Performa *Mini Air Cooled Chiller* Berdasarkan Variasi Campuran Air dan *Ethylene Glycol* Sebagai Refrigeran Sekunder

Yuliantini[1], Apip Badarudin[1], Luga Martin Simbolon[1]

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

ABSTRAK

Mini Air Cooled Chiller merupakan hasil modifikasi *outdoor unit AC Split* yang dikombinasikan dengan evaporator berupa *shell and helic coil* yang digunakan untuk menurunkan refrigeran sekunder yang dapat diganti dengan campuran air dan *ethylene glycol*. Perbedaan karakteristik air dan *ethylene glycol* akan mempengaruhi performa dari sistem. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perfoma sistem berdasarkan variasi campuran air dan *ethylene glycol* dengan rasio 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% pada sistem *mini air cooled chiller* dengan R22. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit selama 180 menit dan ketika sistem mengalami *cut in – cut off*. Hasil pengujian diperoleh *chilling time* tercepat ketika menggunakan variasi campuran 70%:30% selama 43 menit dan terlama pada variasi 90%:10% selama 46 menit. Performa sistem yang dihasilkan berupa COPa, COPC, dan efisiensi sistem tertinggi pada varasi 80%:20% yaitu 3,88, 5,08, dan 76,26%. Selain itu, kapasitas pendinginan *heat exchanger* tertinggi pada variasi 80%:20% sebesar 1,1498 kW dengan konsumsi energi listrik terendah pada variasi 80%:20% sebesar 0,0898 kWh.

Kata Kunci
Mini Air Cooled Chiller, Ethylene Glycol, Refrigeran Sekunder

The Mini Air Cooled Chiller is a modified system based on an outdoor split AC unit, combined with an evaporator in the form of a shell and helical coil, which is used to cool the secondary refrigerant. The secondary refrigerant can be replaced with a mixture of water and ethylene glycol (EG). The differences in characteristics between water and ethylene glycol affect the performance of the system. Therefore, this study aims to compare the system performance based on variations in the water and ethylene glycol mixture with ratios of 90%:10%, 80%:20%, and 70%:30%, using R22 in the mini air cooled chiller system. Data collection was carried out every 5 minutes over a period of 180 minutes and also during the system's cut-in and cut-off cycles. The test results showed that the fastest chilling time was achieved using the 70%:30% mixture, at 43 minutes, while the slowest was with the 90%:10% mixture, at 46 minutes. The best system performance in terms of actual COP (COPa), Carnot COP (COPc), and system efficiency was obtained using the 80%:20% mixture, with values of 3.88, 5.08, and 76.26%, respectively. In addition, the highest cooling capacity of the heat exchanger was also achieved at 80%:20%, with a value of 1.1498 kW, and the lowest energy consumption of 0.0898 kWh was also observed at the same mixture ratio.

Keywords
Mini Air Cooled Chiller, Ethylene Glycol, Secondary Refrigerant

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan suatu ruangan salah satunya ditentukan dari temperatur di dalamnya dan merupakan pengaruh yang dapat mendukung efektivitas kegiatan. Penggunaan sistem pengondisi udara menjadi salah satu cara agar tercapainya kenyamanan tersebut (1).

Salah satu sistem pengkondisi udara yang dapat digunakan yaitu chiller. Sistem ini merupakan sistem pengkondisi udara secara tidak langsung sehingga dibutuhkan 2 jenis refrigeran yaitu primer dan sekunder, fungsi dari *chiller* ini yaitu mendinginkan refrigeran sekunder yang akan didistribusikan ke FCU (2).

Konsumsi energi litsrik pada *chiller* lebih rendah dibandingkan dengan sistem pendinginan langsung seperti AC (3). Namun kapasitas sistem *chiller* yang dipakai berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik dan kinerja sistem (4).

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kembali konsumsi energi listrik untuk mencapai kenyamanan suatu ruangan bila menggunakan *chiller* yaitu dengan menggunakan refrigeran sekunder yaitu berupa campuran air dan *ethylene glycol*.

Penggunaan *ethylene glycol* sebagai refrigeran sekunder menjadi salah satu cara terhadap pengurangan konsumsi listrik pada sistem pendinginan tidak langsung, sehingga dapat digunakan pada sistem dengan kapasitas kecil seperti *showcase* pendingin makanan, mesin pembuat es, sistem pengawetan bahan makanan beku.

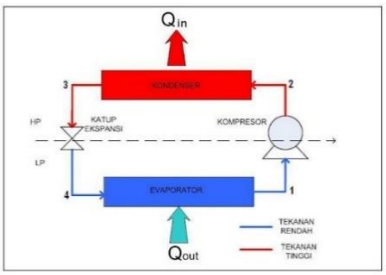
Penelitian ini dilakukan pengujian terkait penggunaan refrigeran sekunder terhadap performa sistem *mini air cooled chiller* dengan refrigeran sekunder yang digunakan berupa campuran air dan *ethylene glycol* dengan

campurannya 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30%. Hasil pada penelitian ini yaitu berupa *chilling time* dan performa sistem seperti COPa, COPc, efisiensi sistem, konsumsi energi listrik, serta kapasitas pendinginan *heat exchanger*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran yang dimanfaatkan untuk media pertukaran atau perpindahan dengan bantuan kompresor sebagai alat kompresi (5).



Gambar 1. Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Gambar 1 menunjukkan siklus sistem refrigerasi kompresi uap. Sistem ini mengalami empat proses yang akan berjalan secara berkelanjutan, diantaranya:

1. Proses kompresi (1-2)
2. Proses kondensasi (2-3)
3. Proses ekspansi (3-4)
4. Proses evaporasi (4-1).

2.2 Refrigeran Sekunder

Refrigeran sekunder yaitu fluida atau cairan yang dimanfaatkan sebagai media pertukaran kalor tanpa adanya perubahan wujud atau fasa. Adapun beberapa fluida atau cairan yang bisa digunakan sebagai refrigeran sekunder yaitu air garam, *ethylene glycol, propylene glycol, calcium cloride* atau sodium dalam air, dan R-30. Namun, pada setiap refrigeran sekunder tersebut digunakan pada sistem atau ketentuan yang berbeda (6).

Penelitian ini refrigeran sekunder yang digunakan yaitu campuran air dan *ethylene glycol.* Karakteristik pada air dapat diliat pada Tabel 1 seperti berikut:

Tabel 1. Karakteristik Air

Spesfikasi	Air
Relative molecular Mass (g/mol)	18
Density at 20°C (g/m^3)	0,998
Boiling point °C	100
Freezing point °C	0
Viscosity at 20°C (mPa.s)	1,002
Spesific heat at 20°C (kJ/kg.K)	4,184

Selain air, fluida yang akan digunakan sebagai campuran yaitu *ethylene glycol. Ethylene glycol* memiliki sifat termodinamika yang baik. Tabel 2 menunjukkan karakteristik *ethylene glycol.*

Tabel 2. Karakteristik Ethylene Glycol

Spesfikasi	*Ethylene Glycol*
Relative molecular Mass (g/mol)	62,07
Density at 20°C (g/m^3)	1113
Boiling point °C	
at 101,3 kPa	198
at 6,67 kPa	123
at 1,33 kPa	89
Freezing point °C	-12,7
Viscosity at 20°C (mPa.s)	20,9
Spesific heat at 20°C (kJ/kg.K)	2,347
Heat of vaporization at 101,3 kPa (kJ/kg)	849

3. METODOLOGI PENELITIAN

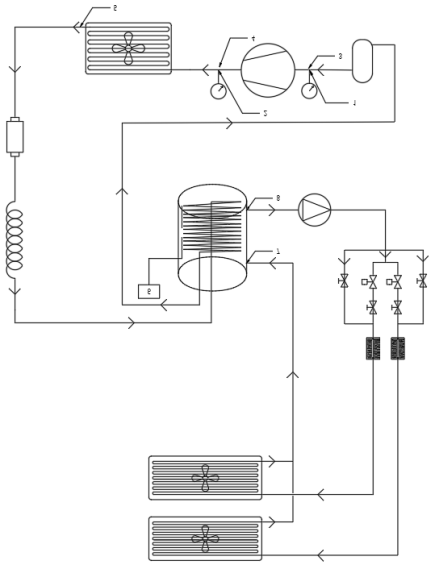
Sistem yang dipakai untuk penelitian ini yaitu sistem *mini air cooled chiller*. *Mini air cooled chiller* merupakan sistem yang memiliki kapasitas yang lebih rendah disesuaikan dengan beban pendinginan atau produk yang ingin dikondisikan (7). Sistem ini merupakan hasil modifikasi dari sistem *AC Split wall mounted* dengan kombinasi evaporator jenis *shell and helic coil* yang ditempatkan pada *heat exchanger* yang memiliki volume sebesar 20 L. Refrigeran primer yang digunakan pada sistem ini yaitu R22. Sedangkan refrigeran sekunder yang digunakan yaitu berupa variasi campuran air dan *ethylene glycol* sebanyak 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30%. Gambar 2 merupakan sistem yang digunakan selama penelitian.

Pengambilan data pada setiap variasi dilakukan setiap 5 menit selama 180 menit dan pada posisi *cut off* pada 7°C – *cut in* pada 10°C.

Gambar 2. Sistem Mini Air Cooled Chiller

3.1 Parameter yang diukur

Parameter pengukuran yang diperlukan pada penelitian ini untuk memperoleh hasil performa dan konsumsi energi listrik yang digunakan pada sistem *mini air cooled chiller* dengan variasi campuran refrigeran sekunder berupa air dan *ethylene glycol* dengan titik pengukuran seperti Gambar 3.



Gambar 3. Titik Pengukuran

Selain itu, berikut merupakan penjelasan mengenai parameter pengukuran yang ditentukan dari titik ukur yang telah ditetapkan.

1. P *discharge* (Bar *gauge*)
2. P *suction* (Bar *gauge*)
3. T *suction* (°C)
4. T *discharge* (°C)
5. T *outlet* kondenser (°C)
6. T refrigeran sekunder (°C)
7. T *inlet* HX (°C)
8. T *outlet* HX (°C)
9. Arus listrik (A)
10. Tegangan (V)
11. Faktor daya

3.2 Parameter yang diukur

Pengolahan data dilakukan setelah proses pengambilan data selesai dilakukan. Pengolahan data dilakukan bertujuan untuk mengetahui beberapa hasil yang ingin didapatkan, seperti halnya performa berupa COP dan efisiensi, serta penggunaan energi listrik selama sistem beroperasi (*running time*).

$$COPa = \frac{qe}{qw} = \frac{h1-h4}{h2-h1} \quad (1)$$

$$COPc = \frac{Te}{Tk-Te} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{COPa}{COPc} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Pin} = \text{V} \times \text{I} \times \text{Cos}\varphi \quad (4)$$

$$\text{W} = \text{Pin} \times (\frac{running\ time}{60}) \quad (5)$$

$$Q = \dot{m} \times Cp \times \Delta T \quad (6)$$

Keterangan:

qe = Besarnya kalor yang diserap evaporator (kJ/kg)

qw = Besarnya kerja kompresi (kJ/kg)

h = Entalpi refrigeran (kJ/kg)

COP_a = COP aktual atau sebenarnya

COP_C = COP ideal sistem

T_e = Temperatur evaporasi (°C)

T_k = Temperatur kondensasi (°C)

η = Efisiensi sistem (%)

P_{in} = Daya input (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\text{Cos}\varphi$ = Faktor daya

W = Konsumsi energi listrik (kWh)

Q = Kapasitas pendinginan HX (kW)

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

Cp = *Spesific heat capasity* (kJ/kg.K)

ΔT = Delta temperatur (°C)

3.3 Alat Ukur dan Bahan yang digunakan

Selama proses penelitian dan pengambilan data, terdapat beberapa alat ukur yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Berikut merupakan alat ukur yang digunakan:

1. *Pressure gauge*
2. *Thermometer* digital
3. Tang *ampere*
4. *Wattmeter*
5. *Voltmeter*
6. R22
7. 48 L air
8. 12 L *ethylene glycol*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang telah didapatkan merupakan hasil dari pengambilan data setiap variasi campuran refrigeran sekunder antara air dan *ethylene glycol* sebesar 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% dengan volume massa refrigeran sekunder sebanyak 20 L. Data yang diperoleh akan dibandingkan agar mendapatkan perbedaan dari *chilling time*, performa sistem dan konsumsi energi listrik yang dimanfaatkan oleh sistem.

4.1 Data Hasil Pengukuran

Tabel 3 merupakan data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran yang akan digunakan sebagai bahan perhitungan.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran

Parameter	90%:10%	80%:20%	70%:30%
P *suction* (Barg)	4,10	3,97	3,90
P *discharge* (Barg)	18,24	17,55	17,90
T *suction* (°C)	9,19	11,19	12,63
T *discharge* (°C)	96,31	88,38	94,81
T *outlet* kondenser (°C)	44,31	44,19	46,63
T *inlet* HX (°C)	10	11,75	12,75
T *outlet* HX (°C)	8,44	11	11,56
Tegangan (V)	210	210	210
Arus listrik (A)	2,99	2,69	3,04
Faktor daya	0,96	0,97	0,95

4.2 Pengolahan Data yang Diperoleh

Tabel 4 merupakan data hasil pengolahan dari beberapa parameter yang telah didapatkan selama penelitian atau pengukuran.

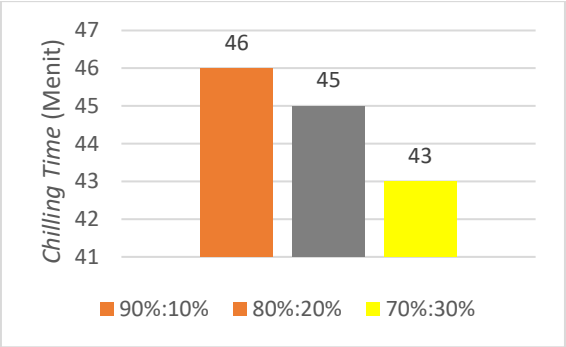
Tabel 4. Hasil Pengolahan Data

Parameter	90%:10%	80%:20%	70%:30%
Chilling time (Menit)	46	45	43
COP_a	3,23	3,88	3,49
COP_c	5,03	5,08	4,95
Efisiensi sistem (%)	64,18	76,28	70,48
Konsumsi energi listrik (kWh)	1,189	0,898	1,132
Q *Heat Exchanger* (kW)	0,802	1,498	0,660

4.3 Analisis *Chilling Time*

Gambar 4 merupakan perbandingan *chilling time* pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. *Chilling time* tercepat pada saat menggunakan refrigeran sekunder dengan variasi campuran 70%:30% yaitu selama 43 menit, sedangkan *chilling time* terlama pada saat menggunakan refrigeran sekunder dengan variasi campuran 90%:10% yaitu selama 46 menit.

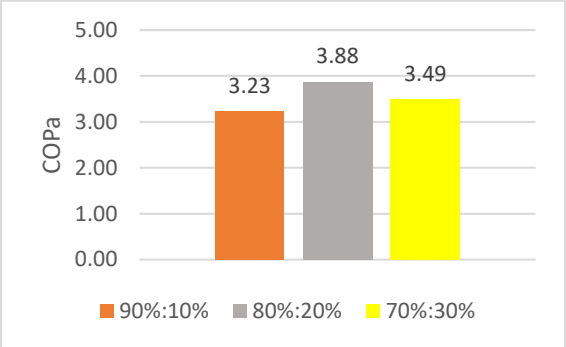
Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi *ethylene glycol* pada campuran refrigeran sekunder, maka *chilling time* yang diperoleh akan semakin cepat. Hal ini dipengaruhi oleh adanya penambahan viskositas yang berakibat pada sirkulasi refrigeran sekunder dan waktu tertampungnya refrigeran sekunder di *heat exchanger*. Selain itu, *spesific heat capasity* dan titik beku pada campuran refrigeran sekunder akan mempengaruhi lamanya *chilling time*.



Gambar 4. Perbandingan Chilling Time

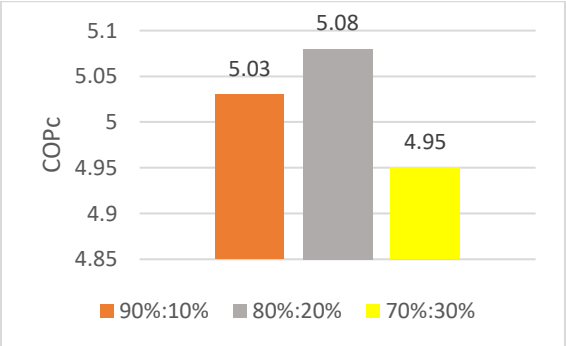
4.4 Analisis COP_a

Gambar 5 merupakan perbandingan COP_a pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. COP_a yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% yaitu 3,23, 3,88, dan 3,49. Variasi campuran 80%:20% menunjukkan nilai COP_a tertinggi, hal ini disebabkan karena penyerapan kalor pada refrigeran primer lebih efisien sehingga optimalnya efek refrigerasi yang dihasilkan, serta kerja kompresi yang tidak terlalu berat.



Gambar 5. Perbandingan COP_a

4.5 Analisis COP_c



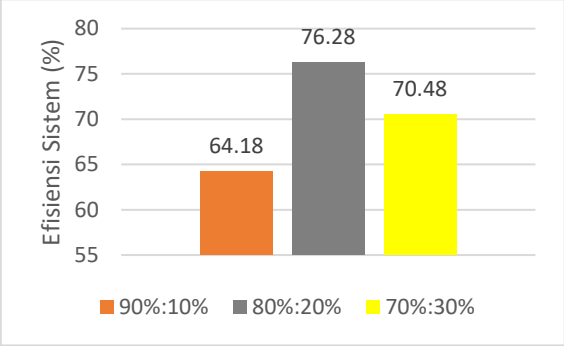
Gambar 6. Perbandingan COP_c

Gambar 6 merupakan perbandingan COP_c pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. COP_c yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% yaitu 5,03, 5,08, dan 4,95. Variasi campuran 80%:20% menunjukkan nilai COP_c tertinggi, hal ini disebabkan karena temperatur evaporasi yang dihasilkan tidak terlalu tinggi ataupun terlalu rendah yang disebabkan tekanan *suction* berada pada niat

menengah dari ketiga variasi yang diuji. Sedangkan temperatur kondensasi yang dihasilkan berapa pada posisi terendah yang disebabkan karena tekanan *discharge* terendah pada ketiga variasi yang diuji.

4.6 Analisis Nilai Efisiensi Sistem

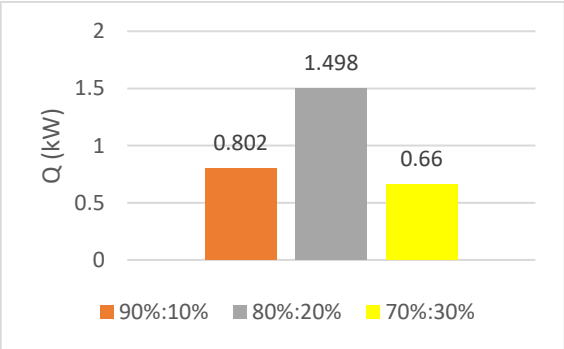
Gambar 7 merupakan perbandingan efisiensi sistem pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. Efisiensi sistem yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% yaitu 64,18%, 76,28%, 70,48%. Variasi campuran 80%:20% menunjukkan nilai efisiensi sistem tertinggi, hal ini disebabkan karena perbandingan antara COP_c dan COP_a menunjukkan nilai tertinggi dari ketiga variasi yang diuji.



Gambar 7. Perbandingan Efisiensi Sistem

4.7 Analisis Kapasitas Pendinginan HX

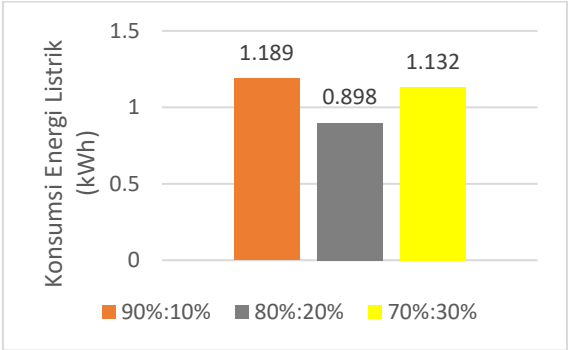
Gambar 8 merupakan perbandingan kapasitas pendinginan *heat exchanger* pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. Kapasitas pendinginan *heat exchanger* yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% secara berturut-turut yaitu 0,802 kW, 1,498 kW, dan 0,660 kW. Variasi campuran 80%:20% menunjukkan nilai kapasitas pendinginan heat exchanger tertinggi, hal ini disebabkan karena penyerapan kalor dari kabin yang baik oleh refrigeran sekunder.



Gambar 8. Perbandingan Kapasitas Pendinginan HX

4.8 Analisis Konsumsi Energi Listrik

Gambar 9 merupakan perbandingan konsumsi energi listrik yang digunakan selama *running time* pada setiap variasi campuran refrigeran sekunder yang digunakan. Konsumsi energi listrik yang digunakan dari masing-masing variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30% secara berturut-turut yaitu 1,189 kWh, 0,898 kWh, dan 1,132 kWh. Variasi campuran 80%:20% menunjukkan nilai konsumsi energi listrik terendah, hal ini disebabkan karena proses pendinginan yang efektif dan kerja kompresor yang optimal.



Gambar 9. Perbandingan Konsumsi Energi Listrik

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari data hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Chilling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang diatur pada variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% secara berturut-turut yaitu 46 menit, 45 menit, dan 43 menit.
2. Performa sistem berupa COP_a, COP_c, dan efisiensi sitem pada variasi campuran 90%:10% yaitu 3,23, 5,03, dan 64,18%. Variasi 80%:20% yaitu 3,88, 5,08, dan 76,28%. Sedangkan variasi 70%:30% yaitu 3,49, 4,95, dan 70,48%.
3. Kapasitas pendinginan *heat exchanger* yang dihasilkan pada variasi campuran 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% yaitu 0,802 kW, 1,498 kW, dan 0,660 kW.
4. Energi listrik yang dikonsumsi selama *running time* pada variasi campuran refrigeran sekunder 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% secara berturut-turut yaitu 1,189 kWh, 0,898 kWh, dan 1,132 kWh.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, untuk pengujian dengan pembahasan yang sama dapat menggunakan fluida lain yang dapat dijadikan sebagai refrigeran sekunder, penggunaan jumlah komposisi refrigeran sekunder disesuaikan dengan skala sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung karena telah difasilitasinya segala kebutuhan yang menunjang proses pembelajaran dan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ningrum DK, Wiyono AE, Wibowo A. ISSN 2302-3708 (online). J Enviro Scientea. 2021;17(2):21–9.
2. Cappenberg AD. Analisis chiller dengan menggunakan R123 dan R134a pada kinerja pendinginan. J Kajian Tek Mesin. 2020;5(1):48–57. doi:10.52447/jktm.v5i1.3979.
3. Setiawan A, Ahmad, Wardika. Kaji eksperimental pengaruh variasi campuran etilen glikol-air terhadap performansi sistem brine cooling. Semin Nas Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV). 2020;6(1):1–7 [Internet]. Available from: https://proceeding.isas.or.id/index.php/sentrinov/article/view/315
4. Andini Y, Margana AS, Badarudin A, Kunci K. Analisis audit energi sistem tata udara pada chiller, cooling tower, dan air handling unit di Gedung Transmart Buah Batu. Electrician J Rekayasa Tek Elektro. 2020;(1):26–7.
5. Adam C. Uji performansi sistem refrigerasi kompresi uap pada seed storage. 2012:4–15 [Internet]. Available from: http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/96/jbptppolban-gdl-caesaradam-4788-3-bab2--8.pdf
6. ASHRAE. Handbook - Refrigeration. 2014.
7. Renaldi D, Badarudin A, Lukitobudi AR. Uji performansi sistem mini air cooled water chiller dengan pengaruh variasi debit aliran air. Pros Ind Res Work Natl Semin. 2024;15(1):481–7. doi:10.35313/irwns.v15i1.6222.