

**PENGARUH VARIASI MASSA REFRIGERAN TERHADAP KINERJA
AIR CONDITIONER WATER HEATER (ACWH)**

***EFFECT OF REFRIGERANT CHARGE ON THE PERFORMANCE OF AN AIR
CONDITIONER WATER HEATER (ACWH)***

Reyhan Kiay Demak^{1*}, Mustafa², Muhammad Hasan Basri³

^{1,2,3}*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako. Jl. Sukarno Hatta Palu*

**Email: reyhan_kade@yahoo.com*

| | | |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Diterima 18-10-2017 | Diperbaiki 18-11-2017 | Disetujui 25-11-2017 |
|---------------------|-----------------------|----------------------|

ABSTRAK

Air conditioner water heater (ACWH) merupakan perangkat AC yang dapat memanaskan air menggunakan panas buang yang ditransfer melalui heat exchanger, perangkat heat exchanger menambah panjang jalur distribusi refrigerant sehingga dibutuhkan penyesuaian massa refrigerant dari standar rekomendasi pabrik. Hasil eksperimen pada ACWH dengan heat exchanger tipe helical, dan variasi massa refrigerant 700 gr, 750gr, 800 gr, dan 850 gr menunjukkan kinerja terbaik didapat pada massa refrigerant 800 gram dengan peningkatan temperatur 60 L air panas sebesar 21,4 °C dalam waktu 2 jam, dan COP total 14,5.

Kata Kunci: *air conditioner, water heater, massa refrigerant, helical heat exchanger.*

ABSTRACT

Air conditioner water heater (ACWH) is an AC device that can heat water using waste heat that is transferred through heat exchangers, heat exchanger device increasing the length of the refrigerant distribution channels so that required adjustments refrigerant mass of standard manufacturer's recommendations. The experimental results on ACWH with a helical heat exchanger, and the variation of the mass of refrigerant 700 gr, 750gr, 800 g and 850 g showed the best performance obtained on the mass of refrigerant 800 grams with an increase in temperature of 60 L of hot water at 21.4 ° C within 2 hours, and Total COP 14.5.

Keywords: *air conditioner, water heater, refrigerant mass, helical heat exchanger.*

PENDAHULUAN

Air Conditioner Water Heater (ACWH) merupakan perangkat AC konvensional yang digabungkan dengan perangkat pemanas air, sistem pemanas air pada ACWH bekerja dengan memanfaatkan panas buang pada kondensor, kalor yang umumnya dilepaskan ke lingkungan secara cuma-cuma dimanfaatkan untuk memanaskan air yang tersimpan pada tangki penampung (heat recovery system) sehingga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik. Pemanas air pada ACWH bekerja dengan energi yang gratis sehingga dapat menghasilkan kerja berguna dengan energi cuma-cuma. Pada umumnya sistem pemanas air yang banyak beredar di pasaran

adalah pemanas air bekerja dengan energi listrik, bahan bakar gas dan energi matahari, sistem pemanas dengan memanfaatkan energi listrik dan gas harganya cukup terjangkau akan tetapi memiliki biaya operasional yang cukup tinggi karena menggunakan sumber energi yang berbayar. Pada pemanas air tenaga matahari harga perangkat masih cukup tinggi dibandingkan dengan kedua sistem lainnya, akan tetapi sumber energi dari pemanas air tenaga matahari didapatkan secara cuma-cuma sehingga meningkatkan nilai ekonomis dari sistem tersebut.

Sistem pemanas air pada ACWH memiliki keunggulan diatas ketiga sistem yang telah dijabarkan sebelumnya dimana pada

ACWH energi yang digunakan merupakan energi terbuang sehingga biaya operasional untuk sistem pemanas ini dapat diabaikan. Input energi yang dibutuhkan pada sistem ACWH merupakan energi listrik yang utamanya digunakan untuk menggerakkan kompresor pada perangkat AC. Beberapa penelitian telah menunjukkan hasil positif dari penambahan perangkat pemanas air pada AC. Hasil penelitian terdahulu telah memaparkan kenaikan COP keseluruhan sebesar 32% pada perangkat ACWH [1]. Sebuah sistem terbaru *multi-functional domestic air conditioner with integrated water heater (MDACWH)* dapat menyediakan kebutuhan pendinginan ruangan dan pemanas air domestik dengan efektifitas tinggi, sistem tersebut memiliki kinerja 1,58 kali lebih baik dibanding sistem ACWH standar [2].

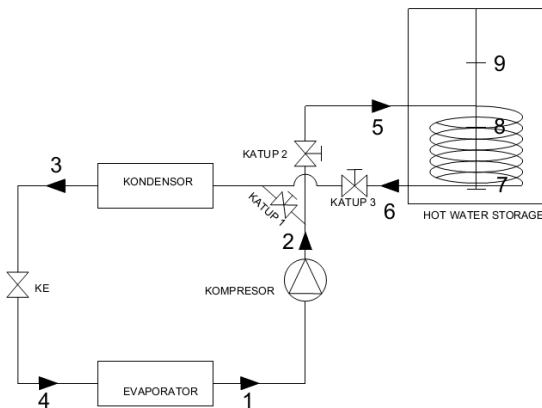
Sistem pemanas air pada ACWH merupakan perangkat *heat exchanger* yang bekerja dengan cara memindahkan kalor dari refrigerant bertemperatur tinggi yang keluar dari kompresor ke media air yang akan dipanaskan, desain dan dimensi dari *heat exchanger* tersebut bervariasi dengan kinerja yang berbeda-beda. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan *heat exchanger* tipe *plate heat exchanger* dengan luar penampang $0,3 \text{ m}^2$ [2], menggunakan *heat exchanger* tipe *helical* dengan panjang pipa $4,65 \text{ m}$ [3], dan *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan panjang pipa $0,75 \text{ m}$ [4].

Penambahan perangkat *heat exchanger* untuk sistem pemanas secara langsung menambah panjang pipa distribusi yang terletak diantara perangkat kompresor dan kondensor. Hasil pemodelan dari efek panjang pipa refrigerant pada perangkat AC dengan *dual evaporator*, menunjukkan adanya penurunan COP seiring dengan naiknya panjang pipa *refrigerant* dari 2 – 18 m [5], dan eksperimen yang dilakukan untuk mencari pengaruh panjang pipa *refrigerant* terhadap kinerja AC split, pada variasi panjang pipa 3, 4, dan 5 meter menunjukkan bahwa peningkatan panjang pipa menyebabkan adanya penurunan COP dan diiringi dengan penurunan laju aliran massa *refrigerant* [6]. Beberapa penelitian tentang pengaruh massa *refrigerant* menunjukkan adanya pengaruh massa *refrigerant* terhadap kinerja AC dimana penurunan COP akan terjadi pada kondisi kekurangan dan kelebihan *refrigerant*

[7-9]. Dan menurut *Acson Long Piping Application Manual* [10] dibutuhkan penambahan massa refrigerant seiring dengan bertambahnya panjang pipa untuk mengisi volume tambahan yang ada. Massa *refrigerant* standar yang tersedia pada unit cukup untuk panjang pipa standar 7,6 meter.

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan eksperimen pada perangkat ACWH dengan *heat exchanger* tipe *helical* dengan panjang pipa 9 meter. Variasi massa refrigeran 700 gram, 750 gram, 800 gram, dan 850 gram dimana massa *refrigerant* rekomendasi dari perangkat AC tersebut sebesar 750 gram. Pengujian dilakukan selama 120 menit dengan volume air pada tangki penyimpanan 60 Liter. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati kinerja ACWH dan sistem *heat recovery* terhadap variasi massa *refrigerant*.

METODOLOGI



Gambar 1. Skema Alat Pengujian

Alat pengujian yang digunakan berupa 1 Unit AC Split 1 PK Low Watt yang dimodifikasi dengan menambahkan perangkat *heat exchanger* dan *hot water storage* yang dirangkai seperti skema pada Gambar 1 dengan spesifikasi seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Heat exchanger, Hot Water Storage dan Air Conditioner*

| | | |
|---------------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Tipe <i>Heat Exchanger</i> | <i>Helical</i> | |
| Luas Permukaan | 0.634 m ² | |
| Dimensi | Panjang | 9 Meter |
| | OD | 9.52 mm |
| | Tebal | 0.81 mm |
| | Bahan | Tembaga |
| <i>Hot Water Storage / Tangki Air Panas</i> | | |
| Dimensi | Diameter | 33 |
| | Tinggi | 800 |
| | Tebal Plat | 1.5 |
| | Kapasitas | 60 Liter |
| | Bahan | Stainless Steel |
| Isolator | Wool dan Spon | |
| <i>Air Conditioner</i> | | |
| Tipe | <i>Split Air Conditioner</i> | |
| Model | GMC09LW | |
| Daya | 680 Watt | |
| Kapasitas | 2638 Watt | |
| Refrigeran | R410A | |
| Massa Refrigeran | 750 gram | |

Pada pengujian ini dilakukan Variasi Massa *Refrigerant Charge* dengan nilai 700, 750, 800, dan 850 gram untuk setiap pengujian, pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu sistem air conditioner standar tanpa proses *heat recovery* dan sistem dengan *heat recovery*.

Untuk menyeragamkan massa *refrigerant* yang masuk pada pengujian dengan sistem standar dan sistem *heat recovery* dilakukan beberapa prosedur dalam pengisian *refrigerant*. Langkah awal dimulai dengan pemvakuman sistem sehingga seluruh *refrigerant* dan udara yang ada didalam sistem dikeluarkan, selanjutnya Untuk metode pengujian standar tanpa sistem *heat recovery/water heater* proses *charging* dilakukan dengan menutup katup 2 dan katup 3 sehingga pada saat pengujian tidak ada sejumlah massa *refrigerant* yang terperangkap diantara katup 2 dan 3, selanjutnya pada metode pengujian dengan sistem *heat recovery* katup 2 dan 3 dibuka sedangkan katup 1 ditutup sehingga seluruh *refrigerant* yang keluar kompresor akan disirkulasikan melalui *heat exchanger* sebelum masuk ke kondensor.

Parameter yang diukur adalah temperatur pada Sistem (T_1, T_2, T_3, T_4), temperatur pada *heat exchanger* (T_5, T_6) temperatur pada tangki

penyimpanan air (T_7, T_8, T_9), temperatur ruangan (T_{db}, T_{wb}), tekanan sisi evaporator dan kondensor (P_1, P_2) dan arus listrik yang masuk kompresor (I), pengujian dilakukan selama 120 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)

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

$$W_c = m_{ref.} (h_2 - h_1) \text{ [kW]} \quad (2)$$

$$W_{el.Comp} = V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ [W]} \quad (3)$$

Laju aliran massa *refrigerant* ($m_{ref.}$)

$$M_{ref} = W_{el.comp} / w_c \cdot 1000 \text{ [kg/s]} \quad (4)$$

Kalor Yang diserap Evaporator (Q_e)

$$Q_e = m_{ref.} (h_1 - h_4) \text{ [kW]} \quad (5)$$

Kalor Yang dibuang Kondensor (Q_c)

$$Q_c = m_{ref.} (h_2 - h_3) \text{ [kW]} \quad (6)$$

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

$$Q_{he} = m_{ref.} (h_5 - h_6) \text{ [kW]} \quad (7)$$

COP Refrigerasi (COP_R)

$$COP_R = Q_e / W_c \quad (8)$$

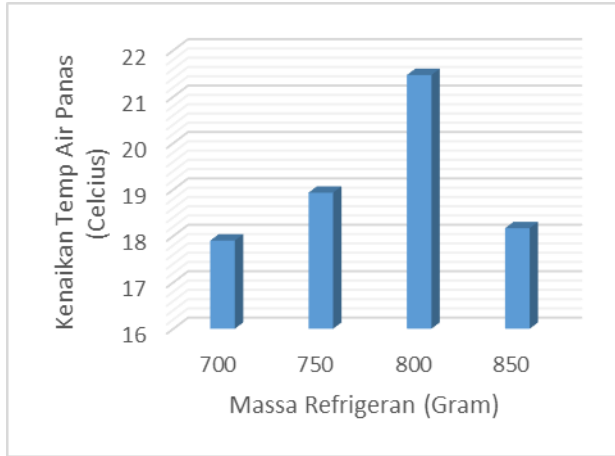
COP Total (COP_T)

$$COP_T = (Q_e + Q_{he}) / W_c \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

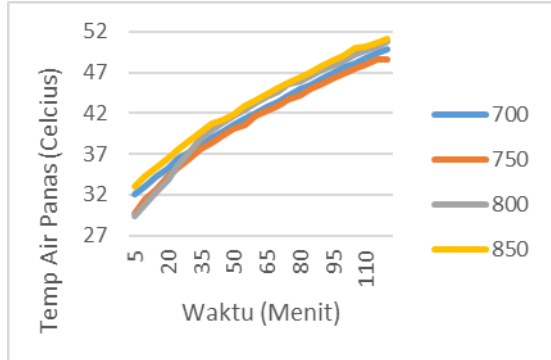
Kinerja *Heat recovery* Sistem

Hasil pengujian pada ACWH dengan sistem *heat recovery* yang menggunakan *heat exchanger* tipe *helical* dengan panjang 9 meter disajikan dalam bahasan berikut ini, data hasil pengujian yang disajikan diambil ketika sistem mulai beroperasi dalam kondisi stabil pada menit ke 15 s.d. 120.



Gambar 2. Variasi Massa Refrigerant terhadap Kenaikan Temperatur Air Panas

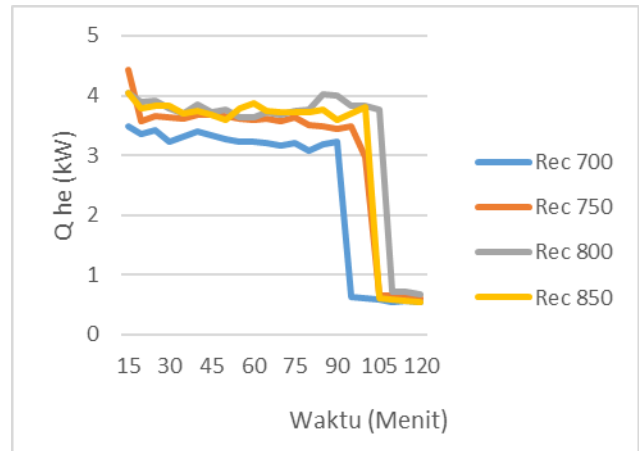
Kinerja *heat exchanger* pada sistem *heat recovery* tergambar pada Gambar 2, 3, dan 4. Pada Gambar 2 peningkatan massa *refrigerant* menghasilkan peningkatan selisih temperature air panas dari 17,9 °C ke 21,4 °C lalu turun ke 18,2 °C ketika massa *refrigerant* ditingkatkan menjadi 850 gram.



Gambar 3. Kenaikan Temperatur air Panas terhadap Waktu

Pada Gambar 3 terlihat peningkatan temperatur seiring dengan waktu pada keempat variable. Temperatur air pada tangki pemanas terus meningkat sampai batas waktu pengujian 120 menit dan masih berpotensi untuk terus meningkat apabila waktu pengujian diperpanjang karena belum tercapai kesetimbangan antara temperatur air dan temperatur *refrigerant* yang masuk *heat exchanger*, hasil pengamatan pada temperatur *refrigerant* yang masuk *heat exchanger* berkisar

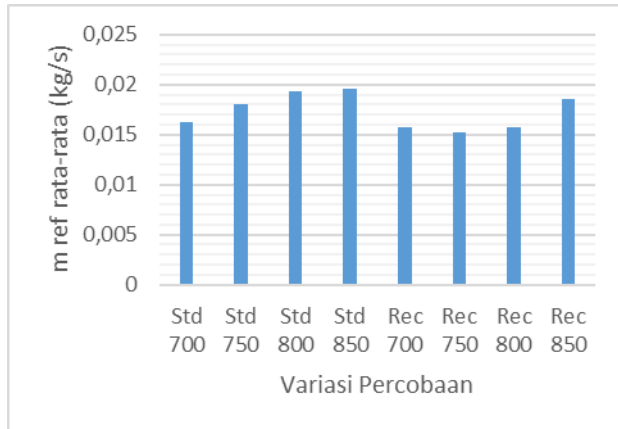
pada temperatur 63-67 °C. Akan tetapi besarnya kalor yang dilepaskan dari *refrigerant* ke air pada *heat exchanger* akan menurun secara signifikan di sekitar menit ke 95 s.d. 110 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Hal ini dikarenakan *refrigerant* yang keluar *heat exchanger* masih dalam fasa *superheat* sehingga selisih entalpi *refrigerant* yang keluar dan masuk *heat exchanger* cukup kecil jika dibandingkan dengan saat-saat awal pengujian dari menit 0 s.d. 95. Pada saat awal pengujian laju transfer kalor ke air masih cukup besar dikarenakan beda temperatur *refrigerant* dan air cukup besar sehingga *refrigerant* yang keluar dari *heat exchanger* dalam fasa cair terkompresi.



Gambar 4. Variasi Massa Refrigerant terhadap Laju Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger

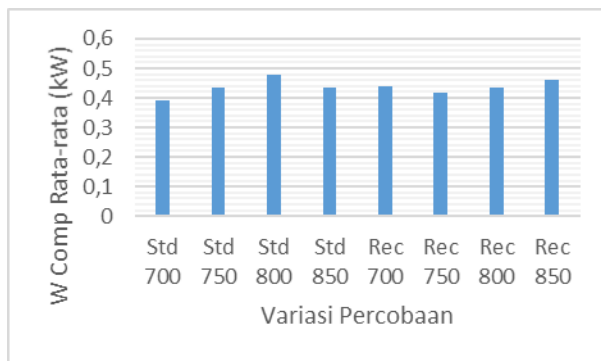
Pada Gambar 4 juga dapat diamati bahwa variasi massa *refrigerant* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*. Laju perpindahan kalor naik seiring dengan naiknya massa *refrigerant* dari 700 gram ke 800 gram, akan tetapi terjadi penurunan laju perpindahan kalor pada variasi massa *refrigerant* 850 gram sehingga laju perpindahan kalor pada variabel tersebut lebih rendah dibandingkan hasil pada pengujian dengan massa 800 gram.

Kinerja Sistem Air Conditoner



Gambar 5. laju Aliran Massa Refrigerant Rata-rata

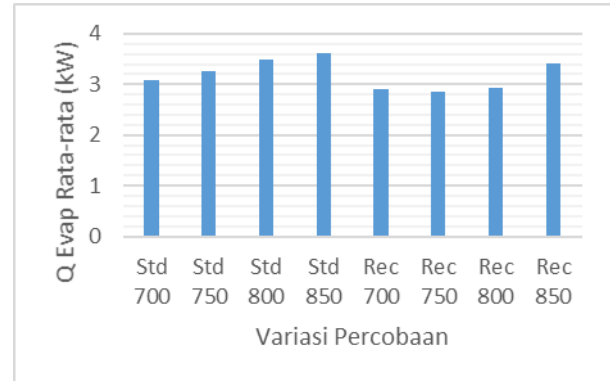
Gambar 5 menunjukkan peningkatan laju aliran massa refrigerant terhadap kenaikan massa refrigerant charge baik pada pengujian standar maupun pada pengujian dengan sistem heat recovery, akan tetapi laju aliran massa pada sistem dengan heat recovery lebih rendah dibanding pada sistem standar untuk setiap variasi massa refrigerant. Trend ini sesuai dengan penelitian terdahulu [7-9] yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah massa refrigerant akan menyebabkan naiknya laju aliran massa pada sistem.



Gambar 6. Kerja Kompresor Rata-rata

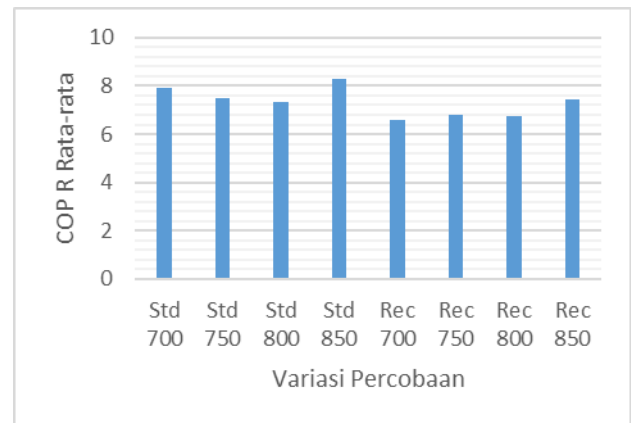
Trend dari kerja kompresor terhadap variasi massa refrigerant pada pengujian standar menunjukkan peningkatan hingga pada variabel 800 gram lalu mengalami penurunan pada variabel 850 gram, sedangkan pada pengujian dengan sistem recovery kerja kompresor

meningkat secara perlahan hingga pada variabel 850 gram seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 7. Kapasitas Refrigerasi Rata-rata

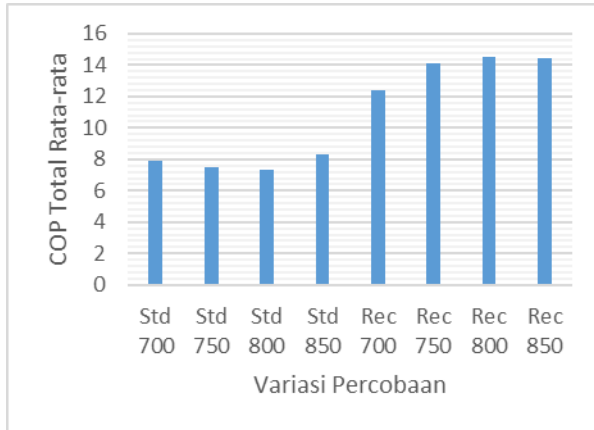
Kapasitas refrigerasi juga menunjukkan kenaikan terhadap naiknya jumlah massa refrigeran yang masuk pada sistem, tren ini juga terjadi pada pengujian dengan sistem recovery. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian terdahulu [7-9] dimana kerja kompresor dan kapasitas refrigerasi akan meningkat seiring dengan naiknya massa refrigerant charge, akan tetapi akan ada titik optimum yang terjadi sehingga peningkatan massa refrigerant charge setelah titik optimum tercapai justru akan menyebabkan kerja kompresor dan kapasitas refrigerasi mulai menurun.



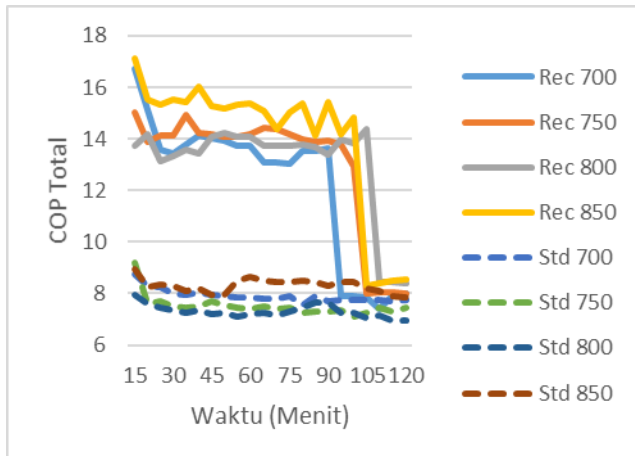
Gambar 8. COP Refrigerasi Rata-rata

Perbandingan COP refrigerasi pada Gambar 8 menunjukkan bahwa COP refrigerasi yang didapatkan oleh sistem standar lebih baik dibandingkan pada sistem dengan heat recovery

untuk setiap variasi massa refrigerant. Rendahnya COP refrigerasi pada sistem dengan *heat recovery* dibandingkan dengan sistem standar dapat disebabkan oleh penambahan panjang pipa sirkulasi yang terdapat pada *heat exchanger*. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi [5] dan hasil eksperimen [6] yang menunjukkan bahwa peningkatan panjang pipa *refrigerant* akan menghasilkan penurunan COP pada sistem refrigerasi.



Gambar 9. COP Total Rata-rata



Gambar 10. COP Total terhadap Waktu

Gambar 9 dan 10 menyajikan perbandingan COP Total antara kondisi pengujian standar dengan pengujian dengan sistem *heat recovery*, COP total pada sistem dengan *heat recovery* jauh lebih besar dibandingkan dengan COP pada sistem standar, hal ini dikarenakan output berupa kalor yang

disimpan kedalam air panas yang dihasilkan pada sistem dengan *heat recovery* ditambahkan dengan kapasitas refrigerasi sebagai bilangan pembilang dalam menghitung COP, dengan input kerja yang cenderung tetap output yang dihasilkan bertambah sehingga menyebabkan naiknya COP Total. Peningkatan COP total pada sistem dengan *heat recovery* sebesar 1,56 – 1,98 kali lebih baik dibandingkan dengan sistem standar pada setiap variasi massa *refrigerant*. Dan COP total terbaik didapatkan pada variasi massa *refrigerant* 800 gram.

Pada Gambar 10 terlihat COP total pada sistem dengan *heat recovery* mengalami penurunan drastis mulai pada menit ke 95 s.d. 110. Kondisi ini disebabkan turunnya kalor yang bisa ditransfer ke air panas yang terjadi karena naiknya temperatur air seiring dengan waktu. Akan tetapi nilai COP total pada sistem dengan *heat recovery* tetap lebih tinggi dibandingkan dengan sistem standar.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa variasi massa *refrigerant* berpengaruh terhadap kinerja ACWH, dimana massa *refrigerant* 800 gram menghasilkan kinerja terbaik dibandingkan dengan massa *refrigerant* rekomendasi pabrik dan variasi massa *refrigerant* lainnya untuk nilai COP Total, kalor yang dilepaskan pada *heat exchanger* dan temperatur air panas yang dapat dicapai.

SARAN

Dalam melakukan pengujian *air conditioner* dengan kondensor berpendingin udara, perlu dilakukan pengkondisian pada temperatur lingkungan karena sangat mempengaruhi temperatur kondensor dan kinerja *air conditioner*. Variasi pada temperatur *ambient* akan mempersulit dalam menentukan pengaruh variasi eksperimen terhadap kinerja *air conditioner*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Aziz, Herisiswanto, H. Ginting, N. Hatorangan, W. Rahman, "Analisa Kinerja Air Conditioning Sekaligus Sebagai Water

- Heater (ACWH),”Prosiding SNTI IV-2014 Universitas Trisakti*, hal. 5-1–5-6, 2014.
- [2] J. Dong, H. Li, Y. Yao, Y. Jiang, X. Zhang, “Experimental study on the performance of a multi-functional domestic air conditioner with integrated water heater,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 120, hal. 393–401, 2017.
- [3] D. Santoso dan F. D. Setiaji, “Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal,” *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 12, no. 2, hal. 129–140, 2013.
- [4] Mustafa, K. D. Reyhan, M. H. Basri, “Kinerja Pemanas Air dari Panas Buang Air Conditioner dengan Heat Exchanger Tipe Shell and Tube,” *Jurnal Mekanikal*, vol. 8, no. 2, hal. 752–758, 2017.
- [5] P. Yan, X. Xiangguo, X. Liang, D. Shiming, “A modeling study on the effects of refrigerant pipeline length on the operational performance of a dual-evaporator air conditioning system,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 39, hal. 15–25, 2012.
- [6] K.J. Tawfeeq, “Pipeline Length Effect on The Thermal Performance of Split Air Conditioning Sistem,” *AL- Taqani*, vol. 27, no. 1, hal. 90–98, 2014.
- [7] S.P. Datta, “Effect of Refrigerant Charge, Compressor Speed and Air Flow Through the Evaporator on the Performance of an Automotive Air Conditioning System,” *15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17*, no. 2399, hal. 1-10, 2014.
- [8] K. D. Reyhan, K. Anwar, S. Lugiwo, “Pengaruh Refrigerant Charging Terhadap Kinerja Mesin Pengkondisian Udara dengan Refrigerant Hidrokarbon MC22,” *Prosiding Seminar Nasional ke 2 Rekayasa Material, Sistem manufaktur dan Energi*, hal. 80-86, 2015.
- [9] J.M. Choi, Y.C. Kim, “The effects of improper refrigerant charge on the performance of a heat pump with an electronic expansion valve and capillary tube,” *Energy*, vol. 273, hal. 91–404, 2002.
- [10] *Acson Long Piping Application Manual*, 1st Edition, Acson International, hal. 2–3, 2005.