dan *superheated* semakin bertambah dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem.

Berdasarkan hal tersebut, penulis akan menganalisis terjadinya perubahan temperatur *subcooled* dan *superheated* pada refrigeran jenis R22 dan R32 dengan menggunakan program REFPROP (*Reference fluid Properties*).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 1. Karya Ilmiah Sejenis Sebelumnya

No	Tahun	Judul Karya Ilmiah dan Penulis	Objek	Metode	Variabel
1	2018	Uji Prestasi Refrigerasi R22 Pada Mesin Pendingin Kompresi Uap Dengan Metode Pengujian Aktual dan Simulasi. (Haris Ramadan) (Haris, 2018)	Pengujian karakteristik yang dimiliki R22	Pengujian aktual dan simulasi	Kerja kompresor, COP
2	2017	<i>Effect degree of temperature subcooling in the performance of refrigeration with CFC, HFC and hydrocarbons refrigerant. MATEC Web of Conferences</i> , 101, 03002. (Suparmin, P., Antono, V., & Nurhasanah, R.) (Suparmin dkk., 2017)	Pengaruh peningkatan temperatur <i>subcooling</i>	Retrofitting dan pencampuran refrigeran dengan menggunakan <i>liquid suction heat exchanger</i> (LSHX)	Performansi sistem, kerja kompresor
3	2006	<i>NONLINEAR SUPERHEAT AND EVAPORATION TEMPERATURE CONTROL OF A REFRIGERATION PLANT</i> . (H. Rasmussen, C. Thybo, L.F.S.Larsen) (Rasmussen dkk., 2006)	Menyimulasikan <i>Superheat nonlinear</i> dan temperatur evaporasi	PID controller	Kerja controller
4	2001	<i>Thermodynamyc Properties of HFC-32</i> (difluoromethane) (Piao & Noguchi, 2001)	Karakteristik R32	Pengukuran PVT	Kepadatan, Temperatur, Tekanan

### Siklus Refrigerasi

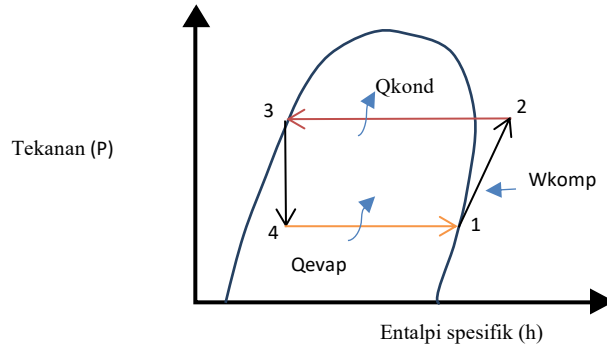
Siklus refrigerasi biasanya terbagi menjadi dua yaitu siklus refrigerasi sederhana dan siklus refrigerasi tidak sederhana.

#### A. Siklus refrigerasi sederhana

Siklus refrigerasi sederhana yaitu siklus yang mengasumsikan bahwa pada setiap komponennya terjadi proses sebagai berikut (Sumeru, 2018).

1. Proses kompresi terjadi secara isoentropik (memiliki nilai entropi yang konstan).

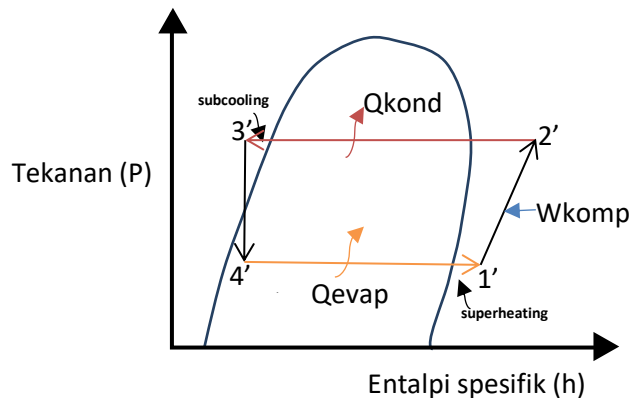
2. Proses kondensasi terjadi secara isobarik hingga saturasi cair (memiliki nilai tekanan yang konstan).
3. Proses ekspansi terjadi secara isoentalpi (memiliki nilai entalpi yang konstan).
4. Proses evaporasi terjadi secara isobarik hingga saturasi gas (memiliki nilai tekanan yang konstan).



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap sederhana pada diagram p-h

B. Siklus refrigerasi kompresi uap dengan *subcooled* dan *superheated*

Siklus yang pada prosesnya terjadi *subcooled* dan *superheated*, bila diartikan yaitu *subcooled* terjadi karena proses pembuangan kalor pada kondensor berjalan dengan lancar sehingga membuat fasa refrigeran yang keluar di akhir kondensor menjadi campuran antara cair dan gas, proses *subcooled* terletak di sebelah kiri dari garis saturasi cair pada diagram P-h. *Superheated* terjadi karena sistem biasanya kekurangan refrigeran sehingga refrigeran yang keluar dari evaporator sepenuhnya berfasa gas, tetapi bersuhu rendah dari lingkungan sehingga masih dapat melakukan penyerapan kalor. Pada diagram P-h *superheated* terletak di sebelah kanan garis saturasi gas. (Ajiwiguna, 2016)



Gambar 2. Siklus refrigerasi kompresi uap dengan *subcooled* dan *superheated*

Pada siklus refrigerasi kompresi uap di diagram P-H, banyak sekali hal yang dapat kita ketahui, yaitu nilai tekanan (P), temperatur (T), entalpi (h), entropi (s), volume spesifik (v) dan nilai kualitas(x). (Sumeru, 2018)

- Entalpi adalah energi yang terdapat dalam suatu materi yang memiliki energi, tekanan, dan volume yang digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dihisap oleh evaporator, kerja yang dilakukan kompresor, dan kalor yang dibuang kompresor. (Sumeru, 2018)
- Entropi, adalah energi atau kalor yang berubah pada suhu tertentu, biasanya entropi digunakan untuk menganalisis proses kompresi pada kompresor. Bila kompresor bekerja dengan baik tanpa adanya rugi gesek, rugi panas, rugi tekanan dan rugi-rugi lainnya maka

kompresi pada kompresor berlangsung secara isentropik. Namun, dalam kenyataannya selalu terjadi peningkatan nilai entropi. Untuk itu perlu didefinisikan efisiensi isentropik ( $\eta_{isen}$ ), yaitu:

$$\eta_{isen} = \frac{\text{aktual kerja kompresor } (W_a)}{\text{Isentropik kerja kompresor}} \quad (1)$$

Atau bila digambarkan pada diagram p-h, yaitu:

$$\eta_{isen} = \frac{h_{2isen} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

Untuk menunjukkan sistem tersebut berkerja dengan baik, ada beberapa parameter yang dapat digunakan sebagai acuan, seperti berikut.

COP (*Coefficient of Performance*), yaitu perbandingan antara efek refrigerasi yang termanfaatkan ( $q_e$ ) dengan kerja kompresor yang dihasilkan ( $w_{komp}$ ).

$$COP_a = \frac{q_e}{w_{komp}} \quad (3)$$

Atau pada diagram p-h dapat dirumuskan seperti ini,

$$COP_a = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

Adapula nilai COP carnot, yaitu nilai COP tertinggi yang dapat dicapai oleh mesin.

$$COP_c = \frac{T_{evaporator}}{T_{kondensator} - T_{evaporator}} \quad (5)$$

Dari kedua rumus tersebut dapat diartikan bila efek refrigerasi yang termanfaatkan semakin besar maka nilai COP yang dihasilkan semakin besar pula.

Nilai efisiensi refrigerasi, yaitu nilai perbandingan antara COP aktual dengan COP carnot. Oleh karena itu, hasilnya akan memperlihatkan kerja mesin dalam melakukan proses pendinginan.

$$\eta_R = \frac{COP_a}{COP_c} \quad (6)$$

Rasio kompresi, yaitu nilai perbandingan antara Tekanan *Discharge* dengan Tekanan *Suction*, yang hasilnya akan memperlihatkan kinerja kompresor dalam melakukan kompresi.

$$\text{Rasio kompresi} = \frac{P_d}{P_s} \quad (7)$$

Daya kompresor, yaitu nilai perkalian antara laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) refrigeran dengan kerja kompresor ( $w_{komp}$ ), hasil nilai tersebut memperlihatkan daya yang dibutuhkan oleh kompresor untuk melakukan kompresi.

$$\text{Daya kompresor} = \dot{m} \times w_{komp} \quad (8)$$

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan instalasi program REFPROP pada perangkat keras (komputer) dengan dihubungkan dengan *software* microsoft excel melalui microsoft excel add-ins. Kemudian, microsoft excel ini akan digunakan sebagai *software* untuk melakukan simulasi atau pengolahan data. Selanjutnya, menentukan jenis refrigeran dan parameter yang digunakan, memperkirakan nilai dari parameter tersebut (seperti: Tekanan *discharge*, Tekanan *suction*, Temperatur kondensasi, Temperatur evaporasi), menentukan kondisi yang digunakan saat simulasi (seperti: Kondisi 1, temperatur kondensasi 45°C dan temperatur evaporasi 10 °C, Kondisi 2, temperatur kondensasi 50°C dan temperatur evaporasi 10°C, Kondisi 3, temperatur kondensasi 45°C dan temperatur evaporasi 0 °C, Kondisi 4, temperatur kondensasi 50°C dan temperatur evaporasi 0°C), membuat siklus refrigerasi sederhana ideal dengan R22 dan R32 lalu hitung COP dan efisiensi dari siklus tersebut, membuat siklus refrigerasi dengan memvariasikan temperatur *subcooled* dan *superheat* dengan variasi nilai 0 K, 3 K, 5 K, 7 K, 9 K, dan 11 K, menambahkan variasi efisiensi isentropik dengan variasi nilai 50%, 75%, dan 100%, membuat analisis pengaruh variasi temperatur *subcooled* dan *superheat* sesuai variasi yang telah ditentukan terhadap nilai efek refrigerasi, nilai kerja kompresor, dan nilai COP pada saat keadaan *subcooled* atau *superheat* di 0 K dan efisiensi isentropik 100%, membuat analisis pengaruh variasi efisiensi isentropik pada keadaan tidak terjadi proses *subcooled* dan *superheat*, membandingkan data analisis yang didapat dari kedua siklus dengan variasi dan kondisi yang telah ditentukan dari kedua jenis refrigeran yang digunakan.

#### 3.1. Pemrograman REFPROP

simulasi yang dilakukan di microsoft excel menggunakan formula yang telah ditentukan oleh program REFPROP sebagai berikut.

=refprop("X";"Rxx";"YZ";"satuan";nilai Y, nilai Z)

Dengan

- X, adalah parameter yang dicari berupa singkatan. Tekanan (P), Temperatur (T), Entalpi (H), Entropi (S), Massa jenis (D), Energi internal (E), Kualitas (Q).
- Rxx adalah nama fluida kerja dituliskan secara langsung, contoh R32 atau R22.
- YZ adalah parameter yang diketahui berupa singkatan. Tekanan (P), Temperatur (T), Entalpi (H), Entropi (S), Massa jenis (D), Energi internal (E), Kualitas (Q), atau kondisi saturandengan menambahkan indeks "vap" untuk gas, dan "liq" untuk cair..
- Satuan yang terdapat pada software dalam bentuk MKS, CGS, SI, dll.
- Nilai Y dan nilai Z adalah nilai parameter yang diketahui sesuai dengan satuan yang digunakan.

#### 3.2 Formula Tekanan (P)

Untuk mencari tekanan, formula yang digunakan yaitu:

=REFPROP("P","R22","Tliq","mks",273)

Formula tersebut mengartikan berapa nilai tekanan pada refrigeran R22 saat temperatur 273 K dengan satuan MKS. Penggunaan "liq" atau "vap" pada formula digunakan saat temperatur berada di temperatur saturasi. Maka, hasil tekanan yang didapat dari formula tersebut sebesar 496 kPa.

### 3.3 Formula Temperatur (T)

Untuk mencari nilai temperatur, formula yang digunakan yaitu:

$$=REFPROP("T","R22","Pliq","MKS",496)$$

Formula tersebut mengartikan berapa nilai temperatur pada refrigeran R22 saat tekanannya 496 kPa dengan satuan MKS. Penggunaan "liq" atau "vap" pada formula digunakan saat tekanan berada di tekanan saturasi. Maka, hasil temperatur yang didapat dari formula tersebut sebesar 273 K.

### 3.4 Formula Entalpi (h)

Untuk mencari nilai entropi, formula yang digunakan yaitu:

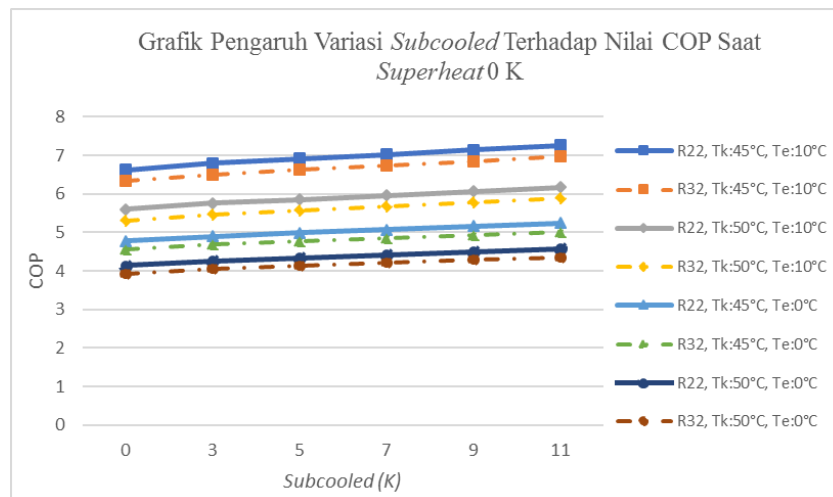
$$=REFPROP("h","R22","PT","MKS",496,273)$$

Formula tersebut mengartikan berapa nilai entropi pada refrigeran R22 saat tekanannya 496 kPa dan temperaturnya 273 K dengan satuan MKS. Maka, hasil entalpi yang didapat dari formula tersebut sebesar 405 kJ/kg.

## 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Variasi Temperatur *Subcooled* pada R22 dan R32

Simulasi dilakukan pada *superheat* 0 K dengan nilai variasi *subcooled* 0 K, 3 K, 5 K, 9 K, dan 11 K. Gambar 1 memperlihatkan grafik pengaruh variasi *subcooled* terhadap nilai COP saat *superheat* di 0 K dengan empat kondisi yang berbeda. Dalam hal ini, terlihat kurva dari keempat kondisi dari kedua jenis refrigeran tersebut mengalami kenaikan. Pada R22, nilai COP terbesar terjadi pada kondisi 1 saat *subcooled*nya 11 K yaitu sebesar 7.25 dan nilai COP terkecilnya terjadi pada kondisi 4 saat *subcooled* 0 K sebesar 4.14. Pada R32, dengan kondisi yang sama seperti R22 nilai COP terbesar yaitu sebesar 6.96 dan nilai COP terkecilnya sebesar 3.93.

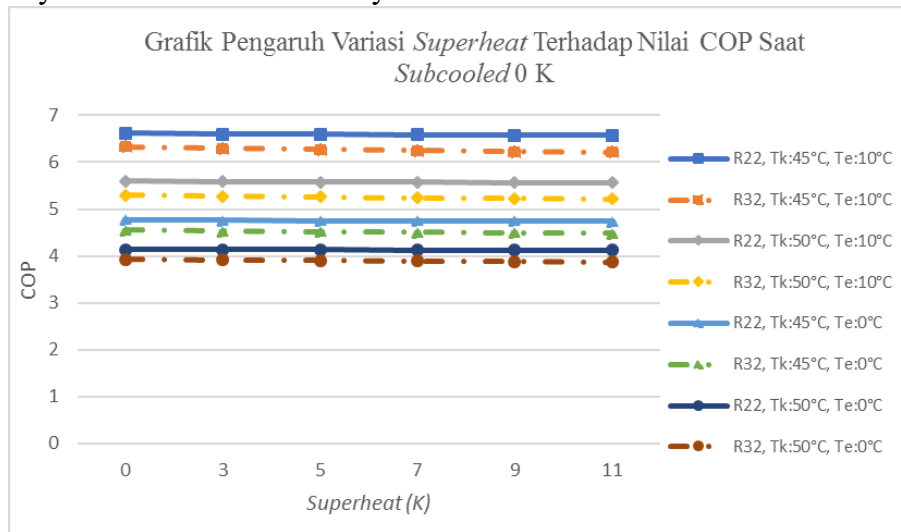


Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi *Subcooled* Terhadap Nilai COP Saat *Superheat* 0K

### 4.2. Variasi Temperatur *Superheat* pada R22 dan R32

Simulasi dilakukan pada *subcooled* 0 K dengan nilai variasi *superheat* 0 K, 3 K, 5 K, 9 K, dan 11 K. Gambar 2 memperlihatkan grafik pengaruh variasi *superheat* terhadap nilai COP saat *subcooled* di 0 K dengan empat kondisi yang berbeda. Dalam hal ini, terlihat dari kurva

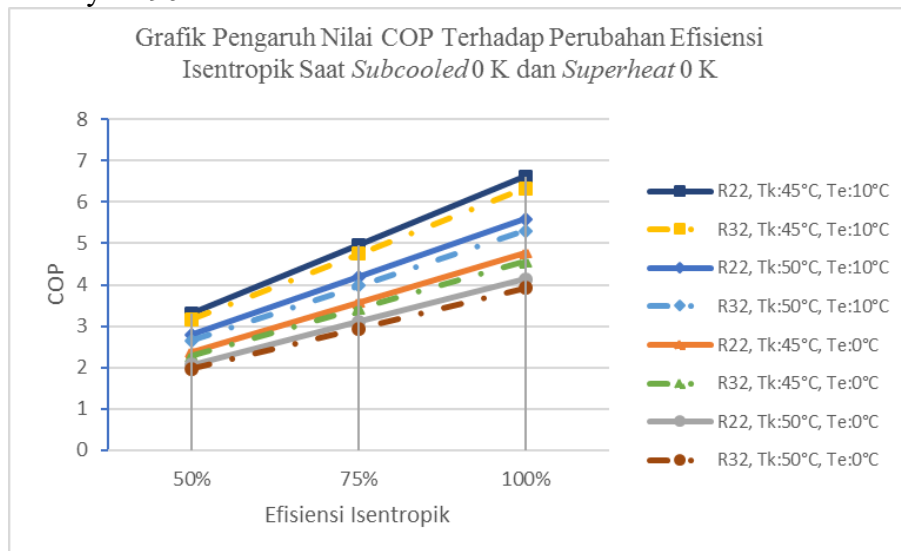
keempat kondisi kedua jenis refrigeran tersebut mengalami penurunan tetapi tidak secara signifikan. Pada R22, nilai COP terbesar terjadi pada kondisi 1 saat *superheat*-nya di 0 K yaitu sebesar 6.62 dan terkecilnya pada kondisi 4 sebesar 4.13. Dengan kondisi yang sama, pada R32 nilai terbesarnya 6.33 dan nilai terkecilnya 3.87.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi *Superheat* Terhadap Nilai COP Saat *Subcooled* 0K

#### 4.3. Variasi Efisiensi Isentropik pada R22 dan R32

Simulasi dilakukan pada nilai variasi efisiensi isentropic 50%, 75%, dan 100%. Gambar 3 menunjukkan pengaruh efisiensi isentropik terhadap nilai COP tanpa terjadi proses *subcooled* dan *superheat*. Pada R22, nilai COP terbesar terjadi pada kondisi 1 dengan efisiensi isentropik 100% yaitu sebesar 6.62 dan terkecilnya terjadi pada kondisi 4 dengan efisiensi isentropik 50% yaitu sebesar 2.07. Pada R32, dengan kondisi yang sama seperti R22 nilai COP terbesar yaitu 6.33 dan terkecilnya 1.96.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Efisiensi Isentropik Terhadap Nilai COP Saat *Subcooled* 0K dan *Superheat* 0K

#### 4.4. Perbandingan Kinerja R22 dan R32

Pada tabel 2 berikut, kinerja kedua sistem pada saat efisiensi isentropiknya 100 % terlihat bahwa efek refrigerasi, COP, dan efisiensi refrigerasi di setiap kondisi pada kedua refrigeran tersebut mengalami penurunan. Namun, kerja kompresor, laju aliran massa, dan laju

aliran volume mengalami kenaikan. Bila melihat dari kuantitas atau besaran nilai yang didapatkan untuk efek refrigerasi, kerja kompresor dan daya kompresor R32 lebih besar dibanding R22. Akan tetapi, nilai COP R22 lebih besar dibandingkan R32.

Tabel 2. Perbandingan Kinerja R22 dan R32 Saat Temperatur *Superheat* 0 K dan *Subcooled* 0 K Dengan Empat Kondisi

Jenis Refrigeran	R22				R32			
	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
Parameter yang dicari								
Temp.Kondensasi (°C)	45	50	45	50	45	50	45	50
Temp. Evaporasi (°C)	10	10	0	0	10	10	0	0
Tekanan <i>Discharge</i> (kPa)	1723,08	1936	1723,08	1936	2784,86	3130,38	2784,86	3130,38
Tekanan <i>Suction</i> (kPa)	677,88	677,88	495,56	495,56	1101,98	1101,98	809,20	809,20
Efek Refrigerasi	152,35	145,47	148,83	141,96	230,67	219,50	229,29	218,13
Kerja Kompresi	23,02	26,00	31,19	34,28	36,44	41,39	50,28	55,54
COP	6,62	5,59	4,77	4,14	6,33	5,30	4,56	3,93
COP carnot	8,09	7,08	6,07	5,46	8,09	7,08	6,07	5,46
Laju aliran massa (kg/s)	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Laju Aliran Volume (L/s)	1,1	1,2	1,6	1,7	0,7	0,8	1,0	1,0
Daya Kompresor (kW)	0,76	0,89	1,05	1,21	0,79	0,94	1,10	1,27
$\eta_{\text{isentropik}}$	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
$\eta_{\text{refrigerasi}}$	79%	79%	79%	76%	78%	75%	75%	72%

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengaruh proses *subcooled* dan *superheat* pada sistem yaitu, bila terjadi proses *subcooled*, nilai COP yang dihasilkan akan bertambah 2.5% dan tidak mempengaruhi kerja kompresor. Jika terjadi proses *superheat*, nilai COP akan berkurang 0.3% dan nilai kerja kompresor akan bertambah 1.7% yang dapat mengakibatkan kompresor berat untuk mengkompresi. Penambahan nilai variasi temperatur *subcooled* dan *superheat* yang baik menurut *standart refrigeration systems* sebesar  $\Delta T$  10°F atau sekitar  $\Delta T$  5K

R22 memiliki nilai COP 4.5% lebih tinggi dengan daya kompresor 4% lebih rendah dibandingkan R32. Akan tetapi, R32 memiliki efek refrigerasi 52% lebih besar dibandingkan R22. Hal tersebut, dapat diartikan bahwa R32 jauh lebih baik dalam melakukan proses pendinginan karena efek pendinginannya yang lama. Namun, kinerja sistem yang menggunakan R22 lebih baik dibanding dengan sistem yang menggunakan R32.

Disarankan penambahan variasi *subcooled* dan *superheat* yang baik menurut *standart refrigeration systems* sebesar  $\Delta T$  10°F atau sekitar  $\Delta T$  5K.(Wirz, 2006).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajiwiguna, T. A. (2016). *Fasa Subcooled, Saturasi dan Superheated*. diakses tanggal 29 Januari 2020, <http://catatan-teknik.blogspot.com/2016/04/fasa-subcooled-saturasi-dan-superheated.html?m=1>,
- Dossat, R. J. (1981). Principles of Refrigeration. In *JOHN WILEY & SONS*. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(61\)90889-4](https://doi.org/10.1016/0016-0032(61)90889-4)
- Haris, R. (2018). Uji Prestasi Refrigeran R22 Pada Mesin Pendingin Kompresi Uap Dengan Metode Pengujian Aktual Dan Simulasi. *Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ, 2018*, 74–81.
- Lemmon, E. W., & Bell, I. H. (2018). REFPROP Documentation. *National Institute of*

*Standards and Technology (NIST).*

- Piao, C., & Noguchi, M. (2001). *Thermodynamic properties of HFC-32 (difluoromethane) and its thermodynamiques de HFC32 (difluorométhane)*. 24.
- Priyono, J. (2010). *Superheat dan Subcooling*. diakses tanggal 29 Januari 2020, <http://bengkelacdarkulkas.blogspot.com/2010/10/superheat-dan-subcooling.html?m=1>
- Rasmussen, H., Thybo, C., & Larsen, L. F. S. (2006). Nonlinear superheat and evaporation temperature control of a refrigeration plant. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 1, Issue PART 1). IFAC.
- Sumeru, K. (2018). *Subcooling Pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap: aplikasinya pada mesin pendingin dan pengkondisian udara*. DEEPUBLISHER.
- Suparmin, P., Antono, V., & Nurhasanah, R. (2017). Effect degree of temperature subcooling in the performance of refrigeration with CFC, HFC and hydrocarbons refrigerant. *MATEC Web of Conferences*, 101, 3002.
- Wirz, D. (2006). *Commercial refrigeration : for air conditioning technicians. (Second Edition)*.