

Kaji Eksperimental Pengaruh Penambahan *Precooler* Air Kondensat Pada Pipa *Discharge* Terhadap Efisiensi Sistem Mini *Freezer*

Luthfi Muhammad Raafi^{1,*}, Rizki Muliawan², Nur Khakim³

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

E-mail : ^{1,*}luthfi.muhammad.tptu20@polban.ac.id; ²rizki.muliawan@polban.ac.id; ³nur.khakim@polban.ac.id

ABSTRAK

Air kondensat pada sistem refrigerasi kompresi uap mini *freezer* menjadi masalah karena tertimbun pada kabin *freezer* yang menyebabkan air kondensat menjadi es dan menyebabkan timbulnya genangan air jika dibiarkan. Dilakukan kaji eksperimental pada penelitian ini yaitu menambahkan *precooler* air kondensat pada pipa *discharge* terhadap efisiensi sistem mini *freezer*. Pengambilan data dilakukan dengan durasi 3 menit sekali selama 189 menit. Sesudah mengambil data dan mengolah data tersebut, didapatkan hasil *chilling time* pada saat sistem menggunakan *precooler* yaitu di menit ke-39 dengan hasil dari data yang telah di rata-ratakan memperoleh nilai COP aktual sebesar 2,61, COP Carnot sebesar 4,19, efisiensi refrigerasi yang dihasilkan sebesar 62%, serta energi listrik sebesar 1,5 kWh. Sedangkan data ketika sistem tidak menggunakan *precooler* didapatkan hasil *chilling time* di menit ke-66 dengan hasil dari data yang telah di rata-ratakan memperoleh nilai COP aktual sebesar 2,27, COP Carnot 3,83, efisiensi refrigerasi yang diperoleh 59%, serta energi listriknya sebesar 1,85 kWh. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi refrigerasi sistem ketika menggunakan *precooler* meningkat sebesar 3%. Dari hasil pengolahan data yang telah dihitung dapat disimpulkan jika sistem menggunakan *precooler* air kondensat lebih efisien dibandingkan dengan sistem tidak menggunakan *precooler*.

Kata Kunci

Mini *Freezer*, *Precooler*, Efisiensi Sistem, Energi Listrik

1. PENDAHULUAN

Air kondensat pada sistem refrigerasi kompresi uap mini *freezer* menjadi masalah karena tertimbun pada kabin *freezer* yang menyebabkan air kondensat menjadi es dan timbul genangan air, hal itu bisa terjadi karena ada proses dari pengembunan pada evaporator. Temperatur pengembunan udara di sekitar lebih tinggi dibandingkan temperatur pada permukaan pipa evaporator, sehingga menyebabkan pengembunan pada pipa evaporator [1]. Proses pendinginan menggunakan media *precooler* air kondensat merupakan solusi untuk meningkatkan efisiensi sistem [2].

Sistem pendingin yang dirancang merupakan sistem refrigerasi kompresi uap mini *freezer*. Efisiensi kinerja sistem yang baik dapat diketahui dengan *precooler* berasal dari hasil pengembunan evaporator, hasil dari air kondensat disalurkan kepada *precooler* yang dipasang pada pipa *discharge* keluaran kompresor. Bertujuan untuk mendinginkan pipa *discharge* karena dapat meningkatkan *subcooling* dan kinerja sistem [3]. Air kondensat pada *precooler* dapat menurunkan

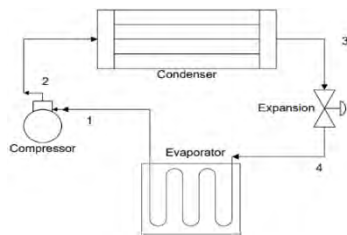
temperatur *discharge* karena kalor dari temperatur *discharge* diserap oleh air kondensat, sehingga temperatur *discharge* menurun dan tekanan *discharge* menurun, lalu akan menurunkan rasio kompresi [4]. Dengan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan kinerja sistem serta nilai konsumsi energi listrik saat menggunakan *precooler* air kondensat maupun tidak pada sistem mini *freezer*.

2. DASAR TEORI

2.1 Mini *Freezer*

Mini *Freezer* merupakan media sebagai penyimpanan produk beku. Mini *freezer* merupakan mesin refrigerasi dengan suhu evaporasinya dibawah 0°C. Suhu evaporasi umum pada *freezer* rumah tangga umumnya berada pada suhu -5°C hingga -10°C [5]. Mini *Freezer* yang digunakan berkapasitas kompresor 1/6 PK serta memakai media pendinginan yaitu refrigeran R-134a.

2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana



Gambar 1. Skema proses sistem refrigerasi kompresi uap

1. Siklus Kompresi (1-2)

Terjadi proses kompresi yang menyebabkan refrigeran berfasa uap berasal dari evaporator yang tekanannya rendah lalu masuk ke kompresor untuk dikompresikan sehingga refrigerannya bertekanan tinggi dan suhunya pun tinggi. Untuk menghitung diperoleh rumus berikut [6].

$$Q_w = \dot{m} (q_w) \quad (1)$$

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

Keterangan

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

Q_w = Kompresor bekerja (kJ/s)

h_1 = Entalpi masukan kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi keluaran kompresor (kJ/kg)

q_w = Kerja kompresi pada kompresor (kJ/kg)

2. Siklus Kondensasi (2-3)

Proses kondensasi yang berada di kondensor merupakan refrigerant berfasa uap bertekanan tinggi yang diubah menjadi refrigeran cair yang tekanannya tetap tinggi, proses ini berjalan dengan cara membuang kalor ke lingkungan sekitar yang disebut kondensasi (pengembunan). Berikut menghitung kalor yang dilepas kondensor [6].

$$Q_c = \dot{m} (q_c) \quad (3)$$

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (4)$$

Keterangan

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

q_c = Banyaknya panas yang dilepaskan oleh kondensor (kJ/kg)

Q_c = Total panas yang dilepas oleh kondensor (kJ/s)

h_2 = Entalpi masukan kondensor (kJ/kg)

h_3 = Entalpi keluaran kondensor (kJ/kg)

3. Siklus Ekspansi (3-4)

Terjadi pada katup ekspansi, yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dan suhu refrigeran yang berasal dari kondensor sehingga refrigeran berfasa cair menjadi berfasa campuran (cair dan uap). Pada siklus ini memiliki entalpi yang konstan, sehingga didapatkan rumus seperti ini [6].

$$h_3 = h_4 \quad (5)$$

Keterangan

h_4 = Entalpi masukan evaporator (kJ/kg)

4. Siklus Evaporasi (4-1)

Terjadi proses evaporasi, dimana refrigeran yang telah masuk ke alat ekspansi dan telah diturunkan tekanannya serta suhunya, masuk ke evaporator dengan keadaan suhu dan tekanan rendah maka evaporator dapat menyerap panas dari ruangan atau kabin yang didinginkan sehingga refrigeran pada evaporator berubah fasa menjadi uap/gas. Berikut rumus menghitung kalor yang diserap evaporator [6].

$$Q_e = \dot{m} (q_e) \quad (6)$$

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (7)$$

Keterangan

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

q_e = Banyak kalor yang dihisap evaporator (kJ/kg)

Q_e = Total panas yang dihisap evaporator (kJ/s)

2.3 Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

1. Efisiensi Sistem [7]

$$\eta_R = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (8)$$

2. COP_{aktual} [2]

$$COP_{aktual} = \frac{\text{Efek refrigerasi}}{\text{Kerja kompresi}} = \frac{q_e}{q_w} \quad (9)$$

3. COP_{carnot} [2]

$$COP_{carnot} = \frac{T_{evaporasi}}{T_{kondensasi} - T_{evaporasi}} \quad (10)$$

4. Daya Input Listrik

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (11)$$

5. Energi Listrik

$$W = P \times t \quad (12)$$

2.4 Subcooling

Merupakan kondisi refrigeran berfasa cair memiliki suhu yang lebih rendah dibanding suhu minimum (saturasi *liquid*). *Subcooling* memiliki manfaat yaitu meningkatkan efisiensi sistem [8]. *Subcooling* bisa didapatkan dengan perbedaan temperatur dari keluaran kondensor sebenarnya dan temperatur saturasinya [9].

2.5 Precooler

Merupakan sebuah metode pendinginan pada saluran *discharge* bertujuan untuk menurunkan temperatur *discharge* agar terjadi peningkatan efek *subcooling* pada keluaran kondensor, *Precooler* memiliki banyak manfaat diantaranya meningkatkan efisiensi sistem dan meringankan kerja dari kompresor, serta menghemat energi listrik.

2.6 Air Kondensat

Merupakan air yang dihasilkan dari pengembunan evaporator. Hal ini bisa terjadi

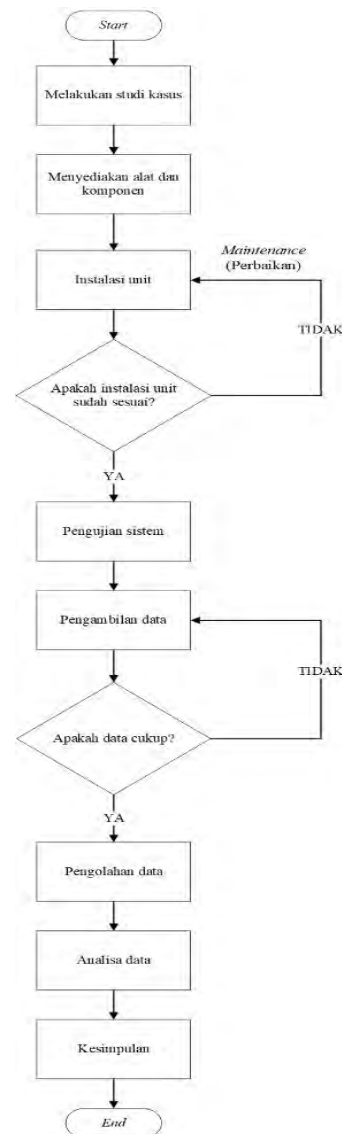
dikarenakan temperatur pengembunan udara di sekitar lebih tinggi dibandingkan temperatur pada permukaan pipa evaporator, sehingga menyebabkan pengembunan pada pipa evaporator [10]. Air kondensat sering menjadi metode untuk meningkatkan *subcooling* pada sistem refrigerasi kompresi uap, karena memiliki manfaat untuk meningkatkan efisiensi sistem dan penurunan kerja kompresor.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut merupakan hal yang harus diperhatikan dalam pengambilan data awal, diantaranya: Pengukuran titik temperatur harus benar, tekanan *suction* serta *discharge*, arus, tegangan, serta $\cos \phi$. Pengambilan data bisa dilakukan setelah sistem bekerja secara optimal. Pengambilan data dengan menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* harus memiliki temperatur lingkungan yang hampir sama. Hal ini dikarenakan, jika pengambilan pengukuran kedua data berbeda temperatur suhu lingkungannya bisa mempengaruhi pada tekanan *suction* dan tekanan *discharge* serta mempengaruhi suhu pada pipa *discharge*, pipa masukkan kondensor, pipa keluaran kondensor, dan pipa *suction*.

Pengambilan data ini dilakukan setiap 3 menit sekali selama 189 menit.

Pengolahan data untuk dianalisis yaitu perbandingan kinerja antara sistem mini *freezer* menggunakan *precooler* air kondensat dan sistem mini *freezer* tanpa *precooler*. Pengolahan data dilakukan dengan cara merata-ratakan semua data sebelum *cut-off*. Terdapat beberapa langkah yang terlampir pada *flowchart* penelitian ini.



Gambar 2. *Flowchart* penelitian

4. HASIL DAN ANALISA

Pengambilan data yang diolah dilakukan dengan cara mengambil satu data sebelum sistem *cut-off* dan merata-ratakannya. Berikut hasil dari data sistem ketika menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* yang sudah di rata-ratakan dan telah diplot ke aplikasi *coolpack*.

Berikut merupakan hasil data penelitian menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* yang telah dirata-ratakan.

Tabel 1. *Pengolahan data menggunakan precooler*

No.	Parameter	Hasil Pengolahan Data
1.	Temperatur Keluar Kondensor	31,5 °C
2.	Temperatur <i>Suction</i>	-19,3 °C
3.	Temperatur <i>Discharge</i>	59,5 °C
4.	Tekanan <i>Suction</i>	1,3 bar absolut
5.	Tekanan <i>Discharge</i>	10,1 bar absolut

Data pada tabel diatas akan diplot ke aplikasi *coolpack* dengan menggunakan diagram P-h R134a. Lalu terdapat data untuk diolah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 -T_e &= -20,53\text{ }^{\circ}\text{C} = 252,62\text{ K} & -Q_c &= 196,956\text{ kJ/kg} \\
 -T_k &= 39,76\text{ }^{\circ}\text{C} = 312,91\text{ K} & -Q_e &= 142,334\text{ kJ/kg} \\
 -W &= 42,781\text{ kJ/kg} & -h_1 &= 385,970\text{ kJ/kg} \\
 -h_3=h_4 &= 243,636\text{ kJ/kg} & -h_2 &= 440,591\text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

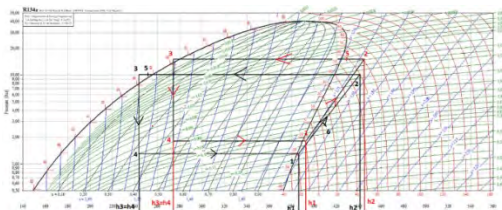
Tabel 2. Pengolahan data tanpa precooler

No.	Parameter	Hasil Pengolahan Data
1.	Temperatur Keluar Kondensor	51,9 °C
2.	Temperatur Suction	-9,4 °C
3.	Temperatur Discharge	71 °C
4.	Tekanan Suction	1,8 bar absolut
5.	Tekanan Discharge	15 bar absolut

Data pada tabel diatas akan diplot ke aplikasi *coolpack* dengan menggunakan diagram P-h R134a. Lalu terdapat data untuk diolah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 -T_e &= -12,73\text{ }^{\circ}\text{C} = 260,42\text{ K} & -Q_c &= 170,174\text{ kJ/kg} \\
 -T_k &= 55,24\text{ }^{\circ}\text{C} = 328,39\text{ K} & -Q_e &= 118,157\text{ kJ/kg} \\
 -W &= 44,820\text{ kJ/kg} & -h_1 &= 392,548\text{ kJ/kg} \\
 -h_3=h_4 &= 274,392\text{ kJ/kg} & -h_2 &= 444,566\text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Data menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* yang sudah dirata-ratakan kemudian di plot pada aplikasi *coolpack*, sehingga dapat terlihat perbandingan plot pada sistem yang menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler*. Berikut merupakan hasil dari perbandingan dari plot diagram menggunakan aplikasi *coolpack*:



Gambar 3. Hasil perbandingan plot diagram P-h

Berdasarkan hasil gambar perbandingan plot diagram p-h pada sistem yang menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* terdapat

perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh pendinginan pada pipa *discharge* menggunakan air kondensat.

Hasil dari nilai sistem menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler* yang didapat dari *coolpack* selanjutnya diolah sehingga mendapatkan perbandingan hasil seperti berikut:

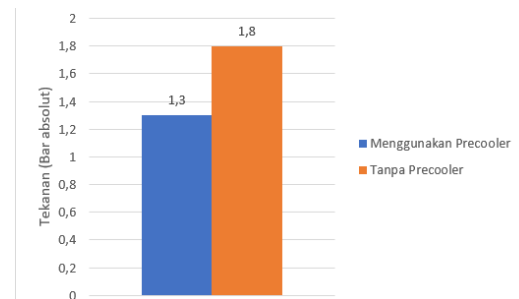
Tabel 3. Perbandingan hasil perhitungan

No.	Parameter	Tanpa Precooler	Menggunakan Precooler
1.	COP _{actual}	2,27	2,61
2.	COP _{Carnot}	3,83	4,19
3.	Efisiensi	59%	62%
4.	Daya Listrik	92,49 Watt	74,84 Watt
5.	Konsumsi Energi	0,24 kWh	0,146 kWh

4.1 Analisis dan Hasil Rata-rata Diagram Batang

4.1.1 Tekanan Suction

Dilihat dari gambar 4 Perbandingan antara tekanan *suction* yang sudah di rata-ratakan pada saat menggunakan *precooler* pada sistem dan tidak menggunakan *precooler* pada sistem.



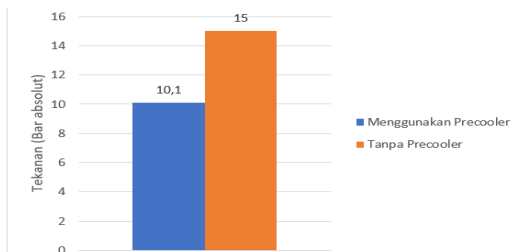
Gambar 4. Perbandingan tekanan *suction* menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler*

Dari Gambar 4 saat sistem menggunakan *precooler* air kondensat tekanan dari *suction* lebih rendah yaitu 1,3 bar absolut, sedangkan ketika sistem tidak menggunakan *precooler* air kondensat tekanan *suction* terbaca 1,8 bar absolut. Hal ini menandakan ketika sistem menggunakan *precooler* air kondensat pada pipa *discharge* menghasilkan temperatur yang lebih rendah pada pipa *discharge*, sehingga menyebabkan temperatur *suction* pun lebih rendah daripada yang tidak memakai *precooler*, jika temperatur *suction* lebih rendah maka menghasilkan tekanan *suction* yang lebih rendah.

4.1.2 Tekanan Discharge

Dari Gambar di bawah sistem menggunakan *precooler* air kondensat tekanan dari *discharge* rata-rata lebih rendah yaitu 10,1 bar absolut,

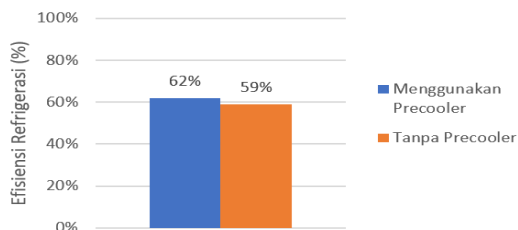
sedangkan sistem tidak menggunakan *precooler* air kondensat tekanan *discharge* rata – rata lebih tinggi yaitu 15 bar absolut. Hal ini menandakan ketika sistem menggunakan *precooler* air kondensat pada pipa *discharge* menghasilkan temperatur yang lebih rendah pada pipa *discharge*, hal ini terjadi karena kalor di pipa *discharge* diserap oleh air kondensat. Sehingga, temperatur *discharge* pada sistem yang menggunakan *precooler* lebih rendah daripada yang tidak menggunakan *precooler* air kondensat. Hal ini berkaitan dengan tekanan, apabila temperatur pada *discharge* rendah maka tekanannya lebih rendah.



Gambar 5. Perbandingan tekanan *discharge* menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler*

4.1.3 Efisiensi Refrigerasi

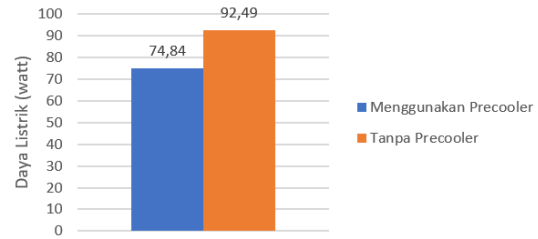
Pada gambar 7 hasil perhitungan dari efisiensi refrigerasi menggunakan *precooler* lebih tinggi yakni 62%, sedangkan efisiensi refrigerasi tanpa *precooler* lebih rendah yaitu di angka 59%. Terdapat selisih perbedaan 3% yang disebabkan karena hasil dari pembagian COP carnot dan COP aktual pada sistem.



Gambar 6. Perbandingan efisiensi refrigerasi menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler*

4.1.4 Daya Listrik

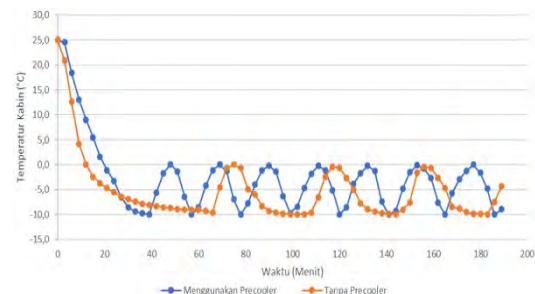
Berdasarkan gambar di bawah terlihat hasil perhitungan daya listrik ketika sistem menggunakan *precooler* air kondensat lebih rendah yaitu 74,84 watt, sedangkan ketika sistem tanpa menggunakan *precooler* diperoleh angka lebih tinggi yaitu 92,49 watt. Terdapat selisih yang cukup besar, hal ini bisa terjadi karena perbedaan selisih angka dari tegangan, arus, dan $\cos \phi$ yang cukup besar, dimana ketika saat menggunakan *precooler* sistem menghasilkan arus dan $\cos \phi$ yang lebih kecil dibandingkan hasil dari tanpa *precooler*.



Gambar 7. Perbandingan daya listrik menggunakan *precooler* dan tanpa *precooler*

4.1.5 Temperatur Kabin

Pada gambar 12 sistem di setting *cut-off* pada suhu -10°C menunjukkan temperatur kabin $^{\circ}\text{C}$ pada saat menggunakan *precooler* air kondensat terjadi *cut-off* pertama pada menit ke-36 dengan total *cut-off* sebanyak 8 kali. Sedangkan saat sistem tidak menggunakan *precooler* terjadi *cut-off* pertama pada menit ke-66 dengan total *cut-off* sebanyak 4 kali. Hal ini menandakan bahwa ketika sistem menggunakan *precooler* dapat membantu kinerja sistem lebih ringan daripada tidak memakai *precooler*.



Gambar 8. Perbandingan tempatur kabin terhadap waktu

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil perhitungan yang didapatkan, bahwa nilai COP aktual, COP carnot, dan efisiensi refigerasi pada kondisi sistem menggunakan *precooler* air kondensat lebih besar dibandingkan dengan kondisi sistem tanpa menggunakan *precooler*. Hasil perhitungan pada saat sistem menggunakan *precooler* air kondensat didapatkan nilai COP aktual sebesar 2,61, nilai COP Carnot sebesar 4,19, serta nilai efisiensi refrigerasi 62%. Sedangkan jika sistem tidak menggunakan *precooler* diperoleh nilai COP aktual sebesar 2,27, nilai COP Carnot diperoleh 3,83, serta efisiensi refrigerasi 59%.
2. Perbandingan dari energi listrik yang digunakan oleh kedua percobaan didapatkan bahwa kondisi sistem ketika menggunakan *precooler* jauh lebih efisien daripada sistem tidak menggunakan

precooler. Nilai energi listrik yang diperoleh saat sistem menggunakan *precooler* yaitu 0,146 kWh. Sedangkan disaat sistem tidak menggunakan *precooler* yaitu bernilai 0,24 kWh.

3. Efisiensi refrigerasi ketika sistem tidak menggunakan *precooler* bernilai 59%, sedangkan sistem yang menggunakan *precooler* bernilai 62%. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan efisiensi refrigerasi ketika sistem menggunakan *precooler* meningkat sebesar 3%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arora, C. P. (2001). Refrigeration and Air Conditioning, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- [2] Sencan A, Selbas R, Kizilkan O, Kalogirou AS, Thermodynamic Analysis of Subcooling and Superheating Effects of Alternative Refrigerants for Vapour Compression Refrigeration Cycles, International Journal of Energy Research, (Int. J. Energy Res. 2006; 30: 323-347)
- [3] Selbas R, Kizilkan O, Sencan A, Thermoeconomic Optimization of Subcooled and Superheated Vapor Compression Refrigeration Cycle, (Energy 31 (2006) 2108-2128)
- [4] Sutandi, T., & Susilawati, Sumeru. Kaji Experimental Pemanfaatan Air Kondensat Pengkondisi Udara Sebagai Pendingin *Discharge* Kompresor.
- [5] Pramudantoro, T. P., & Sumeru. Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja *Freezer*. Prosiding Seminar Nasional XII.
- [6] Dossat, R. J. (1981). Survey of refrigeration application in. Principles of Refrigeration, 151.
- [7] ASHRAE. (2017): ASHRAE Handbook of Fundamental, SI Edition.
- [8] Rachmanda, Yudayasa. (2018). Analisa Temperatur Air, dan Diameter Pipa Precooler terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin, dengan Penambahan Sub-cooling.
- [9] Bagja, M. F. S., Mitrakusuma, W. H., & Pramudantoro, T. P., (2021). Kaji Eksperimental Peningkatan *Sub-Cooling* Kondeser Pada Kulkas Satu Pintu Menggunakan Air Kondensat. Kurvatek 6.
- [10] Zubair MS, Thermodynamics of a Vapor-Compression Subcooling, (Energy Vol. 19, No. 6, pp, 707-715, 1994)