

Rancang Bangun Sistem *Heat Pump* Untuk Pemanas Air

Yosafat Dwi Prasetyo¹, Bowo Yuli Prasetyo^{2,*}, Arda Rahardja Lukitobudi³

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

E-mail : *Bowo_yuli@polban.ac.id

ABSTRAK

Heat Pump merupakan suatu mesin yang dapat difungsikan baik untuk pendinginan maupun pemanasan dengan memanfaatkan panas dari kondenser. Kondenser biasanya didinginkan menggunakan *fan*, tetapi disini didinginkan melalui air dan panas airnya dimanfaatkan. Pada tugas akhir ini, *Heat Pump* difungsikan sebagai pemanas air, sistem ini akan memanfaatkan kompresor sebagai pemeran utama dan mengefisienkan energi panas yang dihasilkan lewat kondenser, pipa kondenser berada di dalam air yang ingin dipanaskan. Pemanasan air sebanyak 20 liter dapat dipanaskan sampai 40 °C dengan waktu 14 menit, sedangkan dari hasil perancangan didapat 16 menit. Secara keseluruhan hasil data yang diambil maka dapat disimpulkan sistem *heat pump* ini berhasil.

Kata Kunci

Heat Pump, Kompresor, Kondenser

1. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya pola pikir umat manusia menyebabkan dunia dapat sampai pada masa kini dengan segala hal yang serba modern dan tentunya memudahkan manusia dalam menjalankan kehidupan sehari-harinya. Dalam hal seperti ini pemanfaatan energi yang pada umumnya seringkali kita abaikan menjadi suatu hal yang dapat berguna, dengan pemanfaatan tersebut manusia dapat mengurangi biaya pengeluaran dalam pembelian *heat pump* yang cukup mahal. Maka dari itu dalam tugas akhir ini, penulis akan melakukan rancang bangun sistem *heat pump* dengan pemanfaatan *outdoor* dan kompresor unit *Air Conditioner* (AC).

Pada dasarnya *heatpump* merupakan sistem pemanfaatan kalor yang dilepaskan oleh kondenser sebagai pemanasan. *Heatpump* memiliki empat komponen utama seperti yang ada pada sistem refrigerasi, namun tujuannya ialah untuk melepaskan kalor pada temperatur yang tinggi. Pengaplikasian sistem *heat pump* biasanya adalah untuk pemanasan air dan pendingin udara dalam sebuah gedung/ruangan.

Potensi kalor terbuang dari kondenser AC saat ini hanya menjadi limbah energi yang terbuang ke lingkungan sekitar. Udara panas ini berpotensi sebagai sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk proses pemanas air. Jika dilihat dari potensi panas yang dihasilkan oleh suatu kondenser, maka udara terbuang ini akan sangat cocok sebagai pemanas air. Aplikasi *heat pump* dapat diterapkan pada beberapa proses

yang meliputi pengeringan, pemanas air, pemanas udara ruangan, dan yang lainnya. Beberapa penelitian tentang *heat pump* yang telah dilakukan untuk berbagai aplikasi diantaranya adalah analisis *heat pump* kompresi uap untuk pengering gabah [1].

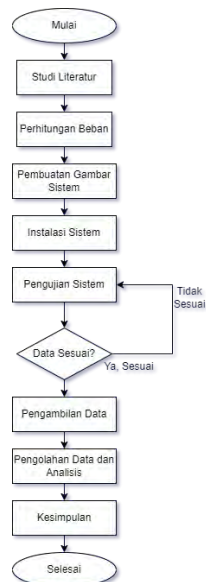
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan studi terhadap system *heat pump*. Salah satunya yang dilakukan oleh Fardiani, melakukan penelitian untuk mengetahui performansi *heat pump* dengan memvariasikan temperatur ambien, diantaranya pada temperatur 20°C, 27°C, dan 30°C [2]. Pada variasi yang dilakukan hasil yang diperoleh peneliti yaitu pada saat temperatur semakin tinggi maka nilai COP yang diperoleh akan semakin kecil. Sehingga, efisiensi paling maksimal pada sistem *heat pump* ini terdapat pada temperatur paling rendah.

Peneliti melakukan analisis tentang pengaruh beban pemanas air terhadap efisiensi kondensor pada system *heat pump*, dilakukan oleh suarnadwipa et al untuk mengetahui nilai efisiensi ketika menaikkan laju aliran volume [3]. Pada variasi tersebut dihasilkan temperatur pemanasan air menurun, laju panas kondensor pada sisi refrigeran dan sisi air mengalami penurunan dengan meningkatnya laju aliran volume air (beban pemanasan air) dan efisiensi kondensor yang dihasilkan maksimum terjadi pada beban pemanasan 4 liter/menit sebesar 84%.

Peneliti mencoba memvariasikan sistem *heat pump* yang menggunakan *heat exchanger* dan tidak menggunakan *heat exchanger* Kusnandar, et al [4]. Pada variasi yang dilakukan telah dihasilkan sebuah penelitian pada sistem *heat pump*, ketika *heat pump* menggunakan *counter flow heat exchanger* menghasilkan COP sebesar 4,8 dengan nilai efisiensi sebesar 85% sedangkan *heat pump* tanpa menggunakan *counter flow heat exchanger* menghasilkan COP sebesar 4,1 dengan nilai efisiensi sebesar 74%.

Penelitian ini berfokus pada perancangan alat pemanas air dengan memanfaatkan *condensing unit* (AC). Selain melakukan perancangan, peneliti juga akan menganalisis efisiensi pemanas air.

2. METODOLOGI

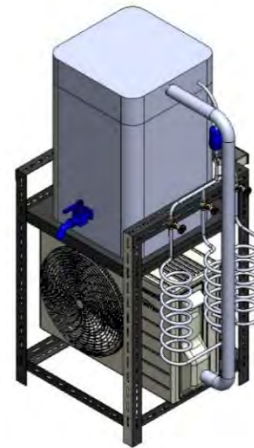


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan untuk melakukan rancang bangun dengan memanfaatkan kondenser AC, dijadikan sebagai sistem pemanas air mandi 20 Liter. Kompresor yang digunakan jenis hermatik dengan kapasitas 1/2 HP dan menggunakan refrigeran R-22.

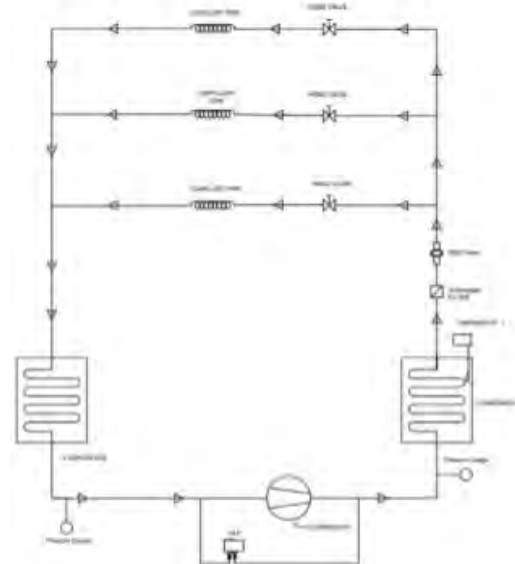
2.1 Rancangan Konstruksi Sistem

Kerangka sistem digunakan untuk dudukan ember sebagai komponen kondenser yang berisikan air di dalamnya, kerangka dipasang dengan kaki *outdoor unit* yang dihubungkan menggunakan baut, untuk kerangka ini dirancang untuk menahan berat sampai 20 liter lebih. Rancangan Kontruksi sistem *heat pump* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Kontruksi sistem *heat pump*
2.2 Rancangan Diagram Pemipaan

Diagram pemipaan sistem *heat pump* yang dirancang terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Pemipaan

2.3 Rancangan Sistem Kontrol Kelistrikan

Sistem kontrol kelistrikan yang dirancang terdapt pada gambar 4.

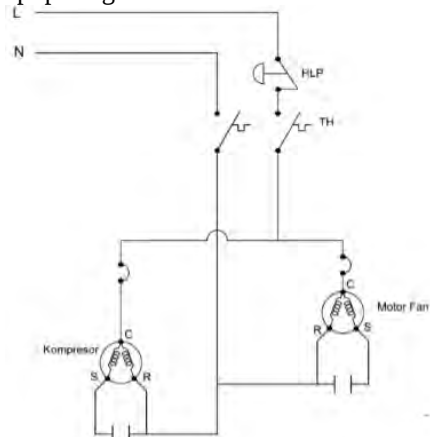


Diagram 4. Sistem kontrol kelistrikan

2.4 Komponen Sistem Heat Pump

Komponen yang digunakan pada sistem *heat pump* diantaranya sebagai berikut :

1. Pipa kapiler
2. Filter Dryer
3. *Sight glass*
4. *Hand valve*
5. *Pressure gauge*
6. *High low pressure switch*
7. *Termostat*

2.5 Metode Perhitungan

Persamaan proses evaporasi, Proses kompresi, proses kondensasi, dinyatakan pada persamaan (1), (2), dan (3).

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

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

$$q_c = h_2 \times h_3 \quad (3)$$

Persamaan beban kalor, beban transmisi, Δh evaporator, Δh kondenser, kapasitas kondenser, koefisien konveksi dinyatakan pada persamaan (4), (5), (6), (7), (8) dan (9).

$$Q = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \quad (4)$$

$$Q_{\text{loss}} = U \times A \times \Delta T \quad (5)$$

$$\Delta h_{\text{evap}} = h_1 - h_4 \quad (6)$$

$$\Delta h_{\text{konden}} = h_2 - h_3 \quad (7)$$

$$\text{kapasitas kondens} = \frac{\text{kapasitas evap}}{(\Delta h_{\text{konden}} / \Delta h_{\text{evap}}) \times 1000 - Q_{\text{loss}}} \quad (8)$$

$$h = \frac{Nu \times k}{d} \quad (9)$$

Persamaan COP dinyatakan pada persamaan (10) dan (11).

$$COP_{\text{actual}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (10)$$

$$COP_{\text{carnot}} = \frac{T_k}{T_k - T_e} \quad (11)$$

Persamaan efisiensi dan EER dinyatakan pada persamaan (12) dan (13).

$$\text{Efisiensi} = \frac{COP_{\text{actual}}}{COP_{\text{carnot}}} \times 100\% \quad (12)$$

$$EER = \frac{\text{Kapasitas pemanasan}}{\text{Daya Input}} \times 100\% \quad (13)$$

Persamaan LMTD dinyatakan pada persamaan (14), (15), dan (16)

$$\Delta T_o = T_{p_o} - T_{s_i} \quad (14)$$

$$\Delta T_i = T_{p_i} - T_{s_o} \quad (15)$$

$$LMTD = \frac{(\Delta T_o - \Delta T_i)}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)} \times 100\% \quad (16)$$

Persamaan Panjang pipa kondenser dinyatakan pada persamaan (17) dan (18)

$$A = \frac{\text{kapasitas kondenser}}{\text{konduktansi termal}} \times LMTD \quad (17)$$

$$\text{Panjang pipa kondenser} = \frac{A}{k} \times \text{diameter pipa} \quad (18)$$

Persamaan daya input dinyatakan pada persamaan (19)

$$P_{\text{in}} = V \times I \quad (19)$$

Keterangan :

q_e = Besar kalor yang diserap evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigerant keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigerant masuk evaporator (kJ/kg)

q_w = Besar kerja kompresi (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigerant keluar kompresor (kJ/kg)

q_c = Besar kalor yang dilepas kondenser (kJ/kg)

h_3 = Entalpi refrigerant keluar kondenser (kJ/kg)

Q = Kapasitas pemanasan (kW)

m = Massa beban (kg)

C_p = Kalor spesifik (kJ/kg.K)

ΔT = Perbedaan temperatur awal dan kabin ($^{\circ}\text{C}$)

U - Kontruksi

A = Luas permukaan

ΔT = Selisih T air dan T lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

h = Koefisien konveksi

Nu = Bilangan Nusselt
 d = Diameter dalam pipa
 k = Konduktifitas termal
 COP_{act} = *Coefficient of performance actual*
 COP_{car} = *Coefficient of performance carnot*
 T_k = Temperatur Kondensnsasi ($^{\circ}C$)
 T_e = Temperatur evaporasi ($^{\circ}C$)
 EER = *Energy efficiency ratio*
 T_{pi} = Temperatur *primary inside* ($^{\circ}C$)
 T_{po} = Temperatur *primary outside* ($^{\circ}C$)
 T_{si} = Temperatur *secondary inside* ($^{\circ}C$)
 T_{so} = Temperatur *secondary outside* ($^{\circ}C$)
 V = Tegangan (V)
 P_{in} = Daya *input* (kW)
 I = Arus (A)

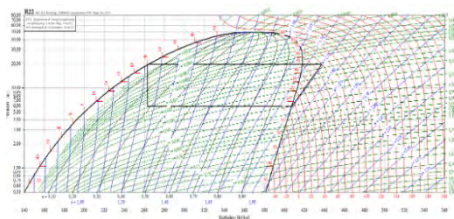
2.6 Data Awal Perancangan

Data perancangan dipergunakan sebagai acuan perhitungan beban pendinginan, pada sistem *heat pump*.

Ditahap plot diagram P-h, masukan temperatur *liquid line* sebesar $50^{\circ}C$, lalu tarik garis sejajar dengan entropi sampai menghasilkan diagram P-h yang ideal. Lalu didapatkan nilai enthalpi ($h_1, h_2, h_3 = h_4$), masukan kapasitas evaporator yang digunakan (1,465 KW), mencari kapasitas kondenser dengan melakukan perhitungan yaitu kapasitas evaporator dikali perbandingan antara nilai delta h *condenser* dengan delta h evaporator lalu dikali 1000 sehingga didapat nilai Q_c dalam satuan W.

Tabel 1. Data Awal Perancangan

Parameter	Nilai
Tekanan <i>Sucton</i>	6 Bar <i>absolute</i>
Tekanan <i>Discharge</i>	20 Bar <i>absolute</i>
T evaporasi	$5^{\circ}C$
T kondensasi	$50^{\circ}C$
T lingkungan	$28^{\circ}C$
T air	$40^{\circ}C$
Massa air	20liter
Heating time	1 jam/3600s
Tabel insulasi	0.05m



Gambar 5. Diagram P-h rancangan

Tabel 2. Nilai entalpi

Parameter	Nilai
h_1	408.62 kJ/kg
h_2	437.84 kJ/kg
h_3	263.57 kJ/kg

h_4 263.57 kJ/kg

Tabel 3. Perhitungan LMTD

Parameter	Nilai
LMTD paralel	22.2
LMTD <i>counter</i>	26

Tabel 4. Perhitungan panjang pipa kondenser

Parameter	Nilai
Diametet pipa	0.006
A	0.138
Panjang kondenser	6.922

Tabel 5. Perhitungan Q_{loss}

Parameter	Nilai
U (kontruksi)	51.902
A (luas permukaan)	1.0050
ΔT (T air – T lingkungan)	12K
Q_{loss}	625.963

Tabel 6. Perhitungan kapasitas pemanasan

Parameter	Nilai
Δh evaporator	145.05
Δh kondenser	174.27
Δh konden/ Δh evap	1.201
Kapasitas evap	1.465 kw
Kapasitas kondenser	1.760.548
Q_{beban}	1.823,14

2.7 Instalasi Pemipaan

Ada beberapa tahap yang dilakukan untuk melakukan instalasi sistem sebagai berikut:

1. Menentukan letak komponen yang dipilih
2. Menentukan desain gambar pemipaan
3. Mengukur pipa yang ingin digunakan
4. Memotong pipa sesuai dengan pipa yang sudah diukur
5. Merubah pemipaan unit *outdoor* yang semula kondenser menjadi evaporator
6. Menghubungkan antar komponen sistem menggunakan pipa dengan cara dilas dan yang menggunakan *nut* dengan cara di *flaring* terlebih dahulu
7. Bentuk pipa kondenser menggunakan alat bantu berupa kaleng yang berbentuk lingkaran, sehingga pipa yang dibentuk juga berbentuk lingkaran seperti per.

2.8 Instalasi Insulasi Kondenser

Sebelum semuanya dirangkai, ditahap ini adalah merakit ember yang digunakan untuk pemanasan air. Insulasi disini sangat penting untuk menahan kalor supaya tidak keluar, tahap instalasi insulasi:

1. Siapkan ember, *rockwool*, *alumuunium foil*, gunting, kawat jaring, isolasi *aluminium foil* dan meteran.

2. Ukur *rockwool* yang ingin di pasang diember, lalu gunting jika sudah diukur
3. Ukur kawat jaring juga sesuai ukuran, sesudah *rockwool* dipasang lalu pasang kawat dengan mengelilingi ember.
4. Ketika sudah terpasang semua maka *alumunium foil* selanjutnya dipasang.
5. Lalu isolasi agar alumunium foil merekat.

2.9 Instalasi Kelistrikan

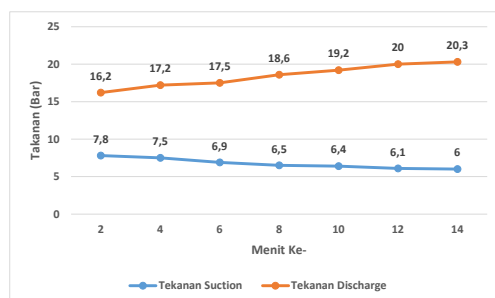
Setelah melakukan instalasi sistem selanjutnya instalasi kelistrikan, beberapa tahap sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat ingin dipasang.
2. Membuat desain diagram kelistrikan.
3. Pemasangan komponen kelistrikan.
4. Menghubungkan antar komponen menggunakan kabel yang disiapkan dan dipotong sesuai ukuran yang dibutuhkan.
5. Dipastikan tidak ada kabel yang tidak tertutup dengan bagian karetanya, jika ada tembaga yang terbuka maka ditutup dengan menggunakan isolasi listrik
6. Lakukan pengujian sistem kelistrikan.

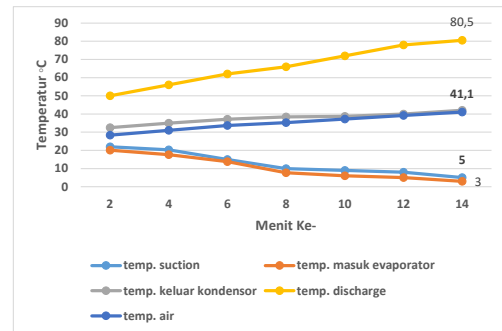
2.10 Prosedur Pengujian

Setelah sistem terancang, maka dilakukan pengujian terhadap sistem. Terdapat 5 termokopel pada satu termometer digital yang digunakan pada alat yang dirancang, spesifikasi alat ukur termometer digital dapat dilihat pada tabel 7[5]. Pembacaan arus pada sistem menggunakan tang amper dapat dilihat pada tabel 7[6]. Waktu pemanasan yang dilakukan dapat menggunakan *stopwatch*. Spesifikasi alat ukur *stopwatch* dapat dilihat pada tabel 7[7]. Data temperatur dan arus yang diperoleh kemudian dijadikan tolak ukur untuk mengetahui besar daya input, kapasitas pemanasan, perhitungan COP, efisiensi sistem yang dirancang. Serta mengetahui nilai EEE yang diperoleh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 6. Grafik tekanan terhadap waktu



Gambar 7. Grafik temperatur terhadap waktu

Perancangan telah berhasil dibuat dan diperoleh data pengukuran pada alat sebanyak 12 set.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai tekanan mengalami kenaikan dan penurunan setiap penambahan waktu. Tekanan discharge mengalami kenaikan, pada saat tekanan awal dimenit ke-2 tekanan *discharge* sebesar 16.2 bar, namun ketika semakin lama sistem dinyalakan perhalan sistem mengalami kenaikan tekanan. Tekanan tertinggi berada di menit ke-14 sebesar 20.3 bar. Sedangkan pada tekanan *suction* mengalami penurunan. Ketika sistem berada dimenit ke-2, nilai tekananya sebesar 7.8 bar, sedangkan ketika sistem dinyalakan semakin lama maka setiap kenaikan waktu tekanan *suction* mengalami penurunan. Tekanan terendah terdapat pada menit ke-14 sebesar 6 bar.

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai temperatur terhadap waktu mengalami kenaikan dan penurunan. Berdasarkan grafik bahwa temperatur *discharge* merupakan temperatur tertinggi dari temperatur lainnya. Hal ini dikarenakan temperatur *discharge* merupakan temperatur keluaran kompresor yang memiliki tekanan tinggi sehingga temperaturnya akan lebih tinggi. Ketika sistem dimenit ke-2 maka nilai temperatur *discharge* sebesar 50°C, semakin lama maka mengalami kenaikan, nilai tertinggi berada dimenit ke-14 sebesar 80,5°C. Temperatur *suction* mengalami penurunan semakin bertambahnya waktu, ketika dimenit ke-2 sebesar 22°C, nilai terendah berada di menit ke-14 sebesar 5°C. Temperatur keluar kondensor terhadap waktu mengalami kenaikan temperatur, nilai terendah berada dimenit ke-2 sebesar 32,5°C, nilai tertinggi berada dimenit ke-14 sebesar 42°C. Temperatur masuk evaporator mengalami penurunan temperatur semakin bertambahnya waktu, nilai tertinggi berada dimenit ke-2 sebesar 20°C sedangkan nilai terendah dimenit ke-14 sebesar 3°C. Temperatur air terhadap waktu mengalami kenaikan, temperatur air terhadap waktu berbanding lurus dengan temperatur air. Nilai terendah berada dimenit ke-2 28,4°C sedangkan

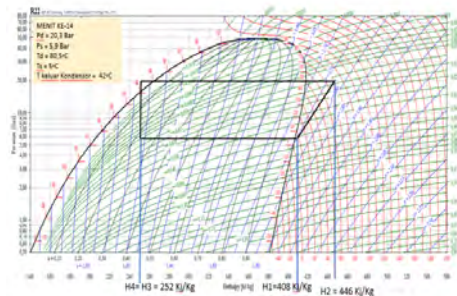
temperatur air tertinggi berada dimenit ke-14 sebesar 42°C. Temperatur lingkungan berada di temperatur yang konstan pada saat pengambilan data, sebesar 27°C.

Tabel 7. Perhitungan daya input

Parameter	Nilai
Tegangan (V)	223
Arus (A)	2.4
P_{in} (kW)	0.535

Tabel 8. Perhitungan Pemasn

Parameter	Nilai
M (kg)	20
C_p (kJ/kg.K)	4.2
$\Delta T(K)$	14
T (s)	855
Q_c (kW)	1.37



Gambar 8. Diagram P-h aktual

Tabel 9. Perhitungan COP_{actual}

Parameter	Nilai
h_1 (kJ/kg)	408
h_2 (kJ/kg)	446
h_3 (kJ/kg)	252
COP_{actual}	5.1

Tabel 10. Perhitungan COP_{carnot}

Parameter	Nilai
T_k (K)	325
T_e (K)	277
COP_{carnot}	6.8

Tabel 11. Perhitungan efisiensi

Parameter	Nilai
COP_{actual}	5.1
COP_{carnot}	6.8
Efisiensi	75%

Tabel 12. Perhitungan EER

Parameter	Nilai
Q_c (kW)	1.37
P_{in}	0.535
EER	2.56

Tabel 13. Data perbandingan waktu pemanasan

Parameter	Nilai
Data perancangan (menit)	16.28

Data Aktual (menit)

14.15

4. KESIMPULAN

Perancangan telah berhasil dibuat, dan pengujian pada alat dapat disimpulkan bahwa dari hasil perhitungan pemanasan air ternyata lebih cepat dari data rancangan yang semula 16,28 menit menjadi 14,15 menit. Harga mesin *Heat Pump* yang dibuat ternyata lebih murah dari harga mesin *Heat Pump* listrik pada umumnya. Dari sistem yang dibuat bahwa performansi mesin *heat pump* sebagai berikut :

- Daya input sebesar 0,535 KW
- Kapasitas Pemanasan 1,37 KW
- COP_{actual} 5,1
- COP_{carnot} 6,8
- Efisiensi *Heat Pump* sebesar 75%
- *Energy Efficiency Ratio* 2,56

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya atas dukungan finansial dari Politeknik Negeri Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Damawidjaya Biksono, Leopold Oscar Nelwan, Tineke Mandang, Dyah Wulandani, Yogi Sirodz Gaos, "Analisis Sistem Heat Pump Kompresi Uap untuk Pengeringan Gabah," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 4(2), 2016.
- [2] Disye, S. F, "Analisi Performansi Mesin Heatpump Berdasarkan Variasi Temperatur Ambien," *Laporan Tugas Akhir Politeknik Negeri Bandung*, 2018.
- [3] Suarnadwipa, I. N., & Murti, M. R, "Pengaruh Beban Pemanas Air Terhadap Efisiensi Kondensor Pada Sistem Hetpump," *Jurnal METTEK*, Vol. 2, pp. 126-131, 2017.
- [4] Kusnandar, F. S, "Analisa Performansi Heatpump Menggunakan Counter Flow Heat Exchangers," *Jurnal Teknologi Terapan (JTT) Polindra*, vol. 2, 2016.
- [5] Data teknis tang amper, diperoleh melalui : <https://alatproyek.com/tang-ampere-digital-digital-clamp-meter-kyoritsu-2007r.html>, 28 Juni 2023.
- [6] Data teknis termometer digital, diperoleh melalui : <https://w11stop.com/autonics-t4wm-temperature-indicator>, 28 Juni 2023.
- [7] Data teknis stopwatch, diperoleh melalui : <https://www.monotaro.id/s035239079.html>, 28 juni 2023

