Kaji Eksperimental *Retrofitting* R22 Menjadi R290 Berdasarkan Variasi Massa Pengisian R290 Terhadap Kinerja *Mini Brine Chiller*

Dini Hayatun Nufus[1], Apip Badarudin[1], Luga Martin Simbolon[1]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*
E-mail : dini.hayatun.tptu421@polban.ac.id
E-mail : apipbdr@polban.ac.id
E-mail : lugamartin@polban.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan refrigeran R22 telah digunakan sejak dahulu sebagai fluida kerja pada sistem refrigerasi kompresi uap. Refrigeran R22 merupakan refrigeran jenis HCFC yang dapat merusak lapisan ozon karena memiliki zat klorin yang berpotensi pemanasan global yang tinggi. Oleh karena itu, salah satu refrigeran alternatif untuk menggantikannya yaitu R290, karena memiliki tekanan kerja yang sebanding dengan R22. Refrigeran R290 merupakan jenis refrigeran HC murni/alami yang ramah lingkungan serta memiliki nilai ODP 0 (nol) dan GWP yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *mini brine chiller* setelah pergantian refrigeran R22 menjadi R290 berdasarkan variasi massa pengisian R290 sebesar 90%, 100%, dan 110% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap COP, efisiensi, serta kapasitas pendinginan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, COP_{actual} dengan nilai tertinggi yaitu pada saat menggunakan R290 variasi 90% sebesar 4,6 dengan efisiensi sistem 80,7%. Sedangkan untuk kapasitas pendinginan tertinggi yaitu pada saat menggunakan R22 yaitu sebesar 2,5 kW. Namun jika dibandingkan dengan R290, kapasitas pendinginan yang lebih mendekati dengan R22 yaitu pada saat menggunakan R290 variasi 90% sebesar 2,1 kW. Selain itu, konsumsi energi listrik yang dihasilkan saat menggunakan R290 variasi 90% memiliki nilai yang lebih rendah sebesar 0,827 kWh, sehingga R290 variasi 90% lebih efisien dan lebih menghemat energi listrik.

Kata Kunci
Mini Brine Chiller, Retrofit, R22, R290

The use of R22 refrigerant has been used since long ago as a working fluid in vapor compression refrigeration systems. R22 refrigerant is a type of HCFC refrigerant that can damage the ozone layer because it has chlorine which has the potential to warm the world. Therefore, one alternative refrigerant to replace it is R290, because it has a working pressure comparable to R22. R290 refrigerant is a type of pure/natural HC refrigerant that is environmentally friendly and has an ODP value of 0 (zero) and low GWP. This study aims to determine the performance of the mini brine chiller after changing the R22 refrigerant to R290 based on variations in the R290 filling mass of 90%, 100%, and 110% to determine its effect on COP, efficiency, and ignition capacity. Based on the results of the study, the highest COP_{actual} value is when using R290 variation 90% of 4.6 with a system efficiency of 80.7%. Meanwhile, the highest cooling capacity is when using R22, which is 2.5 kW. However, when compared to R290, the cooling capacity that is closer to R22 is when using R290 90% variation of 2.1 kW. In addition, the consumption of electrical energy produced when using R290 90% variation has a lower value of 0.827 kWh, so R290 90% variation is more efficient and saves more electrical energy.

Keywords
Mini Brine Chiller, Retrofit, R22, R290

1. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi sistem refrigerasi semakin tumbuh dan berkembang dalam kehidupan. Kemajuan ini mendorong manusia untuk menciptakan inovasi yang dapat meningkatkan kualitas hidup dalam berbagai sektor, termasuk industri, komersial, dan rumah tangga. Namun, perkembangan teknologi refrigerasi tidak terlepas dari tantangan lingkungan dan efek rumah kaca.

Refrigeran digunakan sebagai fluida kerja pada sistem refrigerasi sebagai penukar panas/kalor. Penggunaan refrigeran *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC) dapat memberikan dampak buruk/negatif terhadap lingkungan, terutama terkait penggunaan refrigeran konvensional seperti R22 (1). Refigeran R22 diketahui memiliki kandungan klorin yang berpotensi pemanasan global yang tinggi dan dapat merusak lapisan ozon (2).

Dari segi lingkungan, salah satu alternatif refrigeran untuk menggantikan R22 yaitu refrigeran R290 (3) . Refrigeran R290 merupakan refrigeran *hydrocarbon* (HC) murni/alami yang lebih ramah lingkungan dan memiliki nilai GWP nol dan ODP yang rendah yaitu sebesar 3 (tiga) (4) . Refrigeran R290 memiliki sifat termodinamika yang sama dengan R22 seperti tekanan kerja yang sebanding, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti refrigeran R22 (5). Selain itu, penggunaan R290 dapat membantu untuk memenuhi regulasi internasional seperti Konvensi Wina pada tahun 1985 dan Protokol Montreal pada tahun 1987 (6).

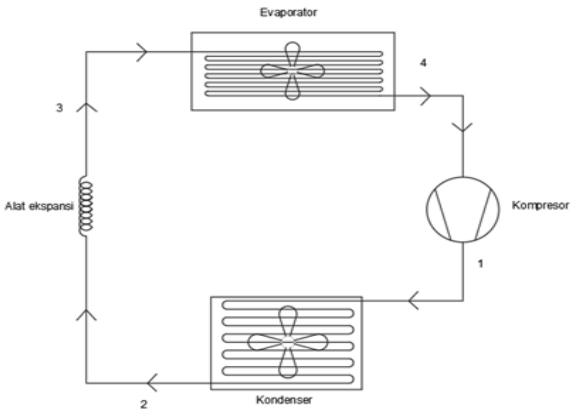
Sistem pengkondisi udara yang digunakan yaitu *mini brine chiller* yang menggunakan refrigeran R22 dan merupakan sistem refrigerasi dengan kompresi uap. Fungsi utama

refrigeran pada sistem yang digunakan adalah untuk mendinginkan refrigeran sekunder yaitu air yang telah dicampur dengan *ethylene glycol* pada sisi evaporator yang ada di dalam tangki/*heat exchanger*, selanjutnya refrigeran sekunder yang telah didinginkan akan didistribusikan ke *Fan Coil Unit* (FCU).

Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan *retrofitting* atau pergantian dari refrigeran R22 menjadi R290 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja sistem *mini brine chiller* dengan variasi massa pengisian refrigeran R290 sebesar 90%, 100%, dan 110%. Penelitian ini akan diperoleh data perbandingan dari kinerja sistem tersebut seperti *Coefficient of Performance* (COP), efisiensi energi, konsumsi daya listrik dan kapasitas pendinginan antara refrigeran R22 dan R290 pada sistem yang sama. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai refrigeran alternatif pengganti R22 yang lebih ramah lingkungan dan dapat mengetahui pengaruh variasi massa pengisian R290, serta mengetahui nilai variasi massa pengisian R290 yang lebih efisien terhadap kinerja sistem *mini brine chiller.*

2. TINJAUAN PUSTAKA

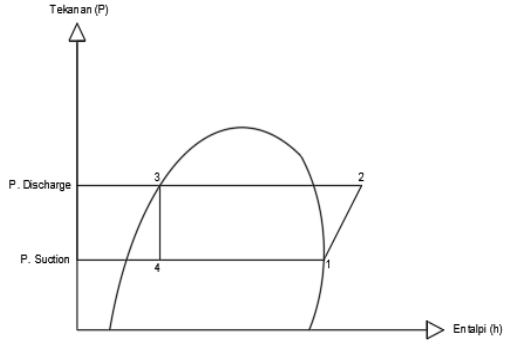
2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap



Gambar 1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Salah satu sistem refrigerasi yang sering digunakan yaitu sistem refrigerasi kompresi uap. Sistem ini memanfaatkan perpindahan kalor melalui refrigeran. Pada tekanan dan temperatur saturasi rendah, kemudian fasa pada refrigeran akan berubah dari cair menjadi uap dengan cara menarik panas atau kalor dari suatu ruangan yang akan didinginkan (7). Sedangkan pada tekanan dan temperatur saturasi tinggi, fasa pada refrigeran akan berubah dari uap menjadi cair dengan cara melepas panas ke lingkungan yang tidak dikondisikan (8). Dapat dilihat untuk Gambar 1 dan Gambar 2 merupakan siklus refrigerasi kompresi uap.

Berdasarkan gambar tersebut, proses sistem refrigerasi kompresi uap sederhana memiliki 4 (empat) proses utama, yaitu proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi, dan proses evaporasi (9).



Gambar 2. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram P-h

2.2 Perbandingan Refrigeran R22 dan R290

Refrigeran R22 merupakan jenis refrigeran HCFC terdiri dari hidrogen, klorin, fluor, dan karbon yang dapat menyebabkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global (10). Sedangkan refrigeran R290 merupakan jenis refrigeran HC yang memiliki ODP nol dan GWP rendah, sehingga termasuk cairan alami yang ramah lingkungan. Senyawa ini juga kompatibel dengan material dan pelumas yang umum digunakan dalam industri pendinginan (11). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan refrigeran R290 karena dapat menjadi alternatif sebagai pengganti R22. Namun, kekurangan utama dari refrigeran hidrokarbon seperti R290 adalah sifatnya yang mudah terbakar (12). Dapat dilihat pada Tabel 1 yang merupakan perbandingan karakteristik pada refrigeran R22 dengan R290 (13).

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Refrigeran R22 dengan R290

Karakteristik	R22	R290
Formula Kimia	$CHClF_2$	C_3H_8
Jenis Refrigeran	HCFC	HC
Density at 0℃ (kg/m^3)	1295	533,9
Molecular Mass (g/mol)	86,5	44,1
Freezing Point (℃)	-157,42	-187,62
Temperatur Kritis (℃)	96,145	96,74
Tekanan Kritis (Bar)	49,9	42,512
Normal Boiling Point (℃)	-40,81	-42,11
ODP	0,055	0
GWP	1810	5
Safety Group	A1	A3

Retrofit merupakan proses penggantian bahan pendingin atau refrigeran pada suatu sistem pendingin (14). Proses *retrofit* ini dilakukan tanpa mengganti komponen mekaniknya (*drop in subtitute*) (15).

3. METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan sistem *mini brine chiller* dengan kapasitas kompresor 3/4PK. Sistem ini pada dasarnya merupakan sistem refrigerasi kompresi uap yang telah dimodifikasi dari AC *split wall mounted* yang memiliki dua *indoor unit* yang berfungsi sebagai FCU. Pada sistem ini evaporator yang digunakan yaitu *shell and helix coil* yang terhubung dengan *condensing unit*. Evaporator ini berfungsi untuk mendinginkan produk (refrigeran sekunder), kemudian didistribusikan ke FCU. Sistem ini akan

menggunakan dua jenis refrigeran primer yaitu R22 dan kemudian di *retrofit* dengan R290 berdasarkan variasi massa pengisian R290 sebesar 90%, 100%, dan 110%. Dapat dilihat pada Gambar 3 yang merupakan sistem yang digunakan.

Gambar 3. Sistem *Mini Brine Chiller*

Adapun bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah refrigeran R22, R290, dan refrigeran sekunder (produk yang didinginkan). Jumlah massa pengisian refrigeran pada saat menggunakan R22 yaitu sebanyak 470 gram. Kemudian, untuk mengetahui jumlah massa refrigeran R290 yang akan dimasukkan kedalam sistem tersebut ditentukan dengan cara melihat perbandingan massa jenis (*density*) refrigeran R290 dan R22 pada temperatur evaporasi sistem yaitu 0 ℃ dan fasa yang sama, lalu kalikan hasilnya dengan massa pengisian R22 sebesar 470 gram yang telah dimasukkan kedalam sistem, sehingga didapatkan hasil sebesar 194 gram.

Massa pengisian refrigeran yang telah didapatkan sebesar 194 gram tersebut merupakan jumlah pengisian refrigeran R290 untuk variasi 100% atau pengisian yang sebanding dengan R22 yang telah diisi. Sedangkan untuk pengisian variasi 90% dan 110% dilakukan penambahan dan pengurangan sebesar 10%, dengan cara teoritis yaitu massa pengisian R290 variasi 100% sebesar 194 gram dikalikan dengan 10%, lalu didapatkan hasil sebesar 19,4 gram. Maka, untuk pengisian refrigeran R290 variasi 90% dan 110% yaitu sebesar 174 gram dan 214 gram. Dapat dilihat pada Tabel 2 yang merupakan bahan dan jumlah yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Bahan dan Jumlah yang digunakan

Bahan	Jumlah
Refrigeran R22	470 gram
Refrigeran R290 variasi 90%	174 gram
Refrigeran R290 variasi 100%	194 gram
Refrigeran R290 variasi 110%	214 gram
Produk (Refrigeran Sekunder)	20 liter

3.1 Parameter yang diukur

Parameter yang akan diukur pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Tekanan *Suction* (Bar$_{absolute}$)
2. Tekanan *Discharge* (Bar$_{absolute}$)
3. Temperatur *Suction* (℃)
4. Temperatur *Discharge* (℃)
5. Temperatur *Out* Kondenser (℃)
6. Temperatur Produk (Refrigeran Sekunder) (℃)
7. Temperatur Kabin (℃)
8. Temperatur Lingkungan (℃)
9. Arus (Ampere)
10. Tegangan (Volt)
11. Faktor Daya (cos φ)

Adapun parameter yang diamati untuk menentukan performansi sistem *mini brine chiller* diantaranya yaitu COP$_{actual}$, efisiensi sistem, kapasitas pendinginan, serta konsumsi energi listrik. Adapun persamaan untuk mencari nilai COP$_{actual}$, efisiensi sistem, kapasitas pendinginan, serta konsumsi energi listrik, yaitu sebagai berikut.

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (1)$$

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (2)$$

$$COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} \quad (3)$$

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

$$\eta = \frac{COP_{actual}}{COP_{carnot}} \, x \, 100\% \quad (5)$$

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

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

$$\dot{m} = \frac{P_{in}}{q_w} \quad (8)$$

$$Q_e = \dot{m} \times q_e \quad (9)$$

Dimana,

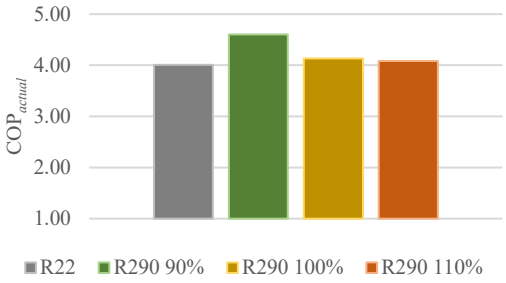
q_e = Besarnya kalor diserap evaporator (kJ/kg)
q_w = Besarnya kerja kompresi (kJ/kg)
h = Entalpi refrigeran (kJ/kg)
COP_{actual} = COP sebenarnya
COP_{carnot} = COP ideal sistem
T_e = Temperatur evaporasi (℃)
T_k = Temperatur kondensasi (℃)
η = Efisiensi sistem (%)
P_{in} = Daya input (Watt)
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
cos φ = Faktor daya
W = Konsumsi energi listrik (kWh)
$\dot{m}$ = Laju aliran massa refrigerant (kg/s)
Q_e = Kapasitas pendinginan (kW)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengolahan data, maka diperoleh hasil data yang telah didapatkan dari hasil perhitungan. Kemudian hasil data yang diperoleh tersebut akan di analisis untuk membahas mengenai kinerja sistem saat menggunakan R22 dan R290 pada saat sistem beroperasi selama 3 jam.

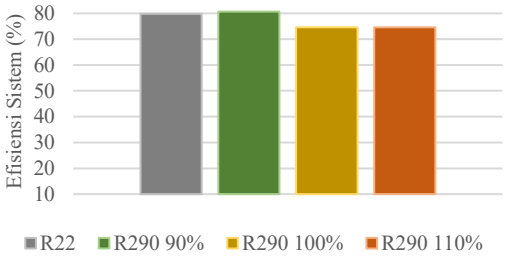
4.1 COP_{actual} Sistem *Mini Brine Chiller*

Dapat dilihat pada Gambar 4 yang merupakan perbandingan nilai COP_{actual} untuk semua variasi. Berdasarkan hasil perhitungan pada pengolahan data sebelumnya, diketahui bahwa nilai COP_{actual} tertinggi yaitu pada saat menggunakan R290 variasi 90% sebesar 4,6 dan untuk COP_{actual} terendah yaitu pada saat menggunakan R22 sebesar 4,01. Untuk perbandingan COP_{actual} pada saat menggunakan R290 variasi 90% memiliki selisih sebesar 0,59 dengan R22. Sedangkan nilai COP_{actual} pada saat menggunakan R290 variasi 100% dan 110% mengalami penurunan sebesar 4,13 dan 4,09 dibandingkan dengan R290 variasi 90%, hal ini disebabkan karena besar kerja kompresi pada R290 variasi 110% lebih tinggi serta besar kalor yang diserap evaporator lebih rendah dibandingkan dengan R290 variasi 90% dan 100%, sehingga menyebabkan COP_{actual} pada saat menggunakan R290 variasi 110% lebih rendah. Meskipun R290 variasi 100% dan 110% lebih rendah dibandingkan dengan R290 variasi 90%, namun tetap memiliki nilai COP_{actual} yang lebih tinggi dibandingkan pada saat menggunakan R22. Hal ini disebabkan oleh besar kerja kompresi dan besar kalor yang diserap oleh evaporator pada R290 yang lebih besar dibandingkan dengan R22.



Gambar 4. Perbandingan Nilai COP_{actual}

4.2 Efisiensi Sistem (η)

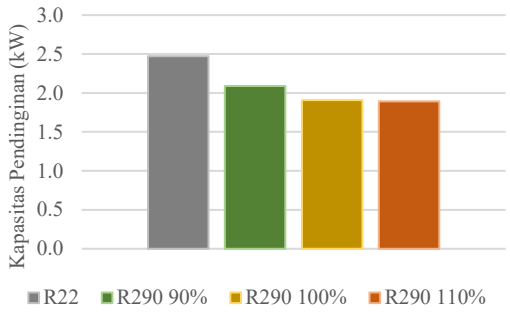


Gambar 5. Perbandingan Nilai Efisiensi Sistem

Dapat dilihat pada Gambar 5 yang merupakan perbandingan nilai efisiensi sistem (η) pada setiap variasi. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh didapatkan efisiensi sistem tertinggi yaitu pada saat menggunakan refrigeran R290 variasi 90% yaitu sebesar 80,7%. Sedangkan pada saat menggunakan R290 variasi 100% dan 110% dengan penambahan massa 20 gram pada setiap variasi, nilai efisiensi sistem yang terukur yaitu sebesar 74,61% dan 74,56%. Hal ini disebabkan oleh perbandingan antara nilai COPactual dan COPcarnot yang lebih tinggi pada saat menggunakan R290 variasi 90% dibandingkan dengan R290 variasi 100% dan 110%. Untuk nilai efisiensi sistem pada saat menggunakan R22 yaitu sebesar 79,7%. Selisih antara R22 dengan R290 variasi 90% yaitu sebesar 1% dan dapat dilihat bahwa efisiensi sistem saat menggunakan R290 variasi 90% lebih mendekati dengan kinerja sistem saat menggunakan R22.

4.3 Kapasitas Pendinginan (Q_e)

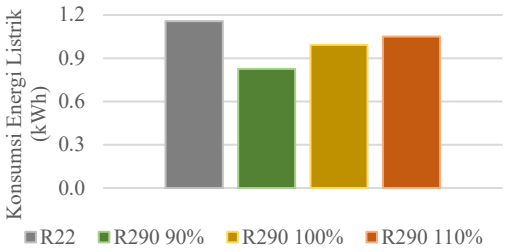
Dapat dilihat pada Gambar 6 yang merupakan perbandingan nilai kapasitas pendinginan (Q_e) untuk semua variasi. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai kapasitas pendinginan tertinggi yaitu pada saat menggunakan R22 dengan nilai sebesar 2,5 kW. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa refrigeran yang lebih besar pada saat menggunakan R22 dengan laju aliran massa refrigeran sebesar 0,015 kg/s. Kemudian, pada saat menggunakan R290 memiliki kapasitas pendinginan yang rendah yaitu sebesar 2,1 kW, 1,91 kW, dan 1,89 kW untuk setiap variasi pengisian R290 (90%, 100%, dan 110%). Selain itu, hal ini disebabkan karena kerja kompresi yang lebih rendah pada saat menggunakan R22. Selisih nilai kapasitas pendinginan antara R290 variasi 90% dengan R22 yaitu sebesar 0,4 kW, dan dapat dilihat bahwa R290 variasi 90% lebih mendekati kinerja sistem pada saat menggunakan R22.



Gambar 6. Perbandingan Kapasitas Pendinginan (Q_e)

4.4 Konsumsi Energi Listrik (kWh)

Dapat dilihat pada Gambar 7 yang merupakan perbandingan nilai konsumsi energi listrik pada setiap variasi dengan sistem beroperasi selama 3 jam. Nilai konsumsi energi listrik tertinggi yaitu pada saat menggunakan R22 dan R290 variasi 110% dengan masing-masing nilai konsumsi energi listrik sebesar 1,156 kWh dan 1,05 kWh. Hal ini disebabkan karena arus listrik yang tinggi pada saat menggunakan R22 dan R290 variasi 110%. Selain itu, karaktersitik R22 yang memiliki density lebih tinggi dibandingkan dengan R290 mengakibatkan pengisian massa refrigeran R22 yang lebih banyak, sehingga dapat menyebabkan arus listrik yang lebih tinggi. Pada saat menggunakan R22 arus listrik yang terukur yaitu sebesar 3,04 Ampere. Selain itu, running time yang lebih lama tanpa mengalami cut off mengakibatkan nilai konsumsi energi listrik menjadi lebih tinggi pula. Dapat dilihat bahwa saat menggunakan R290 variasi 90% dan 100% memiliki nilai konsumsi energi listrik yang rendah yaitu sebesar 0,827 kWh dan 0,993 kWh. Selisih nilai konsumsi energi listrik saat menggunakan R22 dengan R290 variasi 90% yaitu sebesar 0,329 kWh lebih hemat dibandingkan dengan R22.



Gambar 7. Perbandingan Konsumsi Energi Listrik (kWh)

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan COP_{actual} dengan nilai tertinggi yaitu pada saat sistem *mini brine chiller* menggunakan refrigeran R290 variasi 90% dengan nilai COP_{actual} sebesar 4,6 dan nilai COP_{actual} terendah yaitu pada saat menggunakan R22 dengan nilai 4,01. Efisiensi sistem tertinggi yaitu pada saat menggunakan R290 variasi 90% sebesar 80,7% dan efisiensi sistem terendah yaitu pada saat menggunakan R290 variasi 110% sebesar 74,56%. Kemudian, untuk kapasitas pendinginan pada saat menggunakan R290 pada setiap variasi 90%, 100%, dan 110% memiliki nilai yang lebih rendah sebesar 2,1 kW, 1,91 kW, dan 1,89 kW dibandingkan dengan R22 yaitu sebesar 2,5kW. Selain itu, konsumsi energi listrik yang dihasilkan saat menggunakan R290 variasi 90% memiliki nilai yang lebih rendah yaitu sebesar 0,827 kWh, sehingga lebih menghemat energi listrik. Maka dapat disimpulkan untuk R290 variasi massa 90% memiliki nilai yang lebih efisien untuk sistem *mini brine chiller* dan hampir sebanding dengan pada saat sistem menggunakan R22.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diterapkan untuk peneliti yang akan mengembangkan penelitian mengenai topik ini, yaitu sebagai berikut:

1. Peneliti dapat melakukan variasi yang lebih beragam seperti dengan memvariasikan temperatur evaporasi atau temperatur kondensasi.
2. Peneliti dapat melakukan perbandingan *retrofit* pada saat menggunakan alat ekspansi lainnya.
3. Selain itu, penelti dapat melakukan *retrofit* dengan memvariasikan panjang pipa kapiler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi selama proses pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rosmayanti D. Analisis performansi air conditioning 1 PK dengan 3 fluida kerja. Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin. 2019;9(3):29–35.
2. Al Huda N, Prayogi U. Alternatif refrigeran pengganti R22 untuk pendingin ruangan berdasarkan keramahan lingkungan. Hexagon: Jurnal Teknik dan Sains. 2022;3(1):40–45. doi:10.36761/hexagon.v3i1.1349.
3. Pramudantoro TP. Pengaruh variasi massa pengisian R290 sebagai refrigeran pengganti R22 pada kinerja freezer. ReTII. 2017:0–5. Available from: https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/652.
4. Sumeru K, Pramudantoro TP, Badarudin A, Nugraha R, Simbolon LM, bin Sukri MF. Kaji eksperimental retrofit R404a dengan refrigeran ramah lingkungan R290 pada freezer. Jurnal Teknologi Terapan. 2023;9(2):148. doi:10.31884/jtt.v9i2.520.
5. Suwono A, Tandian NP, Pasek AD, Hardianto T, Soelaiman TAF. Retrofit sistem pendingin menggunakan refrigeran ramah lingkungan. Jurnal Teknik Mesin dan Sistem Termal. Available from: https://journals.itb.ac.id/index.php/jtms/article/view/4837.
6. Mustaqim HW, Farid A. Variasi tekanan kerja suction compressor terhadap kinerja AC split dengan R290. 2018;3(2502):12–14. Available from: https://www.researchgate.net/publication/331945669.
7. Dossat RJ. Principles of Refrigeration. Wiley International Edition. New York: Wiley; 1961.
8. Mitrakusuma WH. Materi kuliah mata kuliah refrigerasi dasar. 2018.
9. Dwinanto MM, Bunganaen W, et al. Studi kinerja teoritis dan konsumsi energi pengkondisian udara menggunakan R22 dan R290. LONTAR: Jurnal Teknik Mesin. 2021;8(1):91–98. Available from: http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU/article/view/4966.
10. Sumeru HM, Pramudantoro TP, Muliawan R. Kaji numerik penggunaan subcooler LSHX pada refrigeran R22 dan R290 dengan variasi temperatur evaporasi. Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar. 2022;13(1):684–687.
11. Ibrahim OAAM, Kadhim SA, Hammoodi KA, Rashid FL, Askar AH. Review of hydrocarbon refrigerants as drop-in alternatives to high-GWP refrigerants in VCR systems: The case of R290. Cleaner Engineering and Technology. 2024;23:100825. doi:10.1016/j.clet.2024.100825.
12. Tanaka IR, Fajar B, Utomo TS, Yohana E, Mustaqim. Experimental study performance R-22 AC split retrofitted with propane. MATEC Web Conf. 2018;159:1–6. doi:10.1051/matecconf/201815902021.
13. ASHRAE. Handbook of Fundamentals. SI Edition. Atlanta: ASHRAE; 2017.
14. Mutaufiq M, Sulistyo H, Berman ET, Wiyono A. Investigasi eksperimental retrofit refrigeran pada alat praktik refrigerator dengan refrigeran produk domestik yang ramah lingkungan. Flywheel: Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA. 2019;1(1):51. doi:10.36055/fwl.v1i1.6454.
15. Edusainstek SN, Pramudantoro TP, Dewi KK. Kaji eksperimental performansi akibat variasi jumlah pengisian refrigeran R290 pada mesin cool. Edusaintek. 2019:298–307. Available from: https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/view/331.