

Analisis Performansi Sistem *Water Chiller* Setelah Proses *Retrofit R22 menjadi R290 dengan Variasi Massa Pengisian R290*

Sandy Karan¹, Triaji Pangripto Pramudantoro², Rizki Muliawan³

^{1, 2, 3} Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹ E-mail: sandy.karan.tptu420@polban.ac.id

² E-mail: triajipangripto@polban.ac.id

³ E-mail: rizki.muliawan@polban.ac.id

ABSTRAK

Hidrokarbon merupakan refrigeran alami yang memiliki dampak lingkungan yang jauh lebih rendah dibandingkan refrigeran *hydrochlorofluorocarbons* (HCFC) dan *hydrofluorocarbon* (HFC). Penggunaan R290 sebagai refrigeran alternatif dan ramah lingkungan dilakukan karena memiliki nilai *ozone depletion potential* (ODP) nol dan *global warming potential* (GWP) yang rendah. Penelitian ini dilakukan pengujian pada sistem *water chiller* bertujuan agar mengetahui nilai performansi sistem dengan cara membandingkan performansi sistem setelah proses retrofit refrigeran R22 menjadi R290. Variasi massa R290 yang digunakan pada penelitian sebesar 90%, 100%, dan 110% dengan tujuan untuk mengetahui nilai performansi yang lebih baik dan efisien pada sistem *water chiller*. Hasil penelitian diperoleh, bahwa refrigeran R290 memiliki performansi yang lebih baik dan efisien dibandingkan dengan R22 dengan kapasitas pendinginan pada saat menggunakan R22 sebesar 4,232 kW, COP_{actual} sebesar 3,6, daya input sebesar 1175,89 watt, dan konsumsi energi listrik sebesar 1,175 kWh. Pada variasi R290 sebesar 90%, 100%, dan 110% penggunaan variasi yang terbaik berada pada refrigeran R290 variasi 90% dengan nilai kapasitas pendinginan sebesar 4,866 kW, COP_{actual} sebesar 4,25, daya input sebesar 1146,48 watt, dan konsumsi energi listrik sebesar 0,687 kWh.

Kata Kunci

Retrofit, R22, R290, sistem water chiller

ABSTRACT

Hydrocarbons serve as natural refrigerants with significantly lower environmental impact compared to hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) and hydrofluorocarbons (HFCs). The adoption of R290 as an alternative and eco-friendly refrigerant stem from its zero-ozone depletion potential (ODP) and low global warming potential (GWP). This research aims to assess the performance of a water chiller system by comparing its performance post-retrofit from R22 to R290 refrigerant. Variations in R290 mass charge, set at 90%, 100%, and 110%, are studied to determine optimal performance values for the water chiller system. The findings indicate that R290 refrigerant demonstrates superior and more efficient performance compared to R22. While the cooling capacity using R22 was 4.232 kW, with an actual COP_{actual} of 3.6 and electrical energy consumption of 1.175 kWh, the best performance was observed with 90% mass charge of R290, yielding a cooling capacity of 4.866 kW, actual COP_{actual} of 4.25, an input power of 1146.48 watts, and electrical energy consumption of 0.687 kWh.

Keywords

Retrofit, R22, R290, water chiller system

1. PENDAHULUAN

Teknologi refrigerasi terus berkembang, dengan fokus utama pada peningkatan efisiensi energi,

pengurangan emisi gas rumah kaca, dan penggunaan bahan-bahan yang lebih ramah lingkungan. Terobosan inovatif terus bermunculan untuk mengatasi tantangan-

tantangan lingkungan serta kebutuhan akan sistem pendingin yang lebih efisien di berbagai aplikasi.

Salah satu perhatian utama adalah dampak lingkungan seperti *ozone depletion potential* (ODP) dan *global warming potential* (GWP) yang disebabkan oleh penggunaan refrigeran [1].

Refrigeran merupakan suatu zat berupa cairan yang mengalir di refrigerator dan bersirkulasi untuk menghasilkan efek mendinginkan dengan cara penyerapan panas melalui ekspansi dan evaporasi [2].

Pada tahun 1974, telah diamati bahwa CFC dan HCFC bertanggung jawab atas penipisan lapisan ozon. Lapisan ozon adalah perisai pelindung, dan penipisannya mengakibatkan sinar ultraviolet (UV) berbahaya masuk ke atmosfer bumi. Dengan mempertimbangkan efek ini, keputusan diambil mengenai penghapusan bertahap CFC dan HCFC dalam Protokol Montreal tahun 1987 [3].

Hidrokarbon merupakan opsi yang sangat baik sebagai refrigeran alami karena memiliki dampak lingkungan yang minimal, dengan tidak adanya ODP dan memiliki Indeks GWP sebesar 3, yang jauh lebih rendah daripada refrigeran *hydrochlorofluorocarbons* (HCFC) dan *hydrofluorocarbon* (HFC) yang umumnya digunakan saat ini [4]. Refrigeran R290 yang merupakan salah satu refrigeran dari keluarga hidrokarbon dengan nilai ODP dan GWP rendah, sehingga refrigeran R290 dapat menjadi refrigeran alternatif pengganti refrigeran R22.

R290 merupakan senyawa hidrokarbon murni dan tidak mengeluarkan agen dekomposisi beracun saat pembakaran. R290 kompatibel dengan bahan dan pelumas yang digunakan dalam industri refrigerasi dan pendingin udara. Karena kemampuannya yang lebih baik dalam bercampur dengan minyak, pengembalian minyak ke kompresor tidak menjadi masalah [5]. Akan tetapi perlu diperhatikan, bahwa refrigeran hidrokarbon memiliki kekurangan yaitu mudah terbakar (*flammable*) oleh karena itu diperlukan kedisiplinan dalam menggunakannya.

Berbeda jenis refrigeran, berbeda pula karakteristik yang terkandung dalam suatu refrigeran tersebut sehingga berpengaruh terhadap kemampuan dan kinerja mesin pendingin [6]. Pada Tabel 1 dapat dilihat perbandingan karakteristik refrigeran R22 dengan refrigeran R290 [7].

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik R22 dengan R290

Indikator	R22	R290
Formula Kimia	CHClF ₂	C ₃ H ₈
Massa Jenis pada 10°C (kg/m ³)	1246,7	514,7
Temperatur Kritis (°C)	96,14	96,74
Tekanan Kritis (Bar)	49,9	42,51
Normal Boiling Point (°C)	-40,81	-42,11
Berat Molekul (kg/Kmol)	86,47	44,10
ODP	0,055	0
GWP	1810	5

Penelitian yang dilakukan oleh Pramudantoro dan Sumeru [8] tentang pengujian kinerja freezer dengan melakukan proses retrofit R22 menjadi R290, lalu melakukan variasi massa pengisian R290 sebesar 95%, 100%, dan 110%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh, kinerja freezer pada massa pengisian 95% memiliki COP sebesar 2,8, untuk massa pengisian 100% sebesar 2,5, dan untuk massa pengisian 105% sebesar 2,2. Kapasitas pendinginan terbesar dicapai oleh massa pengisian 95%, dan pada massa pengisian 105% justru terjadi penurunan nilai kapasitas pendinginan dan COP. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Pramudantoro dan Dewi [9] tentang pengujian kinerja mesin *cool room* dengan melakukan variasi jumlah pengisian refrigeran R290 sebesar 90%, 100%, dan 110%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh, pada pengurangan pengisian refrigeran sebesar 10% menyebabkan terjadinya keterlambatan *chilling time* selama 90 menit, tekanan kerja menurun sekitar 1 bar, kinerja menurun sebesar 15,4%, dan konsumsi energi listrik menurun sebesar 10,7%. Sedangkan pada saat penambahan 10% terjadi lebih cepatnya *chilling time* selama 10 menit, tekanan kerja tidak mengalami perubahan yang signifikan, kinerja menurun sebesar 0,2%, dan konsumsi energi listrik mengalami peningkatan sebesar 12,4%.

Pada penelitian ini akan diamati perbandingan nilai performansi sistem *water chiller* akibat retrofit R22 menjadi R290 dengan variasi massa pengisian R290. Retrofit refrigeran dilakukan dengan cara *drop in substitute* yaitu mengganti refrigeran asal tanpa mengganti komponen-komponen penyusun mesin pendingin [10]. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai potensi penggunaan R290 sebagai refrigeran alternatif yang ramah lingkungan, dan mengetahui pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat variasi massa pengisian R290, serta mendapatkan variasi R290 yang paling efisien pada sistem *water chiller*.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pengujian pada sistem *water chiller* dengan kapasitas kompresor sebesar 1 PK yang menggunakan refrigeran R22 sebagai refrigeran asal, dengan temperatur evaporasi rancangan sebesar 10°C. Pada saat menggunakan refrigeran R22, jumlah massa pengisian refrigeran R22 disesuaikan berdasarkan temperatur kondensasi sebesar 40°C, dan membutuhkan massa sebanyak 1500 gram. Selanjutnya dilakukan pergantian refrigeran R22 menjadi R290 dengan variasi massa pengisian mulai dari 90%, 100%, dan 110%.

Jumlah massa R290 yang dimasukkan ke sistem *water chiller* mengacu pada volume pengisian yang sama. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa massa jenis refrigeran R22 lebih besar dibandingkan refrigeran R290, maka untuk massa pengisian refrigeran R290 akan lebih kecil. Sistem *water chiller* memiliki rancangan temperatur evaporasi sebesar 10°C, sehingga untuk massa pengisian R290 dilakukan perbandingan massa jenis pada fasa *saturated liquid* dengan membagi massa jenis R290 dan R22 (R290/R22) pada temperatur 10°C. Hasil dari perbandingan massa jenis antara R290 dan R22 dikalikan dengan jumlah massa refrigeran asal (R22) sebesar 1500 gram. Sehingga didapatkan hasil sebesar 620 gram.

Massa pengisian refrigeran R290 sebesar 620 gram merupakan pengisian 100%. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan tiga variasi massa pengisian refrigeran R290, yaitu sebesar 90%, 100%, dan 110%. selanjutnya untuk menentukan pengurangan dan penambahan sebesar 10% secara teoritis adalah $620 \text{ gram} \times 10\% = 62 \text{ gram}$. Maka massa pengisian setiap variasi massa pengisian R290 adalah 558 gram, 620 gram, dan 682 gram.

Parameter yang akan diamati untuk menentukan nilai performansi sistem *water chiller* pada penelitian ini adalah kapasitas pendinginan, *Coefficient of Performance Actual* (COP_{actual}), daya input, dan konsumsi energi listrik. Adapun persamaan untuk menentukan nilai kapasitas pendinginan (Q_e), COP_{actual} , daya input (watt), dan konsumsi energi listrik (kWh) diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$q_e = h_2 \times h_1 \quad (1)$$

$$q_w = h_1 \times h_4 \quad (2)$$

$$\dot{m} = \frac{P_{in}}{q_w} \quad (3)$$

$$Q_e = \dot{m} \times q_e \quad (4)$$

$$COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} \quad (5)$$

$$P_{in} = V \times I \times \cos \varphi \quad (6)$$

$$W = P_{in} \times t \quad (7)$$

Dimana,

q_e = Efek refrigerasi (kJ/kg)

q_w = Kerja kompresi (kJ/kg)

\dot{m} = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

Q_e = Kapasitas pendinginan (kW)

COP_{actual} = *Coefficient of Performance Actual*

P_{in} = Daya input (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

W = Energi listrik (kWh)

t = Waktu (s)

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan selama sistem mengalami tiga kali *cut off* dan data dicatat tiap tiga menit. Adapun alat ukur yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat Ukur yang digunakan

No	Alat ukur
1.	Termometer digital
2.	kWh meter
3.	<i>Manifold gauge</i>
4.	<i>Pressure gauge</i>
5.	Timbangan refrigeran
6.	Watt meter

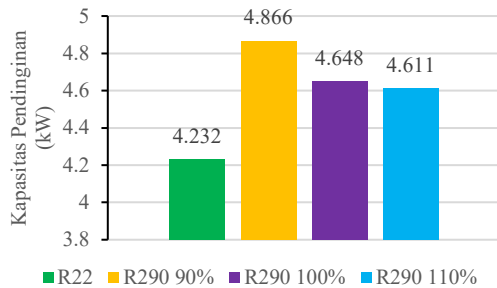
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan yang telah dipaparkan sebelumnya, pada penelitian ini akan diamati 4 (empat) parameter pada sistem *water chiller* akibat variasi massa pengisian R290. Ketiga parameter adalah kapasitas pendinginan, COP_{actual} , daya input, dan konsumsi energi listrik. Selanjutnya pembahasan mengenai parameter tersebut akan dijelaskan pada tiap sub-bab di bawah.

3.1 Kapasitas Pendinginan

Dapat dilihat pada Gambar 1 grafik kapasitas pendinginan pada sistem *water chiller*. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa nilai kapasitas pendinginan tertinggi berada pada R290 variasi 90% dengan nilai sebesar 4,866 kW. Nilai ini lebih tinggi 0,634 kW jika dibandingkan dengan nilai kapasitas pendinginan R22. Pada saat penambahan 10% massa refrigeran R290 yaitu

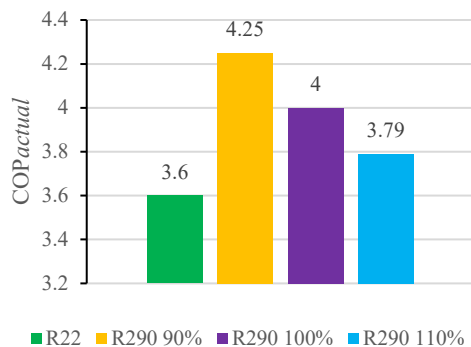
pada variasi 100% dan 110%, nilai kapasitas pendinginan cenderung mengalami penurunan. Jika dibandingkan dengan R290 variasi 90%, nilai variasi 100% mengalami penurunan sebesar 0,218 kW dan nilai variasi 110% sebesar 0,255 kW.



Gambar 1. Grafik Kapasitas Pendinginan pada Sistem *Water Chiller*

3.2 Coefficient of Performance Actual (COP_{actual})

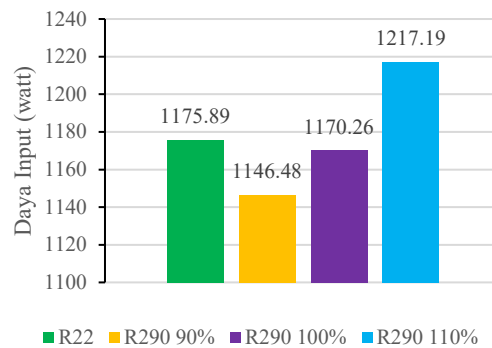
Dapat dilihat pada Gambar 2 grafik COP_{actual} pada sistem *water chiller*. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa nilai COP_{actual} tertinggi berada pada R290 variasi 90% dengan nilai sebesar 4,25. Jika dibandingkan dengan nilai COP_{actual} R22 sebesar 3,6, terdapat selisih sebesar 0,6. nilai efek refrigerasi dan kerja kompresi pada R290 lebih besar dibandingkan R22. Setiap penambahan massa refrigeran sebesar 10%, yaitu variasi 100% dan 110%. Nilai COP_{actual} justru mengalami penurunan masing-masing sebesar 0,25-0,46 jika dibandingkan dengan nilai COP_{actual} R290 variasi 90%. Nilai COP_{actual} paling rendah berada pada R22. Hal ini disebabkan nilai efek refrigerasi dan kerja kompresi R22 yang lebih rendah dibandingkan dengan R290.



Gambar 2. Grafik COP_{actual} pada Sistem *Water Chiller*

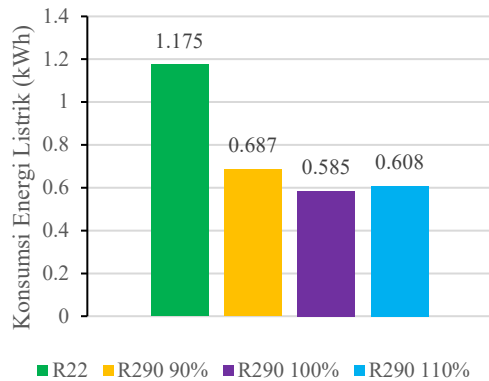
3.3 Daya Input

Dapat dilihat pada Gambar 3 grafik daya input pada sistem *water chiller*. berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya input terbesar berada pada R290 variasi 110% dengan nilai sebesar 1217,19 watt. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan daya input yang dihasilkan R290 variasi lainnya, dan lebih tinggi 41,3 watt dibandingkan R22. Hal ini dapat terjadi, karena jumlah massa pengisian dapat berpengaruh terhadap kinerja kompresor. Pada R290 variasi 110% memiliki massa pengisian yang lebih banyak jika dibandingkan dengan R22 dan R290 variasi lainnya yang mengakibatkan pada saat menggunakan R290 variasi 110% kompresor bekerja lebih keras dan daya input yang dibutuhkan pun akan lebih besar. Nilai daya input terkecil berada pada R290 variasi 90% dengan nilai sebesar 1146,48 watt, lebih rendah 29,38 watt dibandingkan R22.



Gambar 3. Grafik Daya Input pada Sistem *Water Chiller*

Konsumsi energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan (7), dapat dilihat pada Gambar 4 grafik konsumsi energi listrik pada sistem *water chiller*. Berdasarkan hasil perhitungan, bila diasumsikan sistem mengalami tiga kali *cut off* dengan lama operasi selama 4 jam. Konsumsi energi listrik yang paling rendah berada pada variasi R290 100% sebesar 0,585 kWh dengan lama *running time* tanpa *cut off* selama 30 menit. Sedangkan yang tertinggi berada pada R22 sebesar 1,175 kWh dengan lama *running time* tanpa *cut off* selama 60 menit. Pada sistem yang sama R290 memiliki penghematan konsumsi energi listrik lebih tinggi dibandingkan R22.



Gambar 4. Grafik Konsumsi Energi Listrik pada Sistem *Water Chiller*

4. KESIMPULAN

Penelitian dilakukan *retrofit* R22 menjadi R290 dengan memvariasikan massa pengisian refrigeran sebesar 90%, 100%, dan 110% pada sistem *water chiller*. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Kapasitas pendinginan pada sistem *water chiller* dengan nilai terendah berada pada R22 sebesar 4,232 kW, sedangkan nilai tertinggi berada pada R290 variasi 90% sebesar 4,866 kW. Pada penambahan massa 10% selanjutnya justru mengalami penurunan. COP_{actual} pada sistem *water chiller* dengan nilai tertinggi berada pada variasi R290 90% sebesar 4,25 dan nilai terendah berada pada R22 sebesar 3,6. Pada setiap penambahan sebesar 10% yaitu 100% dan 110% justru mengalami penurunan nilai COP_{actual} sebesar 0,25-0,46. Daya input pada R290 variasi 110% memiliki nilai tertinggi dengan nilai sebesar 1217,19 watt. Nilai daya input terkecil berada pada R290 variasi 90% dengan nilai sebesar 1146,48 watt, lebih rendah 29,38 watt dibandingkan R22. Konsumsi energi listrik paling rendah berada pada R290 variasi 100% sebesar 0,585 kWh, dan paling tinggi berada pada R22 sebesar 1,175 kWh. Sistem *water chiller* variasi yang paling tepat adalah variasi R290 90% dengan nilai kapasitas pendinginan sebesar 4,866, COP_{actual} sebesar 4,25, daya input sebesar 1146,48 watt, konsumsi energi listrik sebesar 0,687 kWh. Pengisian massa refrigeran yang rendah dapat memperoleh penghematan mulai dari refrigeran dan daya input yang digunakan. Hal tersebut yang membuat variasi R290 90% lebih efisien dibandingkan variasi R290 yang lain pada sistem *water chiller* ini

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan fasilitas pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. I. Mainil, N. Deswita, A. K. Mainil, and A. Aziz, 'Kondisi Kerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap pada Variasi Massa Refrigeran Hidrokarbon', pp. 63–68, 2020.
- [2] I. Dzulkarnaen *et al.*, 'ANALISIS EFEK REFRIGERASI DAN DAYA KOMPRESI PADA AIRCOOLED CHILLER MENGGUNAKAN REFRIGERAN R404A SEBAGAI REFRIGERAN ALTERNATIF PENGGANTI R22'.
- [3] C. S. Choudhari and S. N. Sapali, 'Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 as a Substitute to R22 in Refrigeration Systems', in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Mar. 2017, pp. 346–352. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.084.
- [4] F. Yudhi Nugraha, A. Saad Yatim, and M. Idrus Alhamid, 'Refrigerant Charge Optimization of Air Conditioning System with Hydrocarbon Refrigerant', 2020. [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=3795847>
- [5] S. Devotta, A. S. Padalkar, and N. K. Sane, 'Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner', *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, no. 4, pp. 594–604, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.09.013.
- [6] E. Purwanto and K. Ridhuan, 'PENGARUH JENIS REFRIGERANT DAN BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KEMAMPUAN KERJA MESIN PENDINGIN', 2014.
- [7] ASHRAE, 'ASHRAE Handbook of Fundamental, SI Edition', 2017.
- [8] T. P. Pramudantoro and Sumeru, 'Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja Freezer', pp. 505–510, 2017.
- [9] T. P. Pramudantoro and K. K. Dewi, 'KAJI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI AKIBAT VARIASI JUMLAH PENGISIAN REFRIGERAN R290 PADA MESIN COOL ROOM', pp. 298–307, 2019, [Online]. Available: <http://prosiding.unimus.ac.id>
- [10] H. Sulistyono, E. Taqwali Berman, A. Wiyono, and N. Diterima, 'INVESTIGASI EKSPERIMENTAL RETROFIT REFRIGERAN PADA ALAT PRAKTIK REFRIGERATOR DENGAN REFRIGERAN PRODUK DOMESTIK YANG RAMAH LINGKUNGAN', 2019. [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jw1>

