

Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja *Freezer*

Triaji Pangripto Pramudantoro, Sumeru

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung¹
*sumeru@polban.ac.id

Abstrak

Refrigeran R22 telah lama digunakan sebagai fluida kerja pada mesin pendingin (*freezer*) maupun pengkondisi udara (AC). Sebagai fluida kerja, secara termodinamika, R22 dapat menghasilkan kinerja yang optimal pada mesin refrigerasi. Namun, kekurangan R22 adalah dari sisi lingkungan, karena masih memiliki nilai ODP (ozone depletion potential) dan GWP (global warming potential) yang masih relatif tinggi. Sehingga penggunaan R22 sebagai fluida kerja harus dihentikan dan diganti dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Salah satu refrigeran pengganti R22 adalah R290. Refrigeran R290 memiliki nilai ODP nol dan nilai GWP yang sangat kecil. Dari sisi tekanan kerja, R290 tidak berbeda jauh dengan R22. Massa pengisian refrigeran R290 hanya sekitar 40% dari massa pengisian R22, hal ini disebabkan karena massa jenis R290 adalah sekitar 40% dari R22. Pada penelitian ini, massa pengisian ideal R290 untuk menggantikan adalah perbandingan massa jenis R290 dengan R22 pada suhu -10°C pada kondisi cair jenuh, yaitu 40,6%. Oleh karena massa pengisian R22 pada *freezer* adalah 286 gram, maka pengisian ideal (100%) adalah $286 \times 40,6\% = 116$ gram. Pengujian kinerja *freezer* dilakukan dengan variasi massa pengisian R290 adalah 95%, 100% dan 105% atau setara dengan massa pengisian 110,2 gram, 116 gram dan 121,8 gram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja *freezer* akan optimal untuk massa pengisian sebanyak 95%. Pada pengisian sebesar ini, COP (coefficient of performance) adalah 2,8. Sedangkan COP untuk pengisian 100% dan 105% adalah 2,5 dan 2,2. Kapasitas pendinginan terbesar juga dicapai oleh massa pengisian 95%. Massa pengisian 105% justru akan menurunkan kapasitas pendinginan dan COP *freezer*.

Kata Kunci: Penggantian refrigeran, *freezer*, ramah lingkungan, R22, R90, COP.

1. Pendahuluan

Freezer adalah mesin refrigerasi yang memiliki suhu evaporasi di bawah 0°C. *Freezer* untuk keperluan rumah tangga, suhu evaporasi umumnya sekitar -5°C sampai -10°C. Fungsi dari *freezer* adalah untuk menyimpan daging atau produk lainnya agar dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama.

Refrigeran yang banyak digunakan pada *freezer* adalah R134a dan R22. Kedua jenis fluida kerja ini tidak ramah lingkungan, karena keduanya memiliki nilai GWP yang cukup tinggi (Devotta et al., 2005; Torella et al., 2010). Dari sisi lingkungan, salah satu refrigeran terbaik sebagai pengganti R22 adalah R290. Selain ramah lingkungan R290 juga tersedia melimpah di alam, karena R290 adalah refrigeran alami. Oleh karena ketersediaannya melimpah, harga R290 relatif murah. Batas waktu penghapusan penggunaan R22 sebagai refrigeran adalah pada tahun 2020 pada negara-negara maju dan pada tahun 2030 untuk negara-negara berkembang (Arora dan Kausik, 2008).

Nama lain R290 adalah propana, keluarga dari hidrokarbon. Refrigeran dari keluarga hidrokarbon

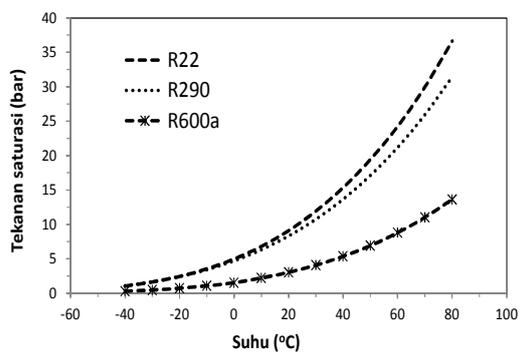
lainnya yang digunakan sebagai pengganti R134a adalah isobutana (R600a). Oleh karena tekanan kerja yang kurang sesuai, penggantian R22 dengan R600a akan menghasilkan penurunan kinerja pada sistem yang cukup signifikan. Hubungan tekanan saturasi dengan suhu terlihat seperti Gambar 1. Pada gambar terlihat bahwa tekanan saturasi untuk R290 hampir berimpit dengan R22 untuk hampir semua suhu, sedangkan tekanan saturasi untuk R600a relatif jauh di bawah R22 untuk suhu yang sama. Ini artinya, tekanan kerja R22 hampir sama dengan R290, sedangkan tekanan kerja R22 akan jauh lebih tinggi dari R600a. Oleh karena memiliki tekanan kerja yang hampir sama, R290 sering digunakan sebagai refrigeran pengganti R22 pada *freezer* maupun AC (Lorentzen, 1995).

Perbandingan sifat-sifat antara R22 dan R290 terlihat pada Tabel 1. Pada tabel terlihat bahwa R22 masih memiliki nilai ODP sebesar 0,055, sedangkan R290 nilai ODP-nya nol. Nilai GWP R22 juga jauh lebih tinggi, yaitu 1700, dibandingkan dengan R290, yang nilai GWP-nya

hanya 3 (tiga). Untuk itu, penggantian R22 dengan R290 cukup mendesak, mengingat kerusakan lingkungan oleh ODP dan GWP sudah cukup parah. Penipisan lapisan ozon dapat meningkatkan penyakit kanker kulit dan katarak, sedangkan pemanasan global akan mencairkan es di kutub dan merubah iklim dunia cukup signifikan. Perubahan iklim dapat berdampak pada gagal panen dan bencana-bencana lainnya.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa *normal boiling point* (NBP), *critical pressure* dan *critical temperature* hampir berdekatan. Oleh karena itu, beberapa ilmuwan merekomendasikan penggantian R22 dengan R290 pada mesin-mesin refrigerasi (Lorentzen, 1995; Arora dan Kausik, 2008; Devotta et al., 2010).

Salah satu kekurangan dari R290 adalah sifat mudah terbakar (*flammable*). Pada konsentrasi tertentu, R290 bila bercampur dengan udara dan terdapat sumber api, maka berpotensi terbakar. Batas bawah konsentrasi mulai terbakar disebut *lower explosive limit* (LEL), sedangkan batas atas dinamakan *upper explosive limit* (UEL). Pada Tabel 1 terlihat bahwa LEL dan UEL untuk R290 adalah 2,12 dan 9,5. Artinya, bila konsentrasi R290 di udara kurang dari 2,1% dan lebih dari 9,5%, tidak akan terjadi potensi kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran R290.



Gambar 1. Hubungan tekanan saturasi dengan suhu untuk refrigeran R22, R290 dan R600a.

Tabel 1: Perbandingan sifat-sifat R22 dengan R290.

Sifat-sifat	R22	R290
Massa jenis at -10°C	1,318	0,535
Normal boiling point (°C)	-40,6	-42,1
Critical temperature (°C)	98	96,8
Critical pressure (MPa)	4,07	4,25
LEL/UEL (% Vol)	--	2,1/9,5
ODP	0,055	0
GWP (100 years)	1700	3

Devotta et al. (2005) melakukan pengujian penggantian R22 dengan R290 pada AC *window*. Hasil pengujiannya melaporkan bahwa penggantian R22 dengan R290 dapat meningkatkan COP 7,9%, namun menurunkan kapasitas pendinginan sebesar 6,6%. Penggantian R22 dengan R290 pada AC *split* dilakukan oleh Zhou dan Zhang (2010). Mereka melakukan pengujian dengan memvariasikan

diameter gulungan pipa kapiler. Hasil pengujiannya melaporkan bahwa untuk diameter gulungan pipa kapiler yang optimal akan meningkatkan kinerja sistem sebesar 8,5%. Penelitian tentang penggantian R22 dengan R290 selanjutnya dilakukan oleh Xiao et al. (2006) pada AC *split*. Pada penelitiannya, mereka melakukan massa pengisian R290 sebanyak 50% dari massa pengisian R22. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kinerja sebesar 12,6% namun kapasitas pendinginan turun sebesar 2,8%. Pengujian penggantian R22 dengan R290 pada *freezer* dengan suhu evaporasi -25°C dilakukan oleh Choudhari dan Sapali (2017). Hasil penelitiannya serupa dengan fenomena yang terjadi pada pengkondisi udara, yaitu terjadi peningkatan kinerja (COP) dan terjadi sedikit penurunan kapasitas pendinginan.

Walaupun terjadi penurunan kapasitas pendinginan pada penggantian fluida kerja R22 dengan R290 pada pengkondisi udara (AC) maupun mesin pendingin (*freezer*), namun karena R290 jauh lebih ramah lingkungan, maka penggantian R22 dengan R290 pada AC maupun *freezer* harus segera dilakukan. Oleh karena, bila tidak segera dilakukan, pemanasan global dari emisi R22 akan terus berlangsung. Pada penelitian ini akan diamati perubahan kinerja pada *freezer* akibat penggantian R22 dengan R290 dengan memvariasikan massa pengisian R290. Dari penelitian ini diharapkan didapatkan massa pengisian yang optimal R290 sebagai pengganti R22 agar didapatkan peningkatan kinerja yang optimal.

2. Metode

Pengujian pada penelitian ini dilakukan pada *freezer* dengan kapasitas kompresor sebesar 0,75 HP yang awalnya menggunakan R22 sebagai fluida kerja, dengan suhu evaporasi -10°C. Pada saat menggunakan R22, pengisian massa refrigeran R22 adalah sebanyak 286 gram. Selanjutnya R22 dikeluarkan dari *freezer* dan kemudian diganti dengan R290 (propana) dengan variasi massa pengisian 95%, 100% dan 105% dari massa pengisian ideal.

Dalam sistem refrigerasi, massa pengisian pada penggantian refrigeran umumnya mengacu pada volume pengisian yang sama. Oleh karena massa jenis R22 lebih besar dari R290, sehingga untuk volume yang sama, maka massa pengisian R290 akan lebih kecil. Oleh karena *freezer* yang dirancang memiliki suhu evaporasi -10°C, maka massa pengisian refrigeran R290 adalah perbandingan massa jenis pada saturasi *liquid* R290 dibagi dengan R22 (R290/R22) pada suhu -10°C. Hasil perbandingan massa jenis R290

dengan R22 pada suhu -10°C tersebut adalah 40,6%.

Oleh karena massa pengisian dengan R22 pada freezer adalah 286 gram, maka massa pengisian R290 teoritis adalah $286 \times 40,6\% = 116$ gram. Selanjutnya massa pengisian 116 gram disebut pengisian ideal atau 100%. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi massa pengisian, yaitu 95%, 100% dan 105% dari 166 gram, atau setara dengan 110 gram, 116 gram dan 121,8 gram.

Perubahan parameter pada freezer yang akan diamati akibat variasi massa pengisian R290 pada penelitian ini adalah kecepatan penurunan suhu di dalam kabin, kapasitas pendinginan, daya input pada kompresor, konsumsi energi listrik dan *coefficient of performance* (COP). Persamaan untuk menentukan kapasitas pendinginan (Q_e), daya input kompresor (W), konsumsi energi listrik (kWh) dan COP adalah dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3) dan (4).

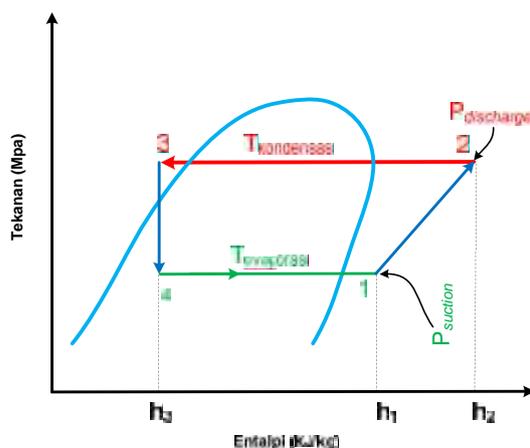
$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (1)$$

$$W = V \cdot I \quad (2)$$

$$kWh = W \cdot t \quad (3)$$

$$COP = \frac{Q_e}{W} \quad (4)$$

dimana h_1 dan h_4 adalah entalpi pada keluaran dan masukan evaporator yang nilainya dicari dengan menggunakan diagram P-h (pressure-entalpi) berdasarkan data pengukuran, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Selanjutnya, V , I dan t adalah tegangan listrik, arus listrik dan lamanya freezer beroperasi (dalam satuan jam).



Gambar 2. Penggambaran siklus refrigerasi freezer pada diagram P-h.

Pengambilan data dilakukan selama 240 menit (4 jam) dan dicatat tiap lima menit. Akurasi alat ukur

yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Akurasi alat ukur yang digunakan.

No	Alat Ukur	Akurasi
1.	Termometer	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
2.	Tekanan tinggi	$\pm 0,1$ bar
3.	Tekanan rendah	$\pm 0,05$ bar
4.	Voltmeter	$\pm 0,1$ V
5.	Ammeter	$\pm 0,1$ A

3. Hasil dan Pembahasan

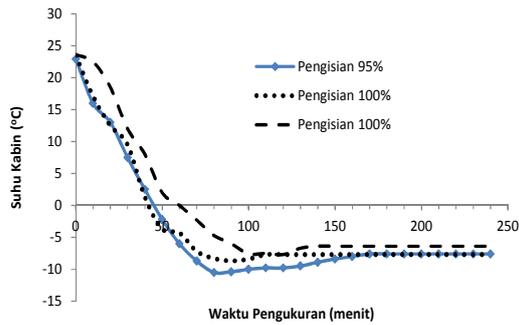
Seperti yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya, pada penelitian ini akan diamati 5 (lima) parameter pada freezer akibat variasi massa pengisian R290. Kelima parameter tersebut adalah kecepatan penurunan suhu pada kabin, kapasitas pendinginan, daya input, konsumsi energi listrik dan COP. Pembahasan tiap perubahan parameter akan dijelaskan tiap sub-bab di bawah.

3.1 Penurunan Suhu Kabin

Laju atau kecepatan penurunan suhu pada kabin mengindikasikan besarnya kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh mesin pendingin. Semakin cepat laju penurunan suhu kabin, semakin besar kapasitas yang dihasilkan oleh mesin pendinginan, dan sebaliknya. Gambar 3 melukiskan penurunan suhu terhadap waktu. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kecepatan penurunan suhu tercepat dicapai oleh pengisian 95%, kemudian diikuti 100%, kemudian 105%.

Dari Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa ternyata massa pengisian ideal (100%) tidak menghasilkan kapasitas pendinginan yang optimal. Besarnya kapasitas pendinginan yang optimal dihasilkan oleh massa pengisian 95%. Bila massa pengisian lebih dinaikkan menjadi 105%, kapasitas pendinginan justru semakin menurun. Untuk itu, pada proses penggantian refrigeran R22 dengan R290 pada freezer disarankan massa pengisian tidak lebih dari 100%. Massa pengisian yang optimal adalah 95% agar dihasilkan peningkatan kapasitas pendinginan yang optimal.

Laju penurunan suhu pada massa pengisian 95% hampir sama dengan 100%, perbedaannya pada suhu minimum yang dicapainya. Pada massa pengisian 95%, suhu terendah adalah $-10,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu terendah untuk massa pengisian 100% adalah $-8,7^{\circ}\text{C}$. Fenomena ini adalah keunggulan lainnya pengisian 95% dibanding dengan pengisian 100%. Massa pengisian lebih dari 100% justru akan menyebabkan kinerja mesin pendingin menurun.



Gambar 3. Kecepatan penurunan suhu pada kabin.

3.2 Kapasitas Pendinginan

Pada Gambar 4 terlihat kapasitas pendinginan dari freezer untuk tiga variasi massa pengisian refrigeran R290. Kapasitas pendinginan untuk massa pengisian 95%, 100% dan 105% adalah 1740 W, 1646 W dan 1540 W. Pada gambar terlihat bahwa kapasitas pendinginan terbesar dicapai untuk massa pengisian 95%. Massa pengisian 95% adalah setara dengan pengisian 110,2 gram R290. Dari hasil pengujian ternyata didapat bahwa kapasitas pendinginan pada massa pengisian 95% lebih besar dibandingkan dengan massa pengisian 100%.

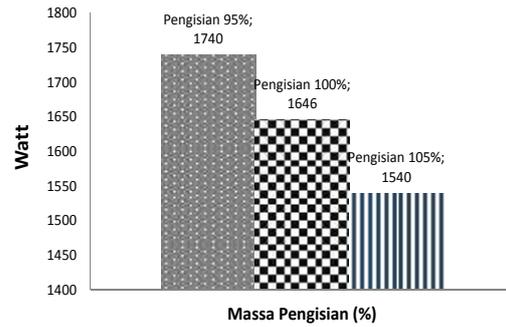
Hasil yang terdapat pada Gambar 4 membenarkan fenomena yang terjadi pada kecepatan penurunan suhu seperti yang terlihat pada Gambar 3. Persentase peningkatan kapasitas pendinginan untuk massa pengisian 95% dan 100% dihitung dengan persamaan (5), yaitu,

$$Qe_{imp} = \frac{Qe_{95\%} - Qe_{100\%}}{Qe_{95\%}} \quad (5)$$

$$= \frac{(1740 - 1646)}{1740} = 5,4\%$$

dimana *imp* adalah *improvement* (peningkatan).

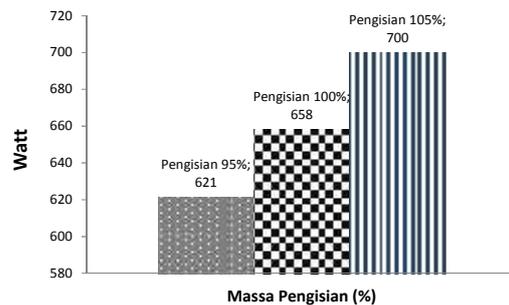
Berdasarkan perhitungan di atas, pada pengisian 95% dapat meningkatkan kapasitas pendinginan sebesar 5,4%. Dari sisi biaya dan lingkungan, pengisian 95% akan sedikit menghemat dan dapat akan mengurangi potensi emisi R290. Meskipun R290 memiliki nilai GWP yang rendah, namun bila kuantitas emisi sangat besar, maka juga berpotensi menyumbang pemanasan global.



Gambar 4. Kapasitas pendinginan pada freezer untuk tiga variasi massa pengisian.

3.3 Daya Input

Gambar 5 menunjukkan daya input freezer untuk tiga variasi massa pengisian. Daya input untuk massa pengisian 95%, 100% dan 105% adalah 621 W, 658 W dan 700 W. Pada gambar terlihat bahwa semakin besar massa pengisian maka semakin tinggi pula daya input pada kompresor. Hal ini bisa dimengerti, karena semakin besar massa pengisian, maka semakin besar daya yang diperlukan oleh kompresor untuk mensirkulasikan refrigeran.



Gambar 5. Daya input pada freezer untuk tiga variasi massa pengisian.

Dari sisi konsumsi energi listrik, daya input yang semakin besar akan meningkatkan konsumsi energi listrik. Namun, bila peningkatan daya input tidak disertai peningkatan kapasitas pendinginan maka freezer menjadi tidak efisien. Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada pengisian 105% justru menghasilkan kapasitas pendinginan yang paling kecil dibandingkan dengan pengisian lainnya. Artinya pada massa pengisian 105% kerja freezer semakin tidak efisien.

Pada Gambar 5 juga terlihat bahwa daya input terendah adalah untuk massa pengisian 95%. Pada massa pengisian ini (95%), kapasitas pendinginan freezer adalah yang terbesar (Gambar 4). Dengan kata lain, pada massa pengisian 95%, freezer bekerja paling efisien, karena dengan daya input yang terkecil, namun menghasilkan kapasitas pendinginan yang terbesar. Persentase penurunan daya input pada massa pengisian 95% terhadap massa pengisian

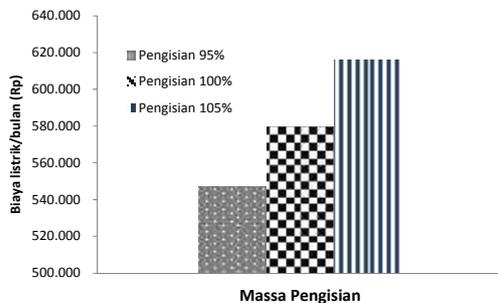
100% dihitung dengan persamaan (6) di bawah ini,

$$W_{imp} = \frac{W_{100\%} - W_{95\%}}{Qe_{100\%}} \quad (6)$$

$$= \frac{(658 - 621)}{658} = 5,6\%$$

Berdasarkan perhingan di atas, persentase penurunan daya input dari massa pengisian 95% dengan 100% adalah 5,6%.

Konsumsi energi listrik dapat dihitung dengan persamaan (3). Bila diasumsikan *freezer* selama satu hari (24 jam) beroperasi selama 20 jam dan dengan biaya listrik per kWh adalah Rp. 1.467,28, maka biaya listrik untuk *freezer* tersebut selama satu bulan terlihat pada Gambar 6. Pada gambar terlihat bahwa konsumsi energi listrik perbulan pada *freezer* untuk berbagai massa pengisian adalah Rp. 547.085, Rp. 579.534 dan Rp. 616.258 untuk massa pengisian 95%, 100% dan 105%.

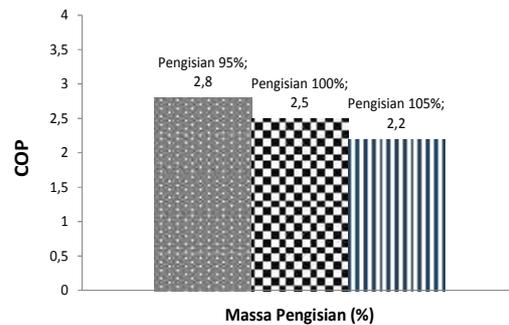


Gambar 6. Konsumsi energi listrik per bulan untuk tiga variasi massa pengisian.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa perbedaan pembayaran energi listrik per bulan untuk tiga variasi massa pengisian cukup signifikan, yaitu sekitar Rp. 30 ribu untuk tiap peningkatan massa pengisian sebesar 5%.

3.4 Coefficient of Performance (COP)

Nilai COP adalah parameter yang paling umum digunakan untuk menunjukkan kinerja pada mesin refrigerasi. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai COP, maka semakin efisien mesin refrigerasi tersebut. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai COP tertinggi dan terendah dicapai oleh massa pengisian 95% dan 105%, yaitu 2,8 dan 2,2. Nilai COP dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Nilai COP tertinggi dicapai oleh massa pengisian 95%. Tingginya nilai COP pada massa pengisian 95% dikarenakan pada pengisian ini dihasilkan kapasitas pendinginan terbesar (Gambar 4) dengan daya input terkecil (Gambar 5).



Gambar 7. COP pada freezer untuk tiga variasi massa pengisian.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa COP untuk massa pengisian 95% lebih tinggi dibanding massa pengisian 100%. Persentase peningkatan COP dari massa pengisian 95% ke 100% adalah sebesar 10,7%, seperti yang terlihat pada persamaan (7) di bawah ini.

$$COP_{imp} = \frac{COP_{95\%} - COP_{100\%}}{COP_{95\%}} \quad (7)$$

$$= \frac{(2,8 - 2,5)}{2,8} = 10,7\%$$

4. Kesimpulan

Pengujian untuk mengamati pengaruh massa pengisian R290 sebagai pengganti R22 pada *freezer* telah dilakukan. Variasi massa pengisian yang diuji pada penelitian ini adalah 95%, 100% dan 105% dengan acuan perbandingan massa jenis R290 terhadap R22 pada suhu -10°C . Berdasarkan pengujian, massa pengisian yang menghasilkan kinerja optimal adalah untuk massa pengisian 95%. Pada massa pengisian 95%, *freezer* menghasilkan kapasitas pendinginan terbesar dan daya input terkecil. Pada massa pengisian 95%, *freezer* memiliki nilai COP tertinggi. Peningkatan COP untuk massa pengisian 95% dengan 100% adalah sebesar 10,7%. Berdasarkan pengujian dapat disimpulkan bahwa pada penggantian refrigeran R22 dengan R290 pada *freezer* dengan suhu evaporasi -10°C , kinerja sistem akan optimal bila massa pengisian adalah 95%.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiaya oleh Politeknik Negeri Bandung melalui skema dana Penelitian Mandiri tahun 2017. Tim peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara atas sarana dan prasarana yang dapat dimanfaatkan dalam menunjang pengambilan data.

Daftar Pustaka

- Arora, A., Kaushik, S. (2008). Theoretical analysis of a vapour compression refrigeration system with R502, R404A and R507A. *International Journal of Refrigeration*, 31: p. 998-1005.
- Choudhari, C.S., Sapali, S.N., (2017). Performance investigation of natural refrigerant R290 as a substitute to R22 in refrigeration system. *Energy Procedia*, 87: p. 346-352.
- Devotta, S., Padalkar, A., Sane, N. (2005). Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner. *International Journal of Refrigeration*, 28: p. 594-604.
- Lorentzen, G. (1995). The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament. *International Journal of Refrigeration*, 18: p. 190-197.
- Torrella, E., Cabello, R., Sánchez, D., Larumbe, J., Llopis, R. (2010). On-site study of HCFC-22 substitution for HFC non-azeotropic blends (R417A, R422D) on a water chiller of a centralized HVAC system. *Energy and Buildings*, 42: p. 1561-1566.
- Xiao, H.H., Zhang, T., Hu, Y., (2006). Experimental research on performance of small room air conditioner with R290. *Journal of Refrigeration*, 2: p. 26-30.
- Zhou, G., Y. Zhang, Y., (2010). Performance of a split-type air conditioner matched with coiled adiabatic capillary tubes using HCFC22 and HC290, *Applied Energy*, 87: p. 1522-1528.