

## KINERJA PEMANAS AIR DARI PANAS BUANG AIR CONDITIONER DENGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE*

Mustafa <sup>1</sup>, Reyhan Kiay Demak <sup>2</sup>, Muhammad Hasan Basri <sup>3</sup>

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin

Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta Palu <sup>1,2,3</sup>

email: [mustafa7mesin@yahoo.co.id](mailto:mustafa7mesin@yahoo.co.id) <sup>1</sup>; [Reyhan\\_kade@yahoo.com](mailto:Reyhan_kade@yahoo.com) <sup>2</sup>; [muhhasanbasri@yahoo.com](mailto:muhhasanbasri@yahoo.com) <sup>3</sup>

**Abstract: The Performance of Air Conditioner Water Heater with *shell and tube* Heat Exchanger.** Air Conditioner is a device that works to transfer heat from low temperature to high temperature. The heat absorbed from refrigerated space is discharged into the environment through the condenser device in the form of waste heat. In this study the waste heat from Air Conditioner is used for heating the water so that the waste heat can turn into useful energy, the waste heat from condenser is transferred into the water using a shell and tube heat exchanger with variations in water flow rate of 1, 2 and 3 LPM.

The test result for 3 hours experiment for each flow rate variation shows that the heat exchanger design can raise 60 Liter water temperature for 13-14 °C, there is no significant difference for the variation of water flow rate to the heat transfer rate into the water, but the combined COP of the process refrigeration and water heating shows the performance of the System with 1 LPM flow rate is better than 2 and 3 LPM.

**Key words:** Air Conditioner, Heat recovery, Water Heater, Shell and tube, Heat Exchanger.

**Abstrak: Kinerja Pemanas Air dari Panas Buang Air Conditioner dengan *Heat exchanger* Tipe *Shell and tube*.** Air Conditioner (AC) merupakan perangkat yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari temperatur rendah ke temperatur tinggi. Kalor yang diserap dari ruangan yang didinginkan dibuang ke lingkungan melalui perangkat kondensor dalam bentuk panas buang (*waste heat*). Pada penelitian ini panas buang pada perangkat AC digunakan untuk memanaskan air sehingga panas buang dapat dirubah menjadi energy yang berguna, panas buang pada kondensor dipindah kedalam air menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan variasi laju aliran air 1, 2 dan 3 LPM. Hasil pengujian selama 3 jam untuk tiap variasi laju aliran menunjukkan bahwa desain *heat exchanger* tersebut dapat menaikkan temperatur 60 Liter air sebanyak 13-14 °C, tidak terdapat pengaruh signifikan dari variasi laju aliran air terhadap laju transfer kalor kedalam air, akan tetapi COP gabungan dari proses refrigerasi dan pemanasan air menunjukkan kinerja Sistem dengan laju aliran 1 LPM lebih baik dibandingkan 2 dan 3 LPM.

**Kata Kunci:** Air Conditioner, *Heat recovery*, Pemanas Air, *Shell and tube*, *Heat Exchanger*.

### PENDAHULUAN

Air Conditioner (AC) merupakan perangkat yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan bantuan kerja yang dilakukan oleh kompresor, kalor yang dilepas kondensor ke lingkungan merupakan energi thermal kualitas rendah yang terbuang ke lingkungan (*waste heat*) sementara temperatur refrigeran yang keluar kompresor dapat berkisar pada suhu 60-90 °C, modifikasi pada perangkat air conditioner konvensional dapat dilakukan

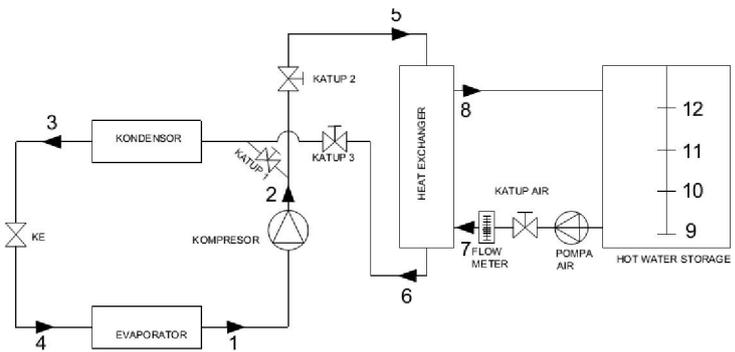
untuk memanfaatkan panas buang pada sisi kondensor untuk beberapa perangkat yang membutuhkan panas dengan temperatur rendah seperti pemanas air untuk air mandi dan kebutuhan domestik lainnya. Pemanas air konvensional umumnya menggunakan energi listrik atau bahan bakar gas yang merupakan energi kualitas tinggi yang tidak tersedia secara gratis, sedangkan panas buang dari kondensor merupakan energi kualitas rendah yang tersedia secara gratis, dengan memanfaatkan panas buang kondensor maka dapat dilakukan efisiensi

pemanfaatan energi dan mengurangi polusi thermal ke lingkungan.

Beberapa eksperimen telah dilakukan untuk memanfaatkan panas buang AC sebagai pemanas air, Monerasinghe (1982) melakukan eksperimen dengan memanaskan 40 liter air hingga temperatur 90°C menggunakan panas buang air conditioner selama 3,5 Jam. Santoso dkk (2013) melakukan pengujian dengan menggunakan Penukar panas yang dibuat dari pipa tembaga berdiameter 9,52 mm dan panjang 4,65 m, yang dibentuk menjadi heliks berdiameter 10 cm (14,8 lilitan). Penukar panas dimasukkan dalam sebuah tangki air dan ditempatkan di antara kompresor dan kondensor pada sistem AC. Penukar panas tersebut dapat menaikkan suhu 40 liter air sebesar 22,7 °C dalam waktu 68 menit. Pengujian Jiankai Dong dkk (2017) dengan menggunakan *plate heat exchanger* dengan luas permukaan 0,3 m<sup>3</sup> dapat memanaskan 100 Liter air dari 14.7 °C ke 42.7 °C dalam waktu 128.5 menit. Sedangkan hasil eksperimen yang menunjukkan pengaruh penambahan *heat recovery* terhadap konsumsi energi dilakukan oleh Shahram (2012) dimana gedung yang menggunakan *heat recovery* menunjukkan penurunan konsumsi energi mesin pendingin sebesar 11- 32 %.

Pada penelitian ini peneliti mencoba menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan luas permukaan 0.025 m<sup>2</sup> untuk memanaskan 60 Liter air selama 180 menit, variasi laju aliran air yang masuk ke *heat exchanger* adalah 1, 2, dan 3 LPM. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kinerja *heat exchanger* dengan luas permukaan 0.025 m<sup>2</sup> dan pengaruh penambahan Sistem *heat recovery* terhadap kinerja AC dengan refrigeran R410A.

**METODE PENELITIAN**



**Gambar 1.** Skema Alat Pengujian

Alat pengujian merupakan AC Split 1 PK Low Watt yang dimodifikasi dengan menambahkan perangkat *heat exchanger* dan hot water storage dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 1.** Spesifikasi *Heat Exchanger* dan *Water Storage*

Tipe Heat Exchanger		Shell And Tube
Luas Permukaan	0.025 m <sup>2</sup>	
Tube	Jumlah	1 buah
	OD	9.52 mm
	Panjang	750 mm
	Tebal	0.81 mm
	Bahan	Tembaga
Baffle	Jumlah	9 Buah
	Diameter	44 mm
	Sudut	120 °
	Tebal	1.1 mm
	Jarak Antar Baffle	75 mm
	Bahan	Tembaga
Shell	OD	48 mm
	Panjang	750 mm
	Bahan	PVC
Isolator	Wool dan Spon	

Hot Water Storage/ Tangki Air Panas		
Dimensi	Diameter	33
	Tinggi	800
	Tebal Plat	1.5
	Kapasitas	60 Liter
	Bahan	Stainless Steel
Isolator	Wool dan Spon	

**Tabel 2.** Spesifikasi Air Conditioner

Air Conditioner	
Tipe	Split Air Conditioner
Model	GMC09LW
Daya	680 Watt
Kapasitas	2638 Watt
Refrigeran	R410A
Massa Refrigeran	750 gram

Dilakukan 4 kali Pengujian yaitu 1 kali pengujian dengan kondisi standar (tanpa proses *heat recovery*) dan 3 kali pengujian dengan proses *heat recovery* dengan variasi laju aliran air 1,2 dan 3LPM. Pengujian dengan kondisi standar dilakukan dengan cara menutup katup 2 dan katup 3 dan membuka katup 1 sehingga uap refrigeran dari kompresor disirkulasikan menuju kondensor berpendingin udara lalu ke katup ekspansi dan evaporator selanjutnya kembali ke kompresor dan membentuk satu siklus, sedangkan pengujian dengan proses *heat recovery* dilakukan dengan menutup katup 1 dan membuka katup 2 dan 3 sehingga uap refrigeran dari kompresor dialirkan menuju *heat exchanger* baru kemudian dialirkan menuju kondensor berpendingin udara. Pada sisi *shell* dari *heat exchanger* dialirkan air yang akan dipanaskan menggunakan pompa dan diatur laju alirannya menggunakan modul PWM dan Katup. Parameter yang diukur adalah temperatur pada Sistem ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ), temperatur pada *heat exchanger* ( $T_5, T_6, T_7, T_8$ ), temperatur pada tangki penyimpanan air ( $T_9, T_{10}, T_{11}, T_{12}$ ), temperatur ruangan ( $T_{db}, T_{wb}$ ), tekanan sisi evaporator dan kondensor ( $P_1, P_2$ ), Laju aliran air pada flowmeter ( $\dot{V}$ ), dan arus listrik yang masuk kompresor ( $I$ ), pengujian dilakukan selama 180 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 menit.

Data hasil pengujian diolah menggunakan software NIST REFPROP

untuk memperoleh nilai entalpi pada setiap titik pengamatan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter kinerja yang akan diamati.

Kerja kompresor ( $w_c$ )  

$$w_c = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

Kerja Evaporator ( $q_e$ )  

$$q_e = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

kalor yang di transfer ke *heat exchanger* ( $q_{he}$ )  

$$q_{he} = h_6 - h_5 \text{ (kJ/kg)} \quad (3)$$

COP Refrigerasi ( $COP_R$ )  

$$COP_R = q_e / w_c \quad (4)$$

COP Total ( $COP_T$ )  

$$COP_T = (q_e + q_{he}) / w_c \quad (5)$$

Laju kalor tersimpan ( $Q_{rec}$ )  

$$\dot{Q}_{rec} = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_8 - T_7) \text{ (J/s)} \quad (6)$$

Dimana :

$\dot{V}$  = Laju aliran air (L/s)

$\rho$  = densitas air (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  = Kalor Spesifik air (J/kg.K)

Dimana persamaan  $\rho$  dan  $C_p$  didapat dari persamaan 7 dan 8 (Rogers, dkk , 1992)

$$\rho = 0.000015451T^3 - 0.0059003T^2 - 0.019075T + 1002.3052 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (7)$$

$$C_p = 0.000003216145833T^4 - 0.000798668982T^3 + 0.0780295139T^2 - 3.04816T + 4217.7377 \text{ (J/kg.K)} \quad (8)$$

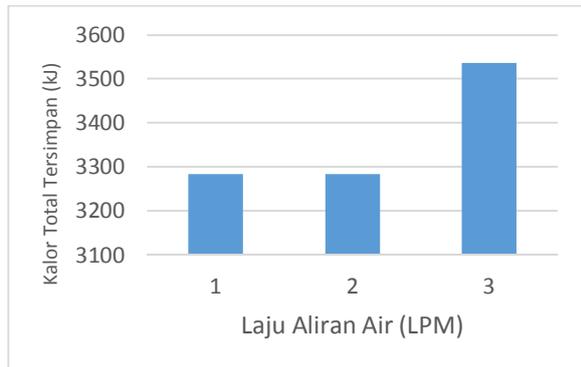
Dengan  $T = (T_7 + T_8) / 2$

## HASIL DAN DISKUSI

Analisis dari hasil pengujian menunjukkan kemampuan dari Sistem *heat recovery* yang telah dibuat dalam

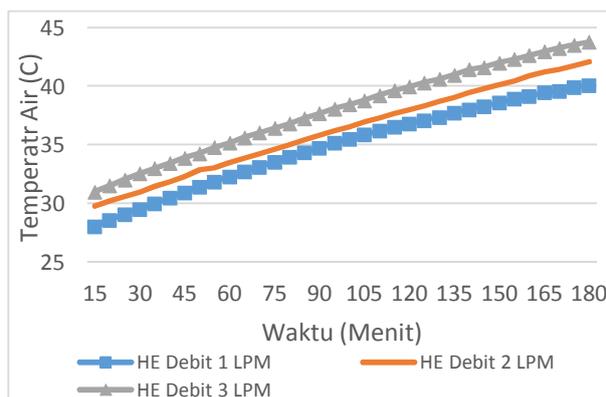
menyimpan panas ke dalam media air dan kinerja dari AC serta Sistem keseluruhan.

**Kinerja Sistem *heat recovery***



**Gambar 2.** Kalor Total Tersimpan

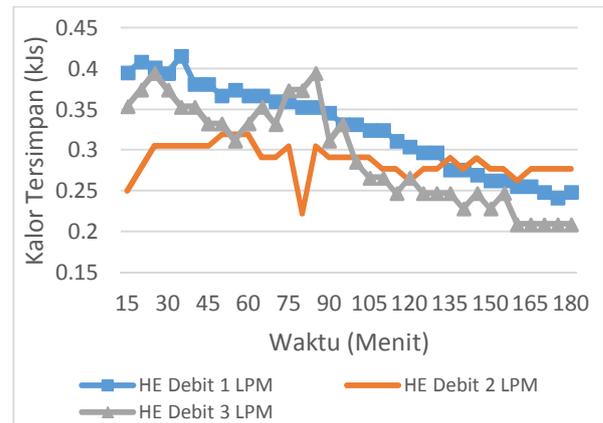
Energi panas yang dapat direcovery pada media air selama 3 jam pengujian adalah sebesar 3284 kJ sampai 3537 kJ, dari grafik pada gambar 2 terlihat bahwa tidak ada perbedaan pada variasi laju aliran 1 dan 2 LPM sedangkan pengujian dengan laju aliran 3 LPM menunjukkan hasil yang lebih baik.



**Gambar 3.** Temperatur *Hot Water Storage*

Hasil pengamatan pada temperatur rata-rata air didalam *hot water storage* menunjukkan peningkatan temperatur yang serupa pada ketiga variasi laju aliran, akan tetapi temperatur awal dari ketiga variasi pengujian tidak sama, hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur ruangan pada saat pengambilan data, pada variasi laju aliran air 1 dan 2 LPM

peningkatan temperatur air menunjukkan hasil yang sama 13,17 °C, sedangkan pada 3 LPM sebesar 14,2 °C.



**Gambar 4.** Laju Kalor Tersimpan Ke Air

Total Kalor tersimpan didalam air dalam waktu 180 menit menunjukkan bahwa variasi laju aliran air 3LPM menyerap kalor total 3537 kJ , lebih baik dibandingkan pada laju 1 dan 2 LPM yang menunjukkan hasil yang sama sebesar 3284 kJ , akan tetapi hasil analisis dari laju kalor tersimpan pada ketiga variasi justru menunjukkan fenomena yang berbeda, dari grafik pada gambar 4 terlihat bahwa laju kalor tersimpan per satuan waktu untuk laju 3 LPM lebih rendah dibandingkan laju 2 LPM dan 1 LPM, dari trend yang terlihat pada grafik tersebut semakin lama pengoperasian laju kalor tersimpan akan semakin menurun, kondisi ini disebabkan naiknya temperatur air yang masuk kedalam *heat exchanger* dan mempengaruhi laju perpindahan kalor pada heat exchanger. Dari hasil yang didapat pada percobaan ini dapat diamati bahwa variasi laju aliran air tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, bahkan terlihat kinerja dengan laju aliran 1 LPM lebih baik dibandingkan kedua variasi lainnya.

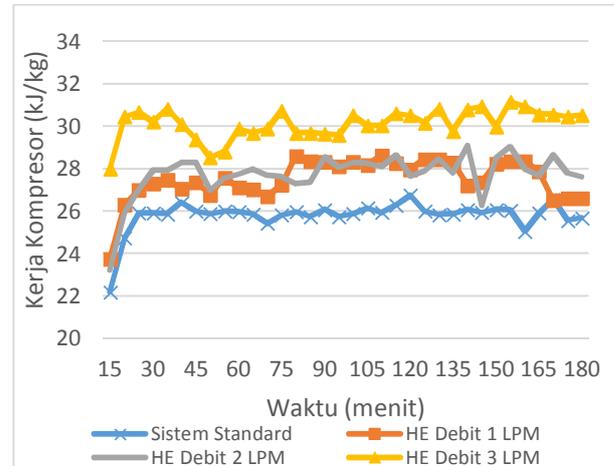
Kondisi berlawanan dengan hasil penelitian dari Murugesan MP (2012) dan

A. Alper Ozalp (2010) dimana peningkatan laju aliran massa dan reynold number dapat meningkatkan koefisien perpindahan kalor dan laju perpindahan kalor pada heat exchanger. Akan tetapi penelitian dari Pranit M Patil (2015) yang membandingkan efek perpindahan panas pada *heat exchanger* dengan variasi aliran laminar dan turbulen menunjukkan bahwa pada aliran laminar dengan reynold number lebih kecil dari 2000 tidak terjadi pemisahan pada aliran yang dekat dengan permukaan pipa sehingga kondisi ini tidak efisien untuk perpindahan panas, dan hasil perhitungan Reynold number untuk variasi debit 1, 2 dan 3 LPM menunjukkan nilai 483, 964 dan 1450 secara berurutan sehingga variasi debit tersebut berada pada kondisi aliran laminar. Hasil eksperimen dari Pranit M Patil (2015) juga menunjukkan peningkatan Nuselt Number yang tidak signifikan pada daerah aliran laminar sehingga berpengaruh terhadap peningkatan koefisien perpindahan panas yang tidak signifikan.

Hasil dari pengujian ini menunjukkan desain *heat exchanger* yang dibuat masih kurang efektif untuk menyerap kalor dari sisi kondensor, karena jumlah kalor yang ditransfer ke *heat exchanger* hanya sekitar 7-9 % dari kalor yang dilepas di kondensor dan kenaikan temperatur yang dicapai selama 180 menit sekitar 13 – 14 °C lebih rendah dibanding desain tipe *plate heat exchanger* yang digunakan oleh Jiankai Dong dkk (2017) dengan luas permukaan 0,3 m<sup>3</sup> yang dapat memanaskan 100 Liter air dari 14.7 °C ke 42.7 °C dalam waktu 128.5 menit. desain *heat exchanger helical* yang digunakan Santoso dkk (2013) dengan panjang 4,65 m, yang dibentuk menjadi heliks berdiameter 10 cm yang dapat menaikkan suhu 40 liter air sebesar 22,7 °C dalam waktu 68 menit. Dan desain kondensor dummy yang digunakan oleh

Azridjal dkk (2014) yang dapat meningkatkan suhu 50 Liter air sebesar 22,19 °C dalam waktu 120 Menit.

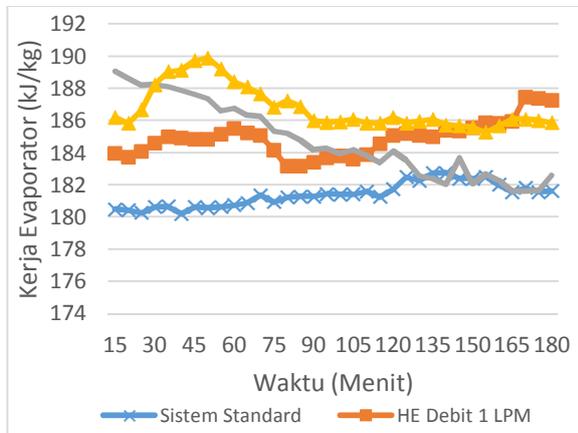
### Kinerja Sistem Air Conditioner



Gambar 5. Kerja Kompresor

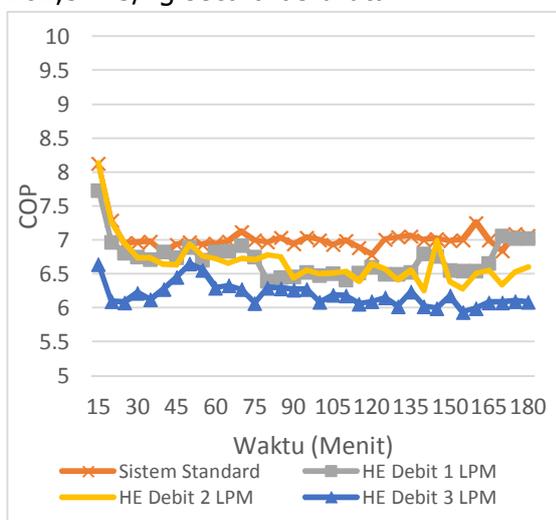
Kerja kompresor menunjukkan besarnya daya yang dibutuhkan kompresor untuk meningkatkan tekanan dan mengalirkan refrigeran didalam sistem kompresi uap, pada grafik diatas terlihat kerja kompresor per satuan massa pada Sistem standart tanpa proses *heat recovery* lebih rendah dibandingkan kerja kompresor pada Sistem dengan *heat recovery*, kerja kompresor per satuan massa untuk variasi laju aliran 1 dan 2 LPM menunjukkan hasil yang serupa, sedangkan kerja kompresor pada laju aliran 3 LPM lebih tinggi dibandingkan ketiga variasi lainnya. Pada grafik juga terlihat bahwa kerja kompresor cenderung konstan terhadap waktu. Tingginya kerja kompresor pada Sistem dengan *heat recovery* disebabkan oleh massa refrigeran yang bersirkulasi pada pada Sistem lebih besar dibandingkan dengan massa refriegeran pada Sistem standard, kondisi ini terjadi karena pada Sistem standar katup 2 dan katup 3 ditutup (lihat pada gambar 1) dan aliran refrigeran di bypass melewati katup 1 sehingga ada sejumlah refrigeran yang terperangkap

diantara katup 2 dan 3 yang tidak ikut bersirkulasi, kondisi ini sesuai dengan apa yang dikemukakan oleh Santanu dkk (2014) yang menyatakan bahwa kerja kompresor akan naik seiring dengan naiknya putaran kompresor dan massa refrigeran yang dimasukkan.



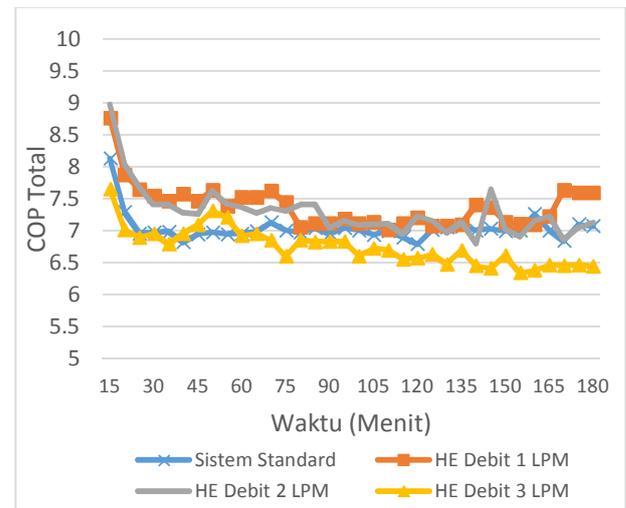
**Gambar 6.** Kerja Evaporator

Kerja evaporator per satuan massa fluktuatif terhadap waktu, berdasarkan rata-rata kerja kompresor saat steady (menit ke 15 s/d 180) didapatkan nilai rata-rata kerja kompresor tertinggi pada pengujian dengan laju 3 LPM, 1 LPM, 2 LPM dan Sistem Standar dengan nilai 186,78 kJ/kg, 184,9 kJ/kg, 184,79 kJ/kg, 181,37 kJ/kg secara berurutan.



**Gambar 7.** COP Refrigerasi

Kinerja refrigerasi terbaik ditunjukkan oleh Sistem standar dengan COP refrigerasi tertinggi disusul oleh kinerja dengan variasi laju aliran 1 LPM, 2 LPM dan 3 LPM, COP refrigerasi pada variasi 1 dan 2 LPM cenderung serupa hal ini karena nilai rata-rata kerja kompresor dan kerja evaporator pada kedua percobaan cenderung sama, sedangkan pada laju 3 LPM COP refrigerasi paling rendah walaupun memiliki kerja evaporator yang tertinggi, hal ini terjadi karena besarnya kerja kompresor tidak sebanding dengan besarnya kerja evaporator.



**Gambar 8.** COP Total

Pada COP total ditambahkan besarnya kalor yang ditransfer pada heat exchanger dan kerja evaporator sebagai output Sistem sehingga terlihat peningkatan nilai COP terhadap Sistem standar, dari ketiga variasi pada Sistem dengan *heat recovery* hanya variasi dengan laju 3 LPM yang menunjukkan COP Total yang lebih rendah 4% dibandingkan dengan COP Sistem standar, sedangkan pada variasi laju 1 dan 2 LPM menunjukkan COP Total yang lebih tinggi 5% dan 4% dibanding COP standar secara berurutan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja total dengan Sistem *heat recovery* dapat lebih baik dari kinerja Sistem standar.

## KESIMPULAN

Desain *heat exchanger* dengan tipe *shell and tube* yang memiliki luas permukaan 0.025 m<sup>2</sup> dapat menaikkan suhu 60 Liter air sebesar 13-14 °C dalam waktu 180 Menit, tidak terdapat perbedaan signifikan dari variasi laju aliran 1, 2 dan 3 LPM terhadap laju penyimpanan panas pada *hot water storage*

COP refrigerasi pada Sistem standar lebih baik dibandingkan COP refrigerasi pada Sistem dengan *heat recovery*, akan tetapi COP Total dengan memperhitungkan kalor yang diserap pada Sistem *heat recovery* menunjukkan kinerja total yang lebih baik 4-5 % dibandingkan Sistem standard.

## DAFTAR PUSTAKA

- A . Alper Ozalp, 2010, 'Combined Effects of Pipe Diameter, Reynolds Number and Wall Heat Flux and on Flow, Heat Transfer and Second-Law Characteristics of Laminar-Transitional Micro-Pipe Flows', *Entropy* 12, pp:445-472
- Azridjal Aziz, Heriswanto, Hardianto Ginting, Noverianto Hatorangan, Wahyudi Rahman, 2014, 'Analisis Kinerja Air Conditioning Sekaligus Sebagai Water Heater (ACWH)'. *Proceeding SNTI IV Universitas Trisakti* pp 5-1 s/d 5-6
- Daniel Santoso, F. Dalu Setiaji, 2013, Pemanfaatan panas buang pengkondisian udara sebagai pemanas air dengan menggunakan penukar panas helikal'. *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika* Vol. 12 No. 2 Oktober pp 129 – 140
- Jiankai Dong, Hui Li, Yang Yao, Yiqiang Jiang, Xinran Zhang, 2017, 'Experimental Study on The Performance of multi-functional Domestic Air Conditioner with Integrated Water Heater'. *Applied Thermal Engineering* 120 pp 393-401
- Murugesan M.P. and Balasubramanian R., 2012, 'The Effect of Mass Flow Rate on the Enhanced Heat Transfer Characteristics in A Corrugated Plate Type Heat Exchanger', *Research Journal of Engineering Sciences Vol.1 (6)*, pp: 22-26
- N.J. Monerasinghe., R. Ratnalingam, B.S. Lee , 1982, 'Conserved energy from room air-conditioners for water heating'. *Energi Convers. Mgmt* Vol. 22, pp. 171 - 173
- Pranit M. Patil , Amol P. Yadav , Dr. P. A. Patil, 2015, 'Comparative Study between Heat Transfer through Laminar Flow and Turbulent Flow'. *IJIRSET Vol 4 Issued 4* . pp: 2223-2226
- Rogers GFC, Mayhew YR, 1992, 'Thermodynamic and transport properties of fluids; SI Units. 4<sup>th</sup> ed'. UK: Blackwell Publishers.
- Santanu Prasad Datta, Prasanta Kumar Das, Sihdhartha Mukhopadhyay, 2014, 'Effect of refrigerant Charge, compressor Speed and Air Flow Through the Evaporator on the Performance of an Automotive Air Conditioning System' . *15<sup>th</sup> International Refrigeration and Air Conditioning Conference* 2399 pp 1-10
- Shahram Delfani, Hadi Pasdarsahri, Maryam Karami , 2012, 'Experimental investigation of heat recovery System for building air conditioning in hot and humid areas' *Energy and Buildings* 49 pp 62–68