

UJI EKSPERIMENTAL MESIN PENDINGIN BERPENDINGIN AIR DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN R22 DAN REFRIGERAN R407C

Terry Gunawan¹⁾, Harto Tanujaya¹⁾ dan Asrul Aziz²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

²⁾Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
e-mail: terrygunawan20@yahoo.co.id

Abstract: The human needs of refrigeration system have created a tool that called a refrigerator. Refrigerator/cooling machine have a component which have a very important role in the refrigeration system that is refrigerant. Refrigerant that still widely used for cooling machine until now is the refrigerant R22. Using R22 refrigerant can cause environmental problems such as damage to the ozone layer and global warming. Therefore, it needs a substitution refrigerant which is more friendly for environment which one of them is R407C refrigerant. In this study, using a cooling machine with water-cooled condenser and the flowrate that use is 20 L/h, 40 L/h, 80 L/h and 120 L/h. The variables that measured in this study is temperature ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_{10}, T_{11}$), pressure (P_1, P_2, P_3, P_4), and ampere. This study aims to get the test results using refrigerants R22 and R407C. The processing data of the test result include refrigeration capacity, compressor power and COP. The results obtained have that cooling machine which use R22 refrigerants have a better COP than using R407C refrigerant. This is happen because the power needed by the compressor to compress R407C refrigerant to flow in the system is greater than using R22 refrigerant.

Keyword: Refrigeration system, cooling machine, refrigerant, water-cooled condenser.

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan sistem refrigerasi telah menciptakan alat yang disebut dengan *refrigerator*. *Refrigerator* merupakan alat yang digunakan untuk melepaskan kalor baik dari suatu benda atau objek dan juga dari suatu ruangan ke lingkungan di sekitarnya sehingga objek atau ruangan tersebut temperaturnya lebih rendah dibandingkan lingkungannya. Pada kehidupan sehari-hari, *refrigerator* dikenal dengan sebutan mesin pendingin. *Refrigerator*/mesin pendingin ini memiliki berbagai macam jenis seperti *air conditioner* (AC), *chiller*, *cooling tower* dan juga kulkas.

Pada jaman modern ini, umumnya di rumah-rumah, apartemen dan hotel menggunakan *air conditioner* (AC). Hingga saat ini, refrigeran yang masih banyak digunakan adalah refrigeran R22. Refrigeran R22 yang memiliki nama ilmiah *chlorodifluoromethane* ini, mengandung zat *chlor* dan *fluor* yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan terutama berpengaruh terhadap lapisan ozon bumi. Zat *chlor* dan *fluor* tersebut dapat mengikis lapisan ozon dengan cara mengikat molekul atomnya sehingga lama-kelamaan, lapisan ozon akan hilang dan pancaran sinar *ultra violet* akan semakin mudah masuk, dengan demikian, panas di bumi akan meningkat.

Oleh sebab itu, dibutuhkan jenis refrigeran pengganti atau substitusi yang lebih ramah lingkungan. Namun refrigeran substitusi yang akan menggantikan refrigeran R22, harus memiliki spesifikasi yang kurang lebih hampir sama. Karena apabila spesifikasinya berbeda jauh, akan mengakibatkan kerusakan komponen pada AC tersebut serta efisiensi pendinginannya akan menurun. Salah satu jenis refrigeran yang memiliki spesifikasi hampir sama dengan refrigeran R22 yaitu refrigeran R407C. Refrigeran R407C merupakan gabungan R32 (CH_2F_2 /*difluoromethane*), R125 ($\text{CHF}_2\text{-CF}_3$ /*pentafluoroethane*) dan R134 ($\text{CH}_2\text{F-CF}_3$ /*1,1,1,2-tetrafluoroethane*). Sebelumnya, telah dilakukan penelitian terhadap penggunaan refrigeran R22 dan R407C dimana telah dianalisis performa kompresor yang dihasilkan pada *heat pump* [7], perbandingan performa secara komputasi yang menggunakan kompresor tipe rotari [11] dan performa *air conditioner* yang menggunakan pipa kapiler [4].

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian terhadap penggunaan refrigeran R22 dan R407C dimana telah dianalisis performa kompresor yang dihasilkan pada *heat pump* [6], perbandingan performa secara komputasi yang menggunakan kompresor tipe rotari [13] dan performa *air conditioner* yang menggunakan pipa kapiler [4].

PERUMUSAN MASALAH

Penggunaan refrigeran R22 yang memiliki dampak besar terhadap lingkungan seperti penipisan lapisan ozon dan peningkatan suhu di bumi. Sehingga dibutuhkan refrigeran substitusi atau pengganti yang ramah lingkungan. Oleh karena itu dilakukan pengujian secara eksperimental untuk mengetahui performa mesin pendingin berpendingin air dengan menggunakan refrigeran R22 dan refrigeran substitusi R407C. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai COP pada mesin pendingin berpendingin air dengan menggunakan refrigeran R22 dan refrigeran substitusi R407C.

Dalam penelitian ini batasan masalah yang akan dibahas yaitu :

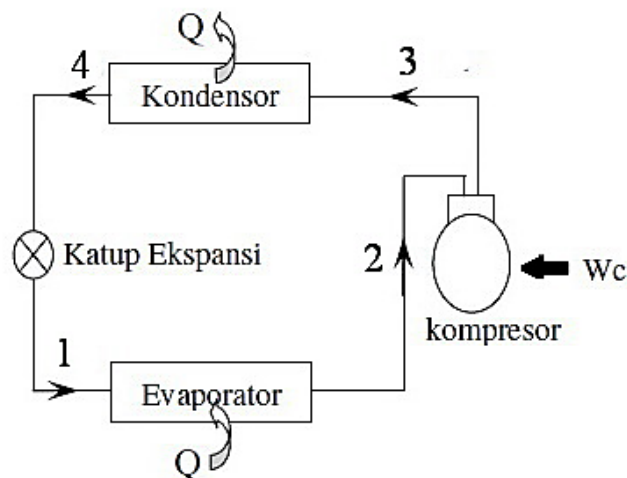
- Menggunakan kondensor berpendinginan air.
- Menggunakan refrigeran substitusi R407C yang memiliki spesifikasi yang hampir sama dengan refrigeran R22.
- Penggunaan alat ekspansi berupa katup ekspansi dengan *flowrate* sebesar 20, 40, 80 dan 120 L/h.
- Pengukuran laju aliran refrigeran, arus listrik, temperatur ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_{10}, T_{11}$), dan tekanan (P_1, P_2, P_3, P_4).

KAJIAN PUSTAKA

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis siklus yang paling sering digunakan hingga saat ini. Pada siklus ini terdapat empat komponen utama yaitu evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Secara garis besar prinsip kerja dari siklus kompresi uap diawali dengan diserapnya panas dari udara yang masuk melewati pipa evaporator. Kemudian refrigeran yang membawa panas tersebut dikompresi oleh kompresor yang bertujuan untuk menaikkan tekanan uap refrigeran sehingga suhu dari refrigeran pun ikut naik dimana pada hal ini mengakibatkan refrigeran berubah fasanya dari cair menjadi uap. Kemudian refrigeran tersebut dialirkan ke kondensor untuk dibuang panasnya ke lingkungan. Lalu refrigeran tersebut masuk ke katup ekspansi untuk diturunkan tekanannya dan merubah fasanya dari uap menjadi cair kembali. Refrigeran yang telah mengalami penurunan suhu akan dialirkan kembali menuju evaporator untuk melakukan proses pendinginan. Siklus kompresi uap biasanya disebut sebagai siklus yang dioperasikan oleh kerja (*work operated system*), karena kenaikan tekanan refrigeran dilakukan oleh kompresor yang memerlukan kerja dari luar. Siklus refrigerasi kompresi uap ini dapat dilihat pada Gambar 1 [6].

Refrigeran adalah zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari benda atau bahan lain seperti air atau udara ruangan, sehingga refrigeran tersebut dapat dengan mudah merubah fasanya dari cair menjadi gas. Sedangkan pada saat terjadinya pelepasan kalor oleh refrigeran terjadi perubahan fasa dari gas bertekanan tinggi jenuh menjadi cair [12].

Kebanyakan refrigeran terbuat dari 2 molekul yaitu *methane* dan *ethane*. Kedua jenis molekul ini mengandung unsur hidrogen (H) dan karbon (C) yang diartikan sebagai hidrokarbon murni (HC). Hidrokarbon murni ini pernah diakui sebagai jenis refrigeran yang baik. Namun dikarenakan



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap [6].

sifat *flamability*-nya, maka tidak lagi digunakan lagi semenjak tahun 1930. Namun pada saat ini hidrokarbon kembali lagi muncul di wilayah eropa dimana digunakan pada refrigerator lokal dan juga muncul di wilayah amerika yang telah dicampur untuk aplikasi *nonflamable*. Sebagai contoh refrigeran yang tidak terkandung *methane* atau *ethane* adalah amonia. Pada amonia hanya terkandung nitrogen dan hidrogen (NH₃) dan merupakan refrigeran yang tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon. Kemudian beberapa atom hidrogen dihilangkan baik dari molekul *methane* atau *ethane* dan digantikan dengan klorin atau fluorin. Molekul baru ini dapat disebut dengan klorinasi, fluorinasi ataupun keduanya. Singkatan digunakan untuk menggambarkan unsur kimia refrigeran dan agar lebih mudah untuk dibedakan oleh teknisi [12].

Adapun syarat-syarat umum sebuah refrigeran yang digunakan pada mesin pendingin adalah sebagai berikut [2] :

- a. Tidak beracun dan tidak berbau.
- b. Tidak mudah terbakar atau meledak jika bercampur dengan udara dan minyak pelumas.
- c. Tidak menyebabkan korosi terhadap bahan logam yang dipakai pada sistem pendingin.
- d. Bila terjadi kebocoran mudah dicari.
- e. Mempunyai titik didih dan kondensasi yang rendah.
- f. Mempunyai susunan kimia yang stabil, tidak terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan dan diuapkan.
- g. Perbedaan antara tekanan pengembunan dan tekanan penguapan sangat kecil.
- h. Mempunyai panas laten penguapan yang besar agar panas yang diserap oleh evaporator bisa maksimal.
- i. Mempunyai nilai konduktivitas thermal yang tinggi.
- j. Kekentalan (viskositas) dalam fase cair maupun fase gas cukup rendah agar tahanan aliran refrigeran dalam pipa kecil.
- k. Konstanta dielektrika refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.
- l. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.

Refrigeran R407C merupakan salah satu refrigeran substitusi yang dapat menggantikan refrigeran R22. Hal ini disebabkan karena refrigeran R407C memiliki spesifikasi yang hampir sama dengan refrigerant R22. Refrigeran R407C merupakan gabungan dari 3 jenis refrigeran lain yaitu R32, R125, dan R134a dengan komposisi masing-masing adalah sebesar 23%, 25% dan 52%. Berikut ini adalah Tabel perbandingan spesifikasi dari refrigeran R407C dengan R22 [9].

Tabel 1. Perbandingan spesifikasi dari refrigeran R407C dengan R22 [5].

<i>Physical Properties</i>	R407C	R22
<i>Molecular Wt (g/mol)</i>	86,2	86,5
<i>Vapor Density (kg/m³)</i>	42	44,2
<i>Liquid Density (kg/m³)</i>	1134	1195
<i>Boiling Point (°C)</i>	-37,1 s.d -44,3	-40,8
<i>Latent Heat Vap (kJ/kg)</i>	245	234
<i>Ozone Depletion Potential</i>	0	0,05
<i>Global Warming Potential</i>	1600	1700

METODE PENELITIAN

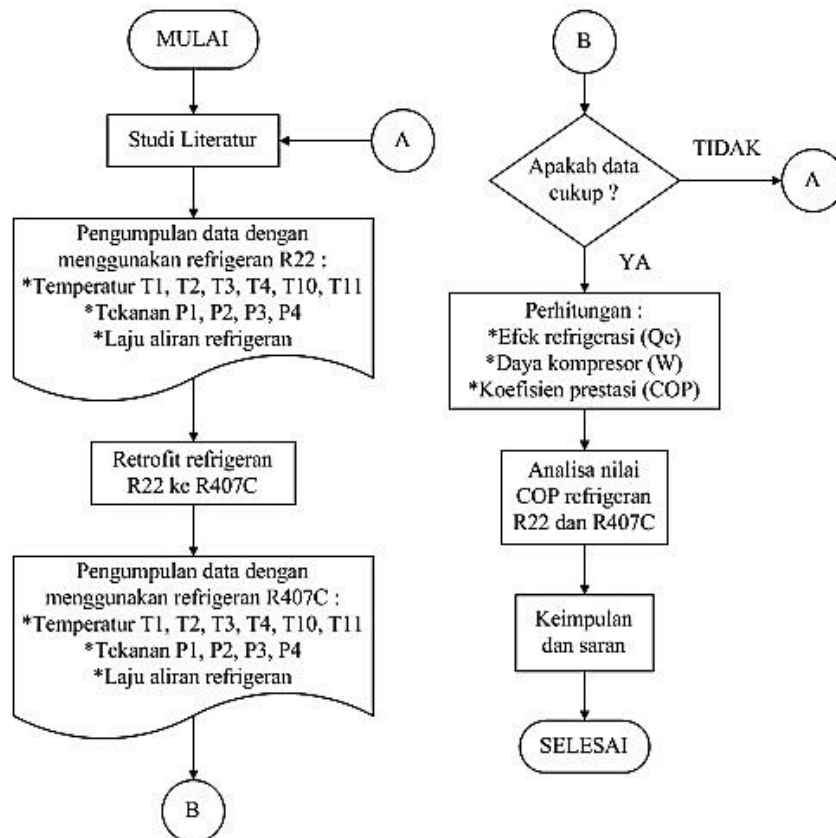
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan uji eksperimental dengan menggunakan mesin pendingin berpendingin air dan refrigeran R22 dan R407C dengan diagram alir penelitian tampak pada Gambar 2.

Dalam penelitian ini alat dan bahan yang digunakan adalah :

- a. Refrigerant R22 dan R407C
- b. Air
- c. Mesin pendingin.

Langkah-langkah dalam melakukan eksperimental dengan mesin pendingin berkondensor air adalah :

1. Membuka keran pada bagian depan mesin dengan jalur sistem adalah evaporator → kompresor → *water cooled condenser* → katup ekspansi dan juga *water cooled condenser* → radiator → pompa.
2. Menghubungkan kabel listrik pompa dan mesin pendingin ke stop kontak PLN.
3. Menyalakan mesin pendingin dengan menaikkan *switch* pada panel listrik yang berada di pojok kiri bawah mesin pendingin.
4. Memutar *switch* jenis pendinginan pada kondensor menjadi berpendingin air.
5. Memutar *switch* evaporator menjadi posisi ON.
6. Menyalakan kompresor dengan menekan tombol berwarna hijau.
7. Memutar *switch* radiator menjadi posisi ON.
8. Memutar keran pada katup ekspansi ke arah kiri secara perlahan-lahan hingga laju aliran refrigeran yang ditunjukkan pada *flowmeter* sebesar 20 L/h.
9. Membiarkan mesin beroperasi selama 10 menit kemudian mencatat besarnya nilai temperatur ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_{10}$, dan T_{11}), tekanan (P_1, P_2, P_3 , dan P_4) dan ampere yang tertera pada alat ukur.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

10. Menutup katub ekspansi dengan cara memutar keran ke arah kanan.
11. Mematikan kompresor dengan cara menekan tombol berwarna merah.
12. Memutar *switch* evaporator menjadi posisi OFF.
13. Memutar *switch* radiator menjadi posisi OFF.

14. Menunggu hingga 10 menit agar mesin pendingin kembali ke kondisi awal.
15. Mengulangi langkah 5 hingga 14 untuk laju aliran refrigeran sebesar 40 L/h, 80 L/h dan 120 L/h.
16. Mengulangi langkah 1 hingga 15 untuk jenis refrigeran R407C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian, didapatkan data eksperimental sebagai berikut:

- a. Pengujian/eksperimental dengan menggunakan refrigeran R22.

Tabel 2. Data hasil pengujian R22

Flowrate (L/h)	Temperatur (°C)						Tekanan (Bar)				Kuat Arus (I)
	T1	T2	T3	T4	T10	T11	P1	P2	P3	P4	
20	-8	19	56	26	27	28	-0,9	-0,8	11,9	10,2	3,2
40	-5	20	61	26	28	28	0,3	0,2	12	10,2	3,6
80	0	22	92	27	27	29	1	0,7	12	10,3	4
120	5	23	94	27	28	30	1,7	1,1	12,2	10,5	4,4

- b. Pengujian/eksperimental dengan menggunakan refrigeran R407C.

Tabel 3. Data hasil pengujian R407C

Flowrate (L/h)	Temperatur (°C)						Tekanan (Bar)				Kuat Arus (I)
	T1	T2	T3	T4	T10	T11	P1	P2	P3	P4	
20	-27	16	75	30	30	31	0,5	0,2	13	11,5	3,8
40	-19	17	84	30	30	31	1,2	0,6	13,2	11,5	4,1
80	-13	17	87	31	31	32	1,7	1	13,5	11,8	4,5
120	-5	19	91	31	31	32	2,8	1,5	13,6	12	4,4

Setelah melakukan pengambilan data dengan menggunakan refrigeran R22 dan refrigeran R407C secara eksperimental, maka hal berikutnya yang dilakukan adalah pengolahan data. Pengolahan data ini diawali dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus di bawah dan kemudian dilakukan analisis.

- a. Besarnya laju perpindahan panas pada evaporator atau kapasitas refrigerasi (Q_e)

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (1)$$

- b. Daya masukan kompresor (W_c)

$$\dot{W}_c = \dot{m}_r (h_3 - h_2) \dots\dots\dots (2)$$

- c. Koefisien prestasi (COP)

$$COP = \left(\frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} \right) = \left(\frac{\dot{m}_r (h_2 - h_1)}{\dot{m}_r (h_3 - h_2)} \right) = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} \dots\dots\dots (3)$$

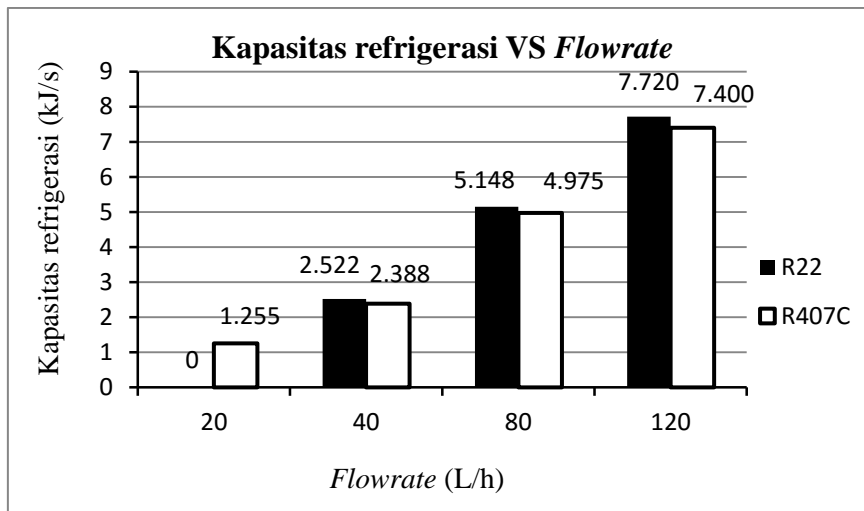
Pada Gambar 3, diketahui bahwa kapasitas refrigerasi yang dihasilkan oleh refrigeran R22 lebih besar dibandingkan dengan refrigeran R407C kecuali pada *flowrate* 20L/h. Kapasitas refrigerasi yang dihasilkan refrigeran R22 dan R407C semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya *flowrate* yang dihasilkan. Nilai kapasitas refrigerasi terkecil didapatkan pada *flowrate* 20 L/h yaitu untuk R22 sebesar 0 kJ/s dan untuk R407C sebesar 1,255 kJ/s. Sedangkan untuk nilai kapasitas refrigerasi terbesar didapatkan pada *flowrate* 120L/h dimana untuk R22 didapatkan nilai sebesar 7,720 kJ/s dan untuk R407C didapatkan nilai sebesar 7,400 kJ/s. Hal ini menandakan bahwa panas yang diserap oleh refrigeran R22 lebih besar dibandingkan dengan refrigeran R407C.

Tabel 4. Hasil perhitungan R22.

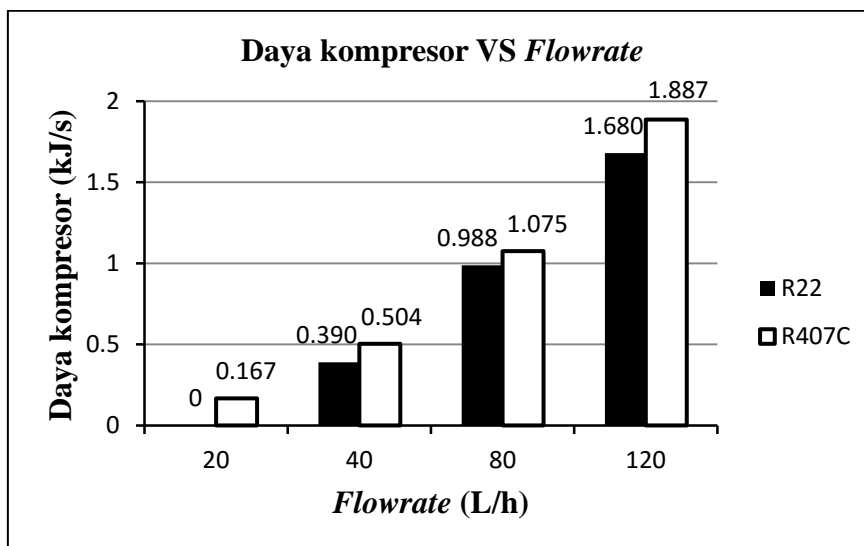
Flowrate (L/h)	Entalpi (kJ/kg)				Kapasitas refrigerasi $m_r(h_2-h_1)$	Daya kompresor $m_r(h_3-h_2)$	COP
	h_1	h_2	h_3	h_4			
20	-	-	-	-	-	-	-
40	78	272	302	78	2,522	0,39	6,467
80	230	428	466	230	5,148	0,988	5,211
120	235	428	470	235	7,72	1,68	4,595

Tabel 5. Hasil perhitungan R407C.

Flowrate (L/h)	Entalpi (kJ/kg)				Kapasitas refrigerasi $m_r(h_2-h_1)$	Daya kompresor $m_r(h_3-h_2)$	COP
	h_1	h_2	h_3	h_4			
20	235	438	465	235	1,255	0,167	7,515
40	239	438	480	239	2,388	0,504	4,738
80	239	438	481	239	4,975	1,075	4,628
120	239	439	490	239	7,4	1,887	3,922



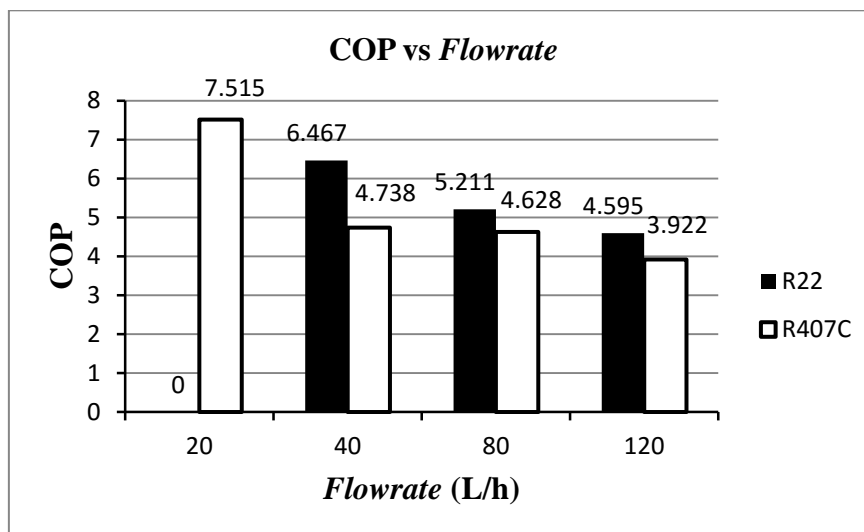
Gambar 3. Kapasitas refrigerasi vs flowrate.



Gambar 4. Daya kompresor vs flowrate.

Pada Gambar 4, diketahui bahwa daya kompresor yang dibutuhkan oleh R407C sebesar 1,887 kJ/s. Dengan demikian hal ini menandakan bahwa kompresor harus bekerja semakin berat untuk mengompres refrigeran R407C agar mengalir ke dalam sistem dibandingkan dengan R22. Hal ini juga mempengaruhi besarnya arus listrik yang dibutuhkan oleh kompresor tersebut dimana dibutuhkan arus listrik yang lebih besar untuk penggunaan refrigeran R407C.

Pada Gambar 5, diketahui bahwa nilai dari koefisien performa atau COP yang dihasilkan oleh refrigeran R407C lebih kecil dibandingkan dengan refrigeran R22. Besarnya nilai COP yang dihasilkan refrigeran R22 dan R407C semakin menurun seiring dengan semakin besarnya *flowrate* yang dihasilkan. Nilai koefisien performa (COP) terkecil didapatkan pada *flowrate* 120L/h dimana untuk R22 sebesar 4,595 dan untuk R407C sebesar 3,922. Sedangkan untuk nilai koefisien performa (COP) terbesar didapatkan pada *flowrate* 20L/h dimana untuk R22 sebesar 0 dan untuk R407C sebesar 7,515. Hal ini menandakan bahwa performa yang dihasilkan oleh refrigeran R407C kurang baik dibandingkan dengan refrigeran R22 yang menggunakan mesin pendingin Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Selain itu, ada kemungkinan bahwa mesin pendingin tersebut tidak cocok menggunakan refrigeran R407C karena telah didesain atau dirancang khusus untuk penggunaan refrigeran R22 oleh pabrik.



Gambar 5. COP vs *flowrate*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dipengujian dengan mesin pendingin berpendingin air ini, didapatkan bahwa penggunaan refrigeran R22 memiliki koefisien performa yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran R407C. Hal ini disebabkan karena penggunaan refrigeran R407C membutuhkan daya kompresor yang lebih besar untuk mengompres refrigeran agar dapat mengalir di dalam sistem. Namun saat pengujian refrigeran R22 pada *flowrate* 20 L/h, didapatkan tekanan pada P1 (sebelum memasuki evaporator) dan tekanan P2 (setelah keluar dari evaporator) bernilai minus. Tekanan yang bernilai minus menandakan bahwa sistem berada dalam kondisi vakum dimana sistem mengalami kekosongan refrigeran. Dalam hal ini, kompresor bekerja sangat pelan sehingga refrigeran yang dialirkan ke dalam sistem juga sangat sedikit sehingga kompresor tersebut sedang bekerja pada batas minimum untuk beroperasi. Hal ini dapat mengakibatkan kompresor mengalami *drop* dimana kompresor berhenti bekerja sehingga sistem juga ikut berhenti. Akibatnya, kinerja dari sistem tidak dapat digambarkan pada diagram p-h. Sehingga koefisien performa yang dihasilkan oleh refrigeran R22 pada *flowrate* 20 L/h tidak diketahui nilainya. Besarnya *flowrate* juga mempengaruhi besarnya nilai kapasitas refrigerasi dan daya kompresor. Besarnya *flowrate* berbanding lurus dengan kapasitas refrigerasi dan daya kompresor. Semakin besar *flowrate* maka semakin besar pula nilai dari kapasitas refrigerasi dan daya kompresor.

Adapun saran yang dapat saya berikan adalah sebaiknya dilakukan juga pengujian dengan menggunakan refrigeran substitusi lainnya seperti MC22, R410A, M059 ataupun M099 untuk dibandingkan COP-nya dengan refrigeran R22. Sehingga bisa didapatkan refrigeran substitusi dengan nilai COP yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan refrigeran R22.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anshori, Mochamad Isa dan Baheramsyah Alam. Analisa Desain dan Peforma Kondensor pada Sistem refrigerasi Absorpsi untuk Kapal Perikanan. *Jurnal ITS*. (Juli 2011)
- [2] Handoko, Juni. *Merawat & Memperbaiki AC Mobil*. Jakarta: Kawan Pustaka, 2008
- [3] Darmawan, Iwan. *Merawat dan Memperbaiki Mobil Bensin Cetakan Kedua*. Jakarta: Niaga Swadaya, 2008
- [4] Kim, S.G., et. al. Experimental Investigation of the Performance of R22, R407C and R410A in Several Capillary Tubes for Air-Conditioners. *International Journal of Refrigeration*. (Maret 2001): 521-531.
- [5] Manual No: TMA-A4LC-CR-1250, *R407C Air Cooled Split System*, ASCON International.
- [6] Metty, Komang Trisna Negara, et. al. Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik pada Sistem Water Chiller dengan Penerapan Metode Cooled Energy Storage. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 4 No. 1 (April 2010): 43-50.
- [7] Minor, Barbara H. and Akimichi Yokozeki. Compressor Performance Analyses of Refrigerants (R22 and R407C) with Various Lubricants in a Heat Pump. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. (Juli 2004): 727.
- [8] Monday, John C., et. al. *Manual on Coating and Lining Methods for Cooling Water Systems in Power Plants*. Philadelphia: ASTM, 1995
- [9] P. N. Ananthanarayanan. *Basic Refrigeration and Air Conditioning Fourth Edition*. India: Tata McGraw-Hill Education, 2013
- [10] Training of Trainers for Refrigeration Technician. *Peralatan Servis dan Retrofit*. Jakarta: Universitas Tarumanagara, 2013
- [11] Vaisman, Igor B. Computational Comparison of R22 and R407C Air Conditioners with Rotary Vane Compressors. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. (1998):382.
- [12] Whitman, Bill, et. al. *Refrigeration & Air Conditioning Technology Seventh Edition*. United States: Cengage Learning. 2012
- [13] <http://dailyinbox.com/refrigerant-chemical-r-22-skyrockets-in-price-inspires-dangerous-knockoffs/>. (Diakses tanggal 26 November 2014).