

## PENGARUH WATER STORAGE VOLUME TERHADAP UNJUK KERJA SOLAR ASSISTED HEAT PUMP WATER HEATER (SAHPWH) MENGUNAKAN HFC-134a

Wibawa Endra J<sup>1</sup>, Tri Istanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar - Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

### Keywords :

Heat Pump  
Collector  
HFC-134a  
Water Storage Volume  
COP

### Abstract :

*Solar assisted heat pump water heater (SAHPWH) was one of the applications from heat pump system with the solar collector addition on evaporator to absorb the heat from sunshine. The solar collector aimed to increase the refrigerant temperature in the evaporator. This research was conducted to test the performance of SAHPWH by using refrigerant HFC-134a with the variation of water storage volume at 50 l, 75 l, 100 l, 125 l, and 150 l. The experimental result showed that water storage volume enhancement was caused COP increased whereas water temperatur yielded decreased. When water temperature in condenser tank increased with time, refrigerant mass flow rate, heat capacity also increase, and at the same time COP value decreased. Average values of COP ranged from about 3.75 – 4.74 and water temperature in condenser tank varied between 29.0°C – 61.3°C.*

## PENDAHULUAN

Aplikasi sistem refrigerasi saat ini meliputi bidang yang sangat luas, mulai dari keperluan rumah tangga, pertanian, sampai ke industri gas, petrokimia, perminyakan, dan sebagainya. Berbagai jenis mesin refrigerasi yang bekerja berdasarkan berbagai proses dan siklus dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin refrigerasi siklus kompresi uap.

Pengkondisian udara merupakan salah satu aplikasi penting teknologi refrigerasi. Teknologi ini bisa menghasilkan dua hal esensial yang diperlukan dalam pengkondisian udara; yakni pendinginan dan pemanasan. Mesin pengkondisian udara yang bekerja sebagai pendingin biasanya disebut sebagai AC (*Air Conditioning*), sedangkan pada saat bekerja sebagai pemanas disebut sebagai pompa kalor (*heat pump*). Kedua fungsi tersebut bisa menyatu dalam satu mesin refrigerasi, bisa juga terpisah menjadi dua bagian, tergantung pada mekanisme yang digunakan.

*Solar assisted heat pump water heater* (SAHPWH) merupakan salah satu aplikasi dari sistem pompa kalor dengan penambahan kolektor yang menyatu dengan evaporator. Penambahan kolektor untuk menyerap panas dari sinar matahari dimana bertujuan untuk meningkatkan temperatur refrigeran pada evaporator. Dalam aplikasinya SAHPWH digunakan untuk memanaskan air dengan memanfaatkan energi panas yang keluar dari kondensor.

Selama ini kebanyakan masyarakat masih menggunakan pemanas air elektrik atau *solar water heater* untuk memanaskan air daripada menggunakan pompa kalor. Pada dasarnya pompa

kalor memiliki fungsi yang sama dengan pemanas elektrik, akan tetapi menggunakan pompa kalor lebih efisien, hal ini dikarenakan konsumsi listrik yang diperlukan lebih sedikit dibanding pemanas elektrik untuk kapasitas pemanasan yang besar. Sebagai alat pemanas air alternatif dapat diaplikasikan dalam keperluan sehari - hari, misalnya pada perkantoran, rumah sakit atau rumah tangga.

Konsumsi listrik pada pompa kalor hanya digunakan untuk menggerakkan kompresor yang berfungsi untuk mensirkulasikan refrigeran ke semua komponen di dalam mesin refrigerasi. Pemakaian pompa kalor dapat mengurangi efek rumah kaca yang disebabkan oleh emisi gas buang dari penggunaan alat konvensional dengan BBM, dan pompa kalor dapat bekerja hingga malam hari, mudah dalam instalasinya serta dapat menghasilkan air panas yang lebih panas setiap harinya dibandingkan dengan *solar water heater*. Begitu juga dengan SAHPWH yang mempunyai kesamaan atau kelebihan dengan pompa kalor tersebut (Morrison, 2001).

Kebutuhan air panas untuk setiap instansi atau perorangan adalah berbeda antara satu dengan yang lain. Volume dari tangki air panas disesuaikan dengan kebutuhan air panas dalam instansi tersebut, sehingga perencanaan mengenai sistem pemanas air yang baik sangat membantu untuk mengoptimalkan unjuk kerja dari sistem pemanas air tersebut. Untuk itu diperlukan suatu penelitian untuk mempelajari pengaruh *water storage volume* dari tangki air panas tersebut terhadap unjuk kerja sistem pemanas airnya. Penelitian ini menguji unjuk kerja SAHPWH dengan memvariasikan *water storage volume* dari tangki air yang akan dipanaskan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Ito et al (1999) menyatakan bahwa energi surya dapat digunakan untuk memanaskan refrigeran di dalam evaporator dari sebuah pompa kalor. Dengan menggunakan sebuah kolektor surya sebagai media penguap, temperatur penguapan dari refrigeran di evaporator akan naik karena penyerapan energi panas radiasi surya oleh evaporator, sehingga menghasilkan unjuk kerja pompa kalor yang lebih tinggi.

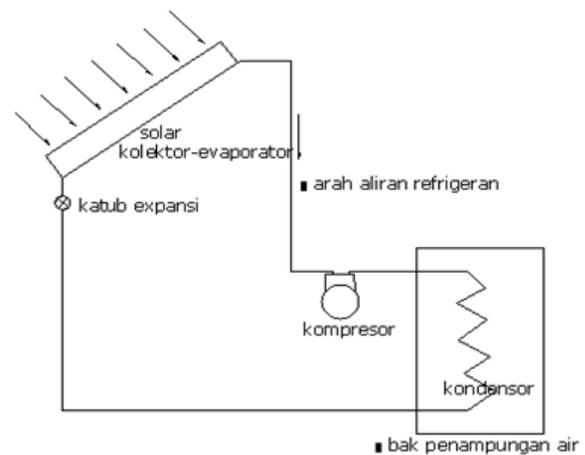
Hawlder et al (2000) melakukan penelitian tentang prestasi dari sistem *solar assisted heat pump water heater*, dimana dalam sistem tersebut ditambahkan kolektor surya plat datar sebagai evaporator dan refrigeran yang digunakan adalah R-134a. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa dengan bertambahnya *water storage volume*, maka temperatur kondensor menurun bersamaan dengan penurunan temperatur refrigeran pada evaporator sehingga menyebabkan kehilangan energi panas yang lebih rendah pada sisi kolektor dan menaikkan efisiensi kolektor dan COP.

Anderson et al (2002) melakukan penelitian untuk menentukan unjuk kerja dari *solar-boosted heat pump water heater*. Sistem memanfaatkan kolektor plat datar dari bahan alumunium untuk menyerap sinar matahari dan energi lingkungan serta menggunakan refrigeran R-22. Energi diserap dan kemudian ditransfer ke air di dalam tangki oleh pipa-pipa kondensor. Dalam penelitian tersebut salah satunya dilakukan pada berbagai kondisi beban. Sebuah siklus pemanasan penuh dimana melibatkan pemanasan tangki yang berisi hanya air dingin, sebuah siklus pemanasan setengah dimana tangki diisi dengan setengah air panas dan setengah air dingin, dan sebuah siklus pemanasan singkat dimana sejumlah kecil air panas dibuang dan diganti dengan air dingin. Siklus-siklus ini diulangi lebih dari periode 24 jam selama bulan Februari di Sydney, Australia. Didapatkan hasil bahwa COP tertinggi dihasilkan untuk tangki yang berisi penuh air dingin, dan COP dari ketiga siklus tersebut menurun seiring dengan bertambahnya waktu.

Kim et al (2004) melakukan penelitian tentang sebuah model dinamik dari sebuah sistem pemanas air yang digerakkan oleh sebuah pompa kalor yang dirancang untuk menyelidiki perilaku termal transien dari sistem yang terdiri dari sebuah pompa kalor dan sebuah lintasan sirkulasi air panas. Unjuk kerja dinamik dievaluasi sebagai perubahan temperatur air panas untuk berbagai ukuran tangki penyimpanan (*reservoir*) air panas. Dalam penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin kecil volume *reservoir* maka COP dari sistem akan mengalami penurunan.

Pada dasarnya sistem SAHPWH bekerja berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap. SAHPWH ini terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator yang menyatu dengan kolektor surya plat

datar. Susunan 4 komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1. Energi surya dapat digunakan untuk memanaskan refrigeran di dalam evaporator dari sebuah pompa kalor dengan menggunakan sebuah kolektor surya plat rata sebagai media penguapan/evaporator. Temperatur penguapan dari refrigeran akan naik karena penyerapan energi panas radiasi surya oleh evaporator, sehingga menghasilkan unjuk kerja pompa kalor yang lebih tinggi.



Gambar 1. Skema dasar SAHPWH.

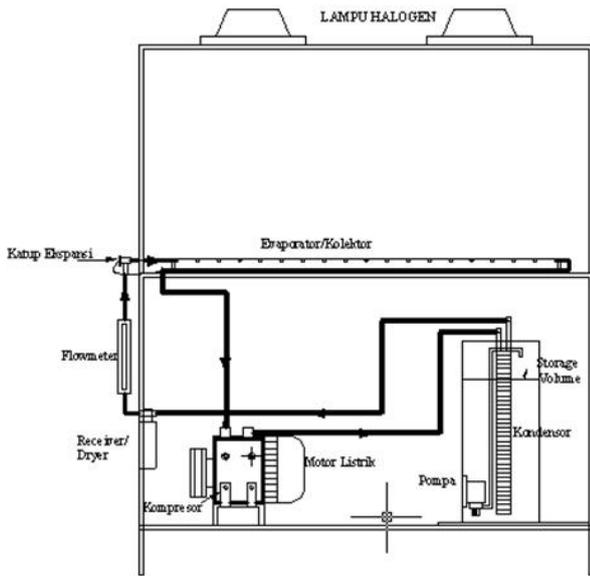
## METODOLOGI PENELITIAN

Skema SAHPWH dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam penelitian ini intensitas radiasi surya disimulasikan dengan 2 buah lampu halogen. Spesifikasi komponen SAHPWH dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengujian dilakukan pada sistem SAHPWH yang statis. Kondisi yang konstan adalah temperatur ruangan, putaran kompresor dan intensitas radiasi, sedangkan kondisi yang diubah-ubah adalah intensitas radiasi. Pada pengujian ini data yang akan diamati meliputi temperatur refrigeran dan air, tekanan, dan debit aliran massa refrigeran. Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian ini adalah sebagai berikut :

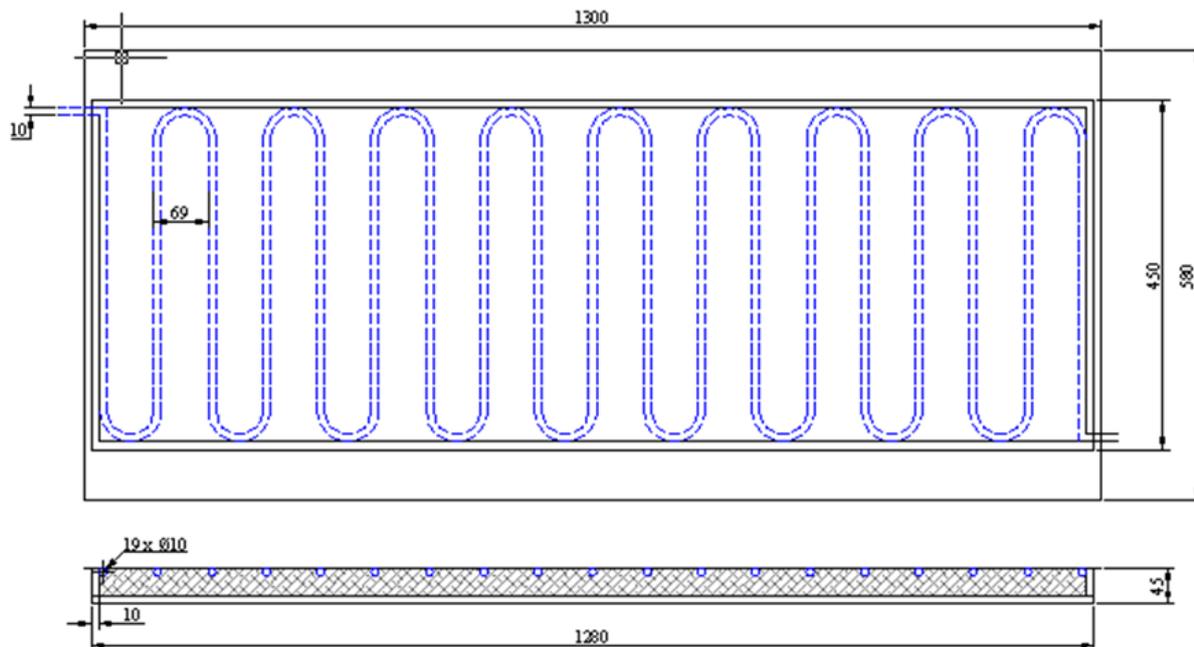
1. Sebelum *dicharging*, sistem harus divakum terlebih dahulu. Kemudian dидiamkan beberapa saat untuk memastikan apakah sistem mengalami kebocoran. Apabila tekanan *pressure gauge* naik, maka sistem mengalami kebocoran sehingga harus dilakukan tindakan untuk mengatasinya.
2. Mengisi pelumas kompresor ke dalam sistem.
3. Mengisi refrigeran sampai tekanan tertentu dan mencatat berat refrigeran dengan timbangan digital yang dimasukkan ke dalam sistem.
4. Menyalakan lampu halogen sebanyak 2 buah dan mengatur intensitas radiasi pada permukaan kolektor sebesar  $600 \text{ W/m}^2$  yang diukur dengan *pyranometer*.

5. Mengukur besar putaran kompresor dengan *stroboscope* dan mengatur putaran kompresor tersebut sebesar 1000 rpm dengan menggunakan *inverter*.
6. Mengisi *water storage volume* sebesar 50 l.
7. Menyalakan *power supply*.
8. Menjalankan sistem SAHPWH.
9. Mencatat seluruh data temperatur, tekanan, debit aliran massa refrigeran setiap 20 menit selama 140 menit.
10. Alat uji harus dinetralkan terlebih dahulu pada kondisi pengujian sebelumnya untuk periode pengujian yang lain.
11. Percobaan diulangi untuk variasi *water storage volume* sebesar 75 l, 100 l, 125 l dan 150 l.



Gambar 2. Skema SAHPWH yang digunakan.

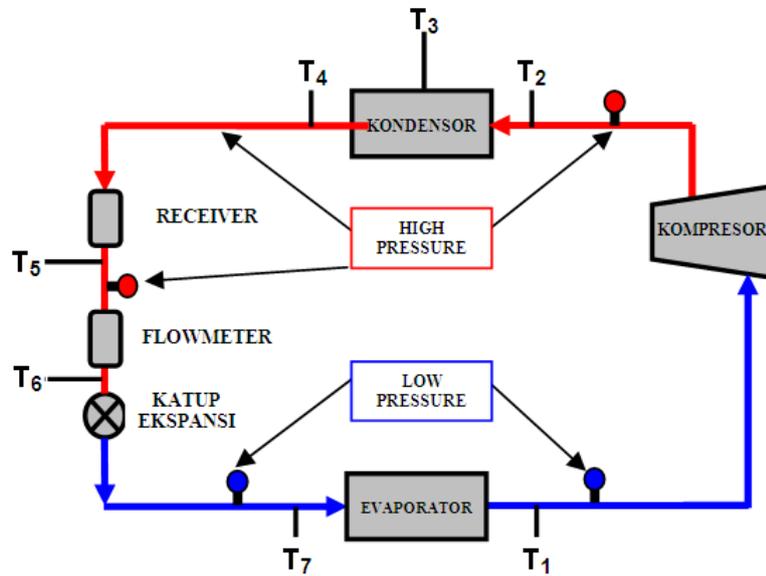
Gambar 3. Alat penelitian SAHPWH.



Gambar 4. Skema evaporator/kolektor.

Tabel 1. Spesifikasi komponen SAHPWH.

1. Kolektor / evaporator	
a. Luasan	7540 mm <sup>2</sup>
b. Pelat penyerap	Aluminium, tebal 1 mm
c. Perlakuan permukaan	Cat hitam
d. Pipa	Tembaga, d <sub>out</sub> 9,8 mm, d <sub>in</sub> 8 mm, spasi 12 mm
e. Isolasi	Styrofoam, Glasswool, tebal 150 mm
f. Casing	Kayu
2. Kompresor	Tipe torak, 1 silinder Penggerak motor listrik 3 HP (3 phase)
3. Kondensor / tangki air	
a. Ukuran	60 liter
b. Isolasi	Styrofoam
4. Katup Ekspansi	Tipe <i>Internal Equalizing</i>
5. Flowmeter	<i>Variable Area Glass Flowmeter Dwyer</i> tipe VA20440
6. Refrigeran	Klea HFC-134a



Gambar 5. Titik-titik pengambilan data temperatur dan tekanan dari sistem SAHPWH.

Berdasarkan data hasil pengujian, yaitu berupa temperatur, tekanan, laju aliran massa refrigeran, temperatur air, maka dapat dilakukan analisis terhadap sifat-sifat dari refrigeran untuk setiap variasi *water storage volume* dengan menggunakan software REFPROP. Setelah sifat-sifat dari refrigeran diketahui, maka dapat dilakukan perhitungan dan analisis mengenai pengaruh *water storage volume* terhadap unjuk kerja dari SAHPWH.

Indeks prestasi ini dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi atau COP (*Coefficient of Performance*).

1. COP siklus *Heat Pump* standar (COP<sub>ideal</sub>) (Cengel, 1992)

$$COP_{ideal} = \frac{Q_H}{W_{komp}} = \frac{\dot{m}_{ref} (h_2 - h_3)}{\dot{m}_{ref} (h_2 - h_1)} \quad (1)$$

dimana:

$W_{komp}$  = kerja kompresor (kW)

•

$\dot{m}_{ref}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_1$  = entalpi refrigeran keluar evaporator/masuk kompresor pada tekanan evaporator (kJ/kg)

$h_2$  = entalpi refrigeran masuk kondensor/keluar kompresor pada tekanan kondensor (isentropik) (kJ/kg)

2. COP<sub>aktual</sub> (Moran, 2006)

$$COP_{aktual} = \frac{Q_H}{W_{komp}} = \frac{\dot{m}_{ref} (h_{2a} - h_3)}{\dot{m}_{ref} (h_{2a} - h_1)} \quad (2)$$

dimana:

$h_{2a}$  = entalpi refrigeran masuk kondensor (kJ/kg)

3. Laju aliran massa refrigeran

$$\dot{m}_{ref} = \rho \cdot Q \quad (3)$$

dimana :

- $\rho$  = densitas refrigeran ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Q$  = debit aliran refrigeran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

4. Kapasitas panas yang dilepas kondensor

$$Q_{kond} = \dot{m}_{ref} \times (h_{2a} - h_3) \quad (4)$$

dimana :

- $Q_{kond}$  = kapasitas panas dari kondensor (kW)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

a. Pengaruh *water storage volume* terhadap temperatur air yang dipanaskan.

Gambar 6 menunjukkan grafik temperatur air terhadap waktu dengan variasi *water storage volume*. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa temperatur air meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengujian, tetapi temperatur air semakin menurun dengan bertambahnya *water storage volume*. Hal tersebut dikarenakan air mendapatkan panas secara terus menerus dari sistem. Panas tersebut berpindah karena adanya perbedaan temperatur antara fluida kerja yang berada di dalam kondensor dengan temperatur air. Panas yang keluar dari kondensor digunakan untuk menaikkan temperatur dari air tersebut. Dengan jumlah intensitas cahaya matahari yang dimasukkan ke dalam sistem yang besarnya konstan untuk setiap variasi, maka dengan bertambahnya *water storage volume* waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air akan semakin lama, sehingga didapatkan hasil temperatur air yang semakin rendah untuk *water storage volume* yang semakin besar.

b. Pengaruh *water storage volume* terhadap  $COP_{HP}$  dan  $COP_{aktual}$ .

Gambar 7 dan 8 menunjukkan grafik  $COP_{HP}$  dan  $COP_{aktual}$  terhadap waktu variasi *water storage*

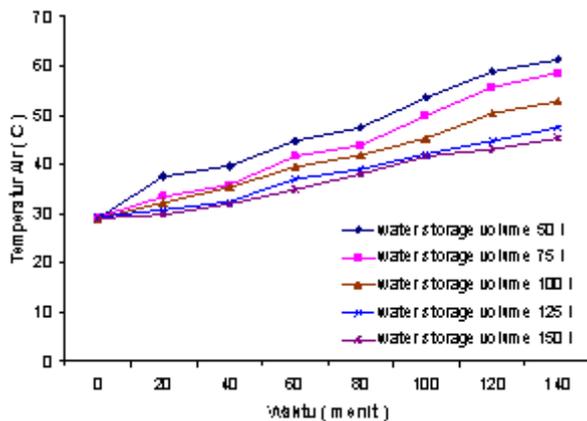
*volume*. Pada grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai  $COP_{HP}$  lebih tinggi bila dibandingkan dengan  $COP_{aktual}$ , hal ini disebabkan karena pada kondisi aktual terjadi kerugian - kerugian, seperti penurunan tekanan dan gesekan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor dan evaporator.

Pada gambar 7 dan 8 terlihat bahwa  $COP_{aktual}$  dan  $COP_{HP}$  cenderung turun terhadap waktu. Dengan semakin bertambahnya waktu, maka perbedaan antara temperatur air dan fluida kerja di dalam kondensor semakin kecil, sehingga perpindahan panas yang terjadi akan semakin berkurang. Dengan berkurangnya perpindahan panas di dalam kondensor, akan menyebabkan beda entalpi ( $\Delta h$ ) di kondensor semakin kecil, sehingga memberikan nilai COP dari sistem yang semakin kecil pula.

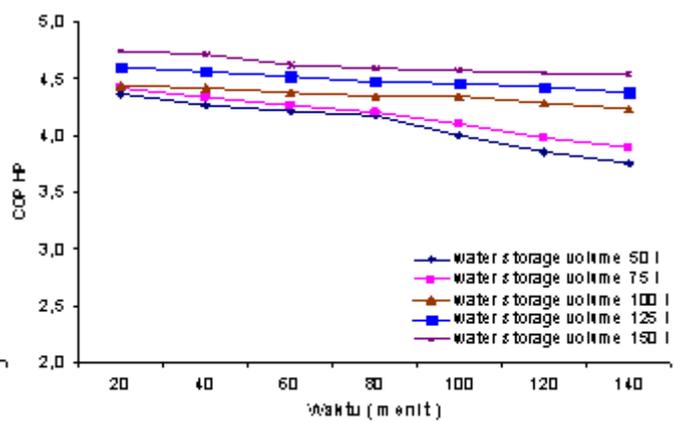
Dengan meningkatnya *water storage volume*, maka perpindahan panas yang terjadi di kondensor semakin besar. Perbedaan panas yang semakin besar tersebut akan menyebabkan beda entalpi ( $\Delta h$ ) di dalam kondensor semakin besar, sehingga memberikan nilai COP dari sistem yang semakin besar pula.

c. Pengaruh *water storage volume* terhadap kapasitas pemanasan ( $Q_{kond}$ )

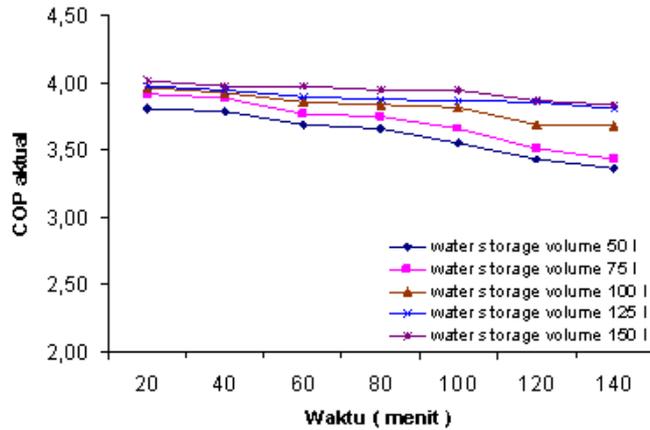
Gambar 9 menunjukkan grafik kapasitas pemanasan ( $Q_{kond}$ ) terhadap waktu variasi *water storage volume*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas pemanasan meningkat terhadap waktu pengujian. Hal tersebut dikarenakan dengan bertambahnya waktu, maka laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_{ref}$ ) bertambah besar, dimana kapasitas pemanasan sebanding dengan laju aliran massa refrigeran, sehingga kapasitas pemanasan akan meningkat. Kapasitas pemanasan tersebut juga meningkat terhadap kenaikan *water storage volume*. Hal tersebut dikarenakan kapasitas pemanasan sebanding dengan beda entalpi ( $h_{2a}-h_3$ ) yang terjadi, sehingga dengan meningkatnya beda entalpi ( $h_{2a}-h_3$ ) yang dihasilkan maka kapasitas pemanasan juga mengalami peningkatan.



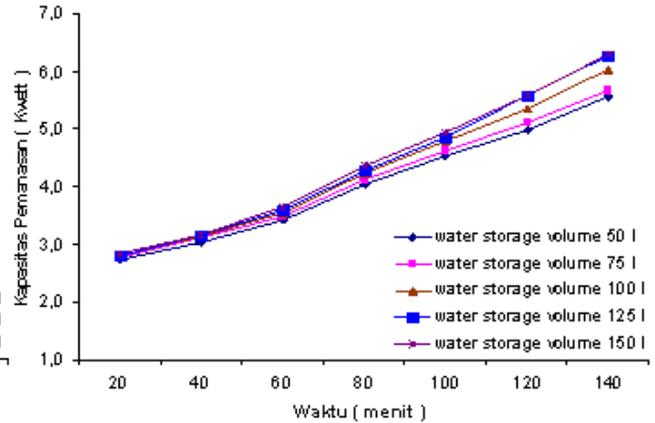
Gambar 6. Grafik temperatur air terhadap waktu dengan variasi *water storage volume*.



Gambar 7. Grafik  $COP_{HP}$  terhadap waktu dengan variasi *water storage volume*.



Gambar 8. Grafik COP<sub>aktual</sub> terhadap waktu dengan variasi *water storage volume* .



Gambar 9. Grafik kapasitas pemanasan terhadap waktu dengan variasi *water storage volume*.

**KESIMPULAN**

Temperatur air yang dihasilkan berkisar antara 29,0 – 61,3 °C, dimana temperatur air meningkat sebanding dengan waktu tetapi dengan semakin besar *water storage volume* temperatur air yang dihasilkan semakin rendah. Sistem SAHPWH dengan menggunakan HFC-134a memiliki COP<sub>HP</sub> antara 3,75 – 4,74 lebih tinggi dibandingkan COP<sub>aktual</sub> yang memiliki nilai antara 3,37 – 4,02. COP<sub>HP</sub> dan COP<sub>aktual</sub> akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu dan COP tersebut meningkat dengan bertambahnya *water storage volume*. Kapasitas pemanasan ( $Q_{kond}$ ) mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu dan *water storage volume*, kapasitas pemanasan ( $Q_{kond}$ ) yang dihasilkan berkisar antara 2,7374 – 6,3452 kW.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anderson, T.N., Morrison, G. L., and Behnia, M., 2002, “Experimental Analysis of A Solar-Boosted Heat Pump Water Heater with Integral Condenser”, *Proceedings of Solar 2002 – Australian New Zealand Solar Energy Society*.

Cengel, Y.A., Boles, M.A., 1992, *Thermodynamic An Engineering Approach*, 2<sup>nd</sup> Ed, McGraw-Hill, Inc., New York.

Hawladar, M.N.A., Chou, S.K., Ullah, M.Z., 2001, “The Performance of A Solar Assisted Heat Pump Water Heating System”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, pp. 1049 - 1065.

Ito, S., Miura, N., and Wang, K., 1999, “Performance of A Heat Pump Using Direct Expansion Solar Collectors”, *Solar Energy*, Vol. 65, No. 3, pp. 189 - 196.

Kim, M., Kim, M.S., Chung, J.D., 2004, “Transient Thermal Behavior of A Water Heater System Driven by a Heat Pump”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 27, pp. 415–421.

Moran, M.J., Shapiro, H.N., 2006, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, 5th Ed, John Wiley & Son, Inc., England.

Morrison G., 2001, *Heat Pump Water Heater*, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Sydney.