

Pompa Air Energi Surya Dengan Fluida Kerja Alkohol

FA. Rusdi Sambada

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paangan, Maguwoharjo, Depok, Sleman Yogyakarta
Email: rusdisambada@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk menjajagi kemungkinan pemanfaatan energi surya termal untuk menggerakkan pompa air. Kemungkinan tersebut dapat dilihat dari daya, efisiensi sistem, efisiensi kolektor dan debit pemompaan yang dihasilkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yakni dengan membuat model pompa air menggunakan pompa membran dengan fluida kerja alkohol. Model penelitian terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu: (1) Absorber termal energi surya yang berfungsi sebagai evaporator, (2) pompa membran dan (3) kondensor. Kolektor yang digunakan adalah jenis parabola silinder dengan reflektor dari pelat stainless steel. Pada penelitian ini dilakukan variasi massa fluida kerja mula-mula dan variasi head pemompaan masing-masing sebanyak tiga variasi. Variabel yang diukur adalah temperatur fluida kerja (T_f), temperatur air pendingin (T_k), radiasi termal surya yang datang (G), tekanan sistem (P) dan debit yang dihasilkan (Q). Perhitungan dan analisa dilakukan untuk mengetahui daya pemompaan (W), efisiensi sistem (η_{Sistem}) dan efisiensi kolektor (η) yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan daya rata-rata maksimum pemompaan sebesar 0,156 watt, efisiensi sistem rata-rata maksimum sebesar 0,018%, efisiensi kolektor rata-rata maksimum sebesar 73,51% dan debit rata-rata maksimum sebesar 0,636 liter/menit diperoleh pada variasi massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg dengan head 1,5 meter

Kata kunci : pompa air, energi surya, fluida kerja

1. Pendahuluan

Pompa air umumnya digerakkan dengan energi minyak atau listrik. Pada kenyataannya belum semua daerah di Indonesia dijangkau jaringan listrik dan belum semua daerah memiliki sarana transportasi yang baik sehingga bahan bakar minyak tidak mudah didapat. Selain masalah transportasi kesulitan mendapatkan bahan bakar minyak juga disebabkan karena sumber energi ini semakin langka. Sebenarnya banyak energi alternatif yang dapat digunakan untuk penggerak pompa air, diantaranya adalah energi termal surya. Informasi unjuk kerja pompa air energi termal surya di Indonesia belum banyak sehingga perlu dilakukan banyak penelitian untuk menjajagi kemungkinan pemanfaatannya. Penelitian pemanfaatan energi termal surya untuk penggerak pompa air didasarkan pada kenyataan bahwa sumber energi termal surya cukup tersedia di Indonesia dan pembuatan pompa yang tidak memerlukan teknologi tinggi.

Penelitian pompa air energi termal surya memperlihatkan bahwa waktu pengembunan uap dipengaruhi oleh temperatur dan debit air pendingin masuk kondensor (Sumathy et. al., 1995). Sebuah prototipe pompa air energi termal surya yang bekerja dengan siklus Rankin diuji untuk mengetahui unjuk kerjanya menggunakan fluida kerja refrigeran R 113 (Spindler et. al, 1996). Penelitian unjuk kerja pompa air energi surya termal dengan kolektor pelat datar seluas 1 m^2 , variasi tinggi head 6, 8 dan 10 m memperlihatkan bahwa ukuran vesel uap fluida kerja berpengaruh pada unjuk kerja pompa (Sumathy, 1999). Penelitian secara teoritis pompa air energi termal surya dengan dua macam fluida kerja, yaitu n-pentane dan ethyl ether memperlihatkan bahwa efisiensi pompa dengan ethyl ether 17% lebih tinggi dibanding n-pentane untuk tinggi head 6 m (Wong, 2000). Analisa termodinamika untuk memprediksi unjuk kerja pompa air energi surya termal pada beberapa ketinggian head memperlihatkan bahwa jumlah siklus/hari tergantung pada waktu pemanasan fluida kerja dan waktu yang diperlukan untuk pengembunan uap. Waktu pemanasan tergantung pada jumlah fluida awal dalam sistem. Waktu pengembunan tergantung pada luasan optimum koil pendingin (Wong, 2001). Penelitian pompa air energi termal surya menggunakan kolektor pelat datar sederhana seluas 1 m^2 , fluida kerja ethyl ether menghasilkan kapasitas pemompaan 700-1400 l/hari tergantung pada ketinggian head (6-10 m). Efisiensi sistem mencapai 0,42-0,34% (Wong, 2001).

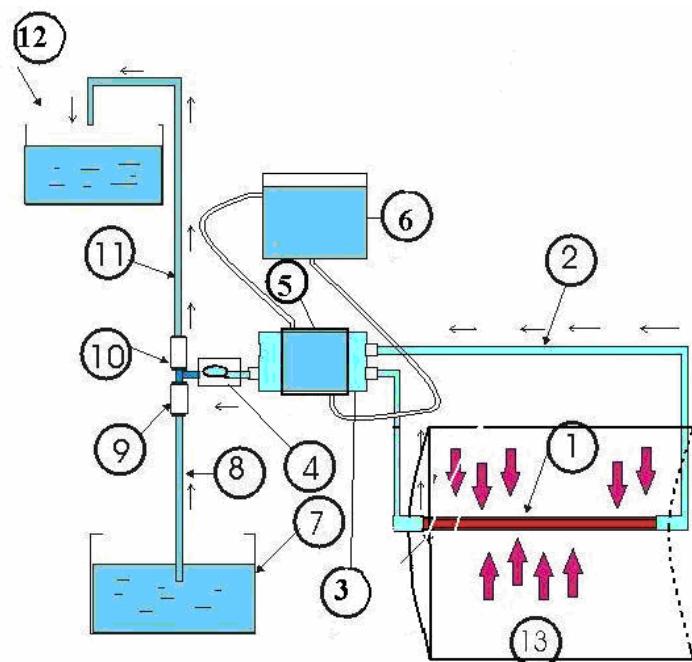
Makalah ini membahas hasil penelitian awal tentang pompa air energi termal surya dengan fluida kerja alkohol untuk mengetahui daya, efisiensi dan debit pemompaan yang dapat dihasilkan.. Hasil eksperimen ini diharapkan dapat dikembangkan ke penelitian yang lebih baik untuk menghasilkan disain pompa air energi surya termal yang sesuai dengan potensi dan kondisi lokal yang ada di Indonesia.

2. Metodologi

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yakni dengan membuat model pompa air menggunakan pompa membran dengan fluida kerja alkohol. Model penelitian terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu: absorber termal energi surya yang berfungsi sebagai evaporator, pompa membran dan kondensor. Secara lengkap model penelitian (gambar 1) terdiri dari komponen-komponen : (1) absorber berupa pipa tembaga yang dicat hitam dan diberi selubung kaca, (2) saluran fluida kerja, (3) kondensor, (4) pompa membran, (5) pendingin kondensor, (6) tangki pendingin kondensor, (7) bak penampung air bagian bawah, (8) saluran hisap pompa, (9) katup sisi hisap pompa, (10) katup sisi tekan pompa, (11) saluran air menuju bak penampung atas, (12) bak penampung air bagian atas dan (13) kolektor termal surya jenis parabola silinder.

Pada penelitian ini dilakukan variasi massa fluida kerja mula-mula dan variasi head pemompaan masing-masing sebanyak tiga variasi. Variasi massa fluida kerja yang digunakan adalah 0,280 kg, 0,450 kg dan 0,670 kg sedangkan variasi head pemompaan yang digunakan adalah 1,0 meter; 1,5 meter dan 2,0 meter. Variabel yang diukur adalah temperatur fluida kerja mula-mula (T_{f1}), temperatur fluida kerja setelah waktu tertentu (T_{f2}), temperatur air pendingin masuk (T_{k1}) dan keluar kondensor (T_{k2}), radiasi termal surya yang datang (G), tekanan sistem (P) serta debit yang dihasilkan (Q). Perhitungan dan analisa dilakukan untuk mengetahui daya pemompaan (W), efisiensi sistem (η_{Sistem}) dan efisiensi kolektor (η)

Langkah penelitian diawali dengan penyiapan alat seperti pada gambar 1, pengambilan data dilakukan dengan mevariasikan jumlah massa fluida kerja mula-mula dan head pemompaan, pengambilan data dilakukan pada waktu terjadi pemompaan, pada variasi salah satu parameter, besar parameter yang lain dibuat tetap, Sebelum melanjutkan pengambilan data untuk variasi berikutnya kondisi alat harus didiamkan agar kembali ke kondisi awal sebelum dilakukan pengambilan data variasi saat ini.



Gambar 1. Skema alat penelitian

Efisiensi sensibel kolektor, efisiensi laten kolektor, efisiensi kolektor, daya pemompaan dan efisiensi sistem dihitung dengan persamaan-persamaan berikut:

Efisiensi sensibel kolektor merupakan perbandingan antara jumlah energi yang digunakan untuk menaikkan temperatur massa fluida kerja dalam evaporator dengan jumlah energi termal surya yang datang.

$$\eta_s = \frac{m_f \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_C \int_0^t G \cdot dt} \quad (1)$$

Efisiensi laten kolektor merupakan perbandingan antara jumlah energi yang digunakan untuk penguapan fluida kerja dengan jumlah energi termal surya yang datang.

$$\eta_L = \frac{m_g \cdot h_{fg}}{A_C \int_0^t G \cdot dt} \quad (2)$$

Efisiensi kolektor merupakan jumlah efisiensi sensibel dan efisiensi laten kolektor.

$$\eta = \eta_s + \eta_L \quad (3)$$

Daya pemompaan yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

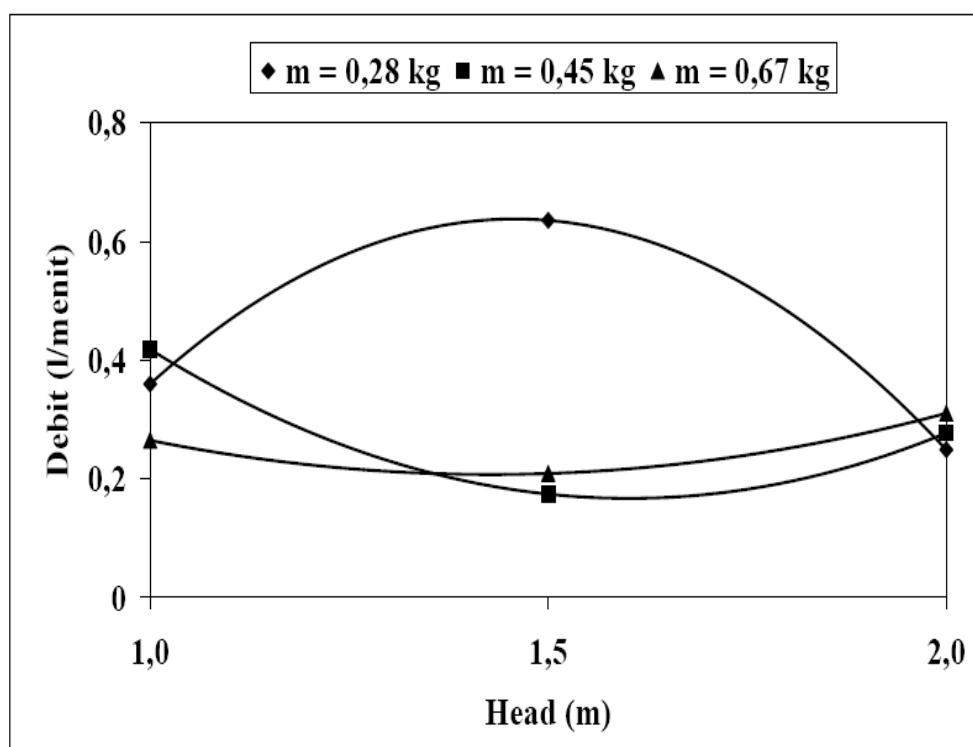
$$W_p = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (4)$$

Efisiensi sistem didefinisikan sebagai perbandingan antara daya pemompaan dengan jumlah energi termal surya yang datang

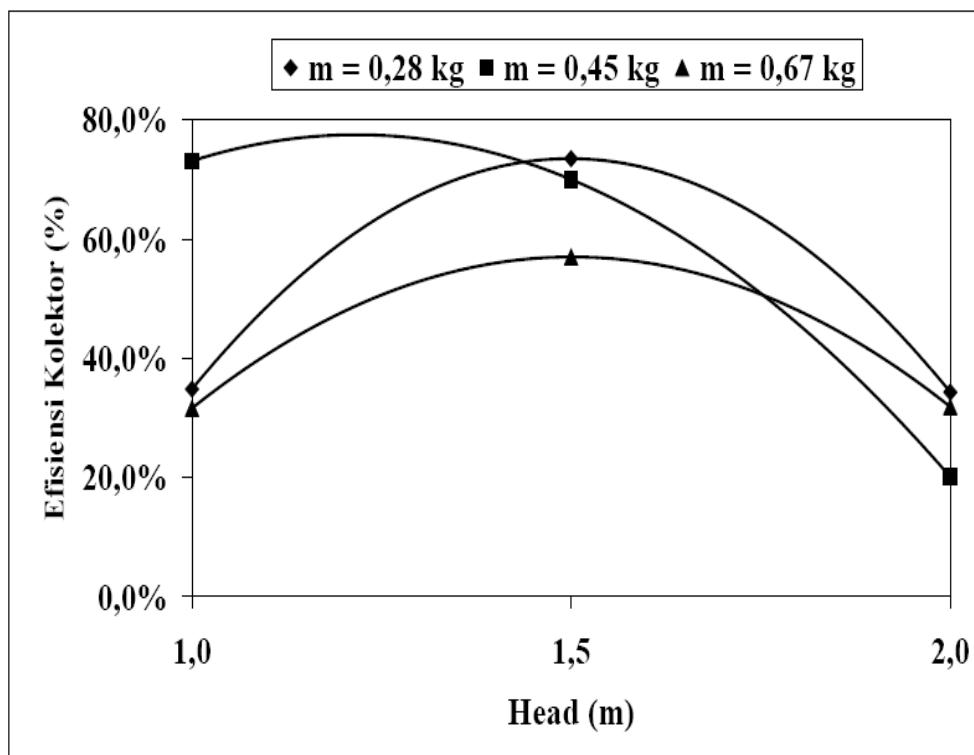
$$\eta_{Sistem} = \frac{W_p \cdot \Delta t}{A_C \int_0^t G \cdot dt} \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

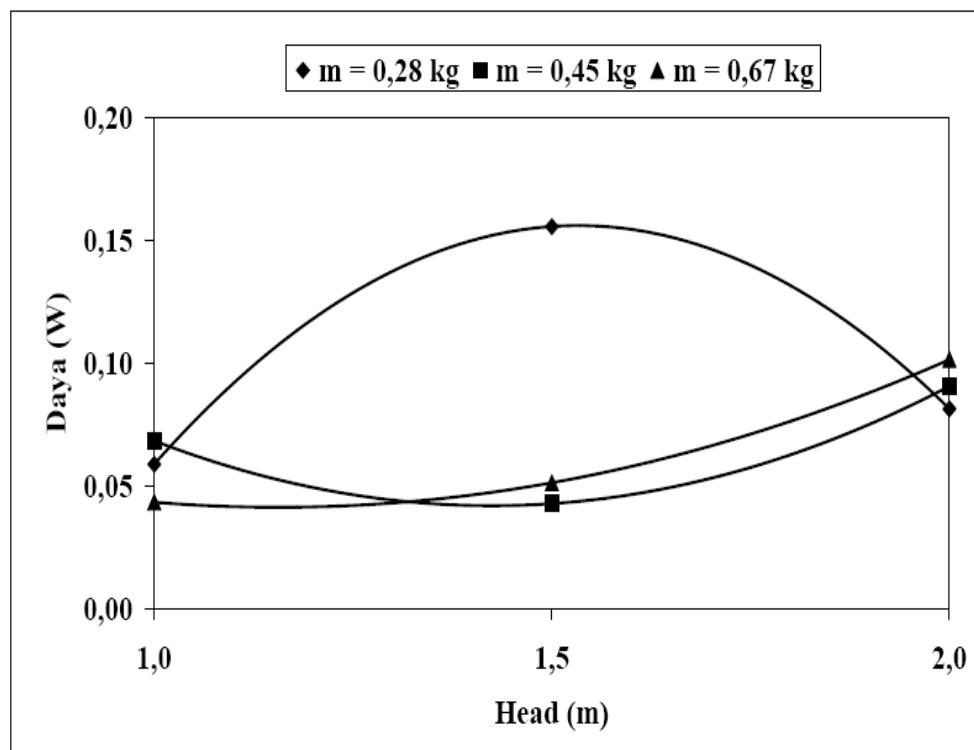
Hasil penelitian dapat dilihat pada grafik gambar 2 sampai gambar 5 berikut:



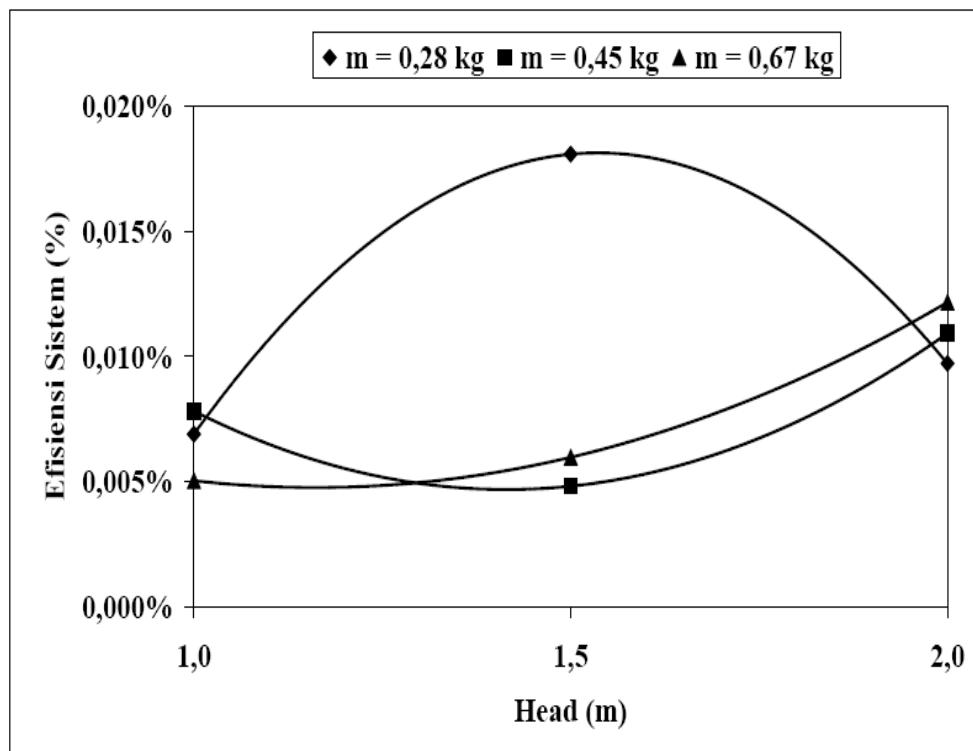
Gambar 2. Debit pemompaan rata-rata pada tiap variasi massa fluida kerja mula-mula dan head pemompaan



Gambar 3. Efisiensi kolektor rata-rata pada tiap variasi massa fluida kerja mula-mula dan head pemompaan



Gambar 4. Daya pemompaan rata-rata pada tiap variasi massa fluida kerja mula-mula dan head pemompaan



Gambar 5. Efisiensi sistem rata-rata pada tiap variasi massa fluida kerja mula-mula dan head pemompaan

Debit terbesar (0,636 liter/menit) terjadi pada variasi massa fluida awal 0,280 kg head pemompaan 1,5 meter dan terkecil pada variasi massa fluida awal 0,450 kg dengan head pemompaan 1,5 meter. Debit air pemompaan adalah volume air pemompaan yang dihasilkan dalam waktu tertentu. Volume air pemompaan yang dihasilkan akan sama dengan volume uap yang terbentuk di dalam sistem karena pada saat awal seluruh sistem terisi penuh fluida kerja sehingga pertambahan volume karena terbentuknya uap akan memompakan air sebanyak volume uap yang terbentuk. Volume uap yang terbentuk tergantung dari jumlah massa fluida kerja mula-mula dan jumlah energi termal surya datang yang dapat dimanfaatkan. Jumlah energi termal surya datang yang dapat dimanfaatkan tergantung pada efisiensi kolektor. Pada variasi massa fluida kerja mula-mula yang sedikit (0,280 kg) dengan jumlah energi termal surya yang datang tidak terlalu banyak akan dihasilkan volume uap yang lebih banyak dibandingkan jika massa fluida kerjanya lebih banyak, sehingga volume air pemompaan yang dihasilkan juga lebih banyak. Pada variasi massa fluida kerja yang lebih banyak (0,450 kg dan 0,670 kg) dan jumlah energi termal surya datang yang tidak terlalu banyak akan dihasilkan volume uap yang tidak banyak karena energi termal surya yang datang akan digunakan lebih dahulu untuk menaikkan temperatur fluida kerja tersebut untuk mencapai titik didihnya.

Efisiensi kolektor terbesar (73,51%) terjadi pada variasi massa fluida awal 0,280 kg head pemompaan 1,5 meter dan terkecil pada variasi massa fluida awal 0,450 kg dengan head pemompaan 2,0 meter. Efisiensi kolektor merupakan jumlah efisiensi sensibel dan efisiensi laten. Efisiensi sensibel menunjukkan seberapa banyak energi termal surya datang yang dapat digunakan untuk menaikkan temperatur fluida kerja sampai ke titik didihnya sedangkan efisiensi laten menunjukkan seberapa banyak energi termal surya datang yang dapat digunakan untuk menghasilkan uap dari fluida kerja. Pada head pemompaan 1,5 meter dengan massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg grafik efisiensi kolektor (Gambar 3) sudah menunjukkan penurunan sedangkan dengan fluida kerja 0,450 kg dan 0,670 kg efisiensi kolektor mencapai maksimum. Hal tersebut disebabkan dengan massa fluida kerja yang sedikit (0,280 kg) banyak energi termal surya yang tidak termanfaatkan karena sebagian besar fluida kerja sudah menjadi uap. Di sisi lain dengan fluida kerja yang lebih banyak (0,450 kg dan 0,670 kg) lebih banyak energi termal surya yang dapat dimanfaatkan karena masih terdapat cukup massa fluida kerja yang belum menjadi uap. Dengan masih banyaknya massa fluida kerja yang belum

menjadi uap maka energi termal surya masih dapat digunakan untuk menaikkan temperatur fluida kerja sampai ke titik didihnya. Jika energi termal surya yang datang hanya sedikit (misalnya karena cuaca mendung) maka efisiensi kolektor untuk massa fluida kerja yang sedikit akan bertambah besar karena tidak banyak energi termal surya yang terbuang sia-sia (tidak dapat digunakan).

Daya pemompaan terbesar (0,156 watt) terjadi pada variasi massa fluida awal 0,280 kg dengan head pemompaan 1,5 meter dan terkecil pada variasi massa fluida awal 0,450 kg dengan head pemompaan 1,5 meter. Pada grafik daya (Gambar 4) pada head pemompaan diatas 1,5 meter terlihat untuk massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg grafik daya mengalami penurunan sedangkan untuk massa fluida kerja mula-mula 0,450 kg dan 0,670 kg grafik daya mengalami kenaikan. Pada head pemompaan 1,5 meter dengan massa fluida kerja mula-mula 0,450 kg dan 0,670 kg sebenarnya kerja pemompaan belum mencapai maksimal karena sebenarnya masih cukup banyak massa fluida kerja yang belum menjadi uap dalam sistem. Banyaknya uap yang terbentuk dalam sistem ditentukan oleh jumlah massa fluida kerja mula-mula dan jumlah energi termal surya yang datang. Jika energi termal surya yang datang cukup banyak maka semakin besar massa fluida kerja mula-mula akan memungkinkan terbentuknya uap yang lebih banyak. Di sisi lain jika massa fluida kerja yang digunakan cukup banyak tetapi jumlah energi surya yang datang tidak banyak maka uap yang terbentuk juga hanya sedikit. Pada head pemompaan 2 meter daya pemompaan dengan menggunakan massa fluida kerja 0,450 dan 0,670 kg mengalami kenaikan sedangkan daya pemompaan dengan menggunakan massa fluida kerja 0,280 kg mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan pada head pemompaan 2 meter sistem mempunyai waktu pemanasan yang lebih lama karena katup buang baru bisa terbuka pada tekanan yang lebih tinggi dibandingkan pada head pemompaan yang lebih kecil. Dengan waktu pemanasan yang lebih lama memungkinkan terbentuknya uap lebih banyak tetapi dengan massa fluida kerja yang sedikit (0,280 kg) uap yang terbentuk tidak dapat sebanyak massa fluida kerja yang lebih banyak (0,450 kg dan 0,670 kg).

Efisiensi sistem terbesar (0,018%) terjadi pada variasi massa fluida awal 0,280 kg head pemompaan 1,5 meter dan terkecil pada variasi massa fluida awal 0,450 kg dengan head pemompaan 1,5 meter. Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara kerja pemompaan dengan energi termal surya yang datang. Efisiensi sistem yang rendah disebabkan karena kerja pemompaan yang rendah. Kerja pemompaan yang rendah dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama jika energi termal surya yang datang tidak terlalu banyak maka tidak cukup panas untuk menghasilkan uap, sedangkan jumlah uap yang terbentuk akan menentukan jumlah volume air pemompaan dan jumlah volume air pemompaan akan mempengaruhi besar daya pemompaan. Kedua jika energi termal yang datang berlebih maka akan dihasilkan uap yang banyak, jika head pemompaan tidak cukup besar maka sebagian uap yang terbentuk akan mengembun kembali dan tidak sempat melakukan kerja pemompaan. Jika dilihat pada penelitian ini yang terjadi adalah sebab yang pertama yakni energi surya yang datang tidak cukup banyak sehingga karena kerja pemompaan pada head 1,5 meter (atau di bawah 1,5 meter) tidak mencapai maksimum (karena tidak banyak uap yang terbentuk untuk melakukan kerja pemompaan) maka efisiensi sistem yang dihasilkannya juga lebih rendah dibandingkan efisiensi sistem pada massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg. Pada head pemompaan 2 meter efisiensi sistem dengan fluida kerja 0,280 kg mengalami penurunan sedangkan dengan fluida kerja 0,450 kg dan 0,670 kg mengalami kenaikan. Hal tersebut disebabkan daya pemompaan yang dihasilkan dengan fluida kerja 0,280 kg mengalami penurunan sedangkan dengan massa fluida 0,450 kg dan 0,670 kg mengalami kenaikan.

Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa pada head pemompaan tertentu terdapat jumlah massa fluida kerja tertentu yang menghasilkan daya, efisiensi sistem, efisiensi kolektor dan debit yang terbaik. Hal ini disebabkan untuk head pemompaan tertentu akan dapat menimbulkan tekanan fluida kerja tertentu, head pemompaan yang semakin besar dapat menyebabkan tekanan sistem (fluida kerja) yang semakin besar. Tekanan fluida kerja yang semakin besar dimungkinkan jika terdapat panas yang cukup yang diterima fluida kerja, hal ini tergantung dari besar energi surya yang datang dan efisiensi absorber. Disisi lain temperatur fluida kerja yang tinggi memerlukan kapasitas pendinginan yang memadai agar pompa dapat melakukan proses penghisapan air, hal ini sangat ditentukan oleh efisiensi kondensor. Secara singkat dapat dikatakan pompa air energi surya akan menghasilkan unjuk kerja yang baik jika terjadi kesetimbangan antara proses pemanasan dan proses pendinginan.

4. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini dapat dicapai daya maksimum pemompaan sebesar 0,156 watt diperoleh pada variasi massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg dengan head pemompaan 1,5 meter.
2. Efisiensi sistem maksimum sebesar 0,018% diperoleh pada variasi massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg dengan head 1,5 meter
3. Debit maksimum sebesar 0,636 liter/menit diperoleh pada variasi massa fluida kerja mula-mula 0,280 kg dengan head 1,5 meter
4. Efisiensi kolektor maksimum sebesar 73,51% terjadi pada variasi massa fluida awal 0,280 kg head pemompaan 1,5 meter.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan daya, efisiensi dan debit yang dihasilkan.

Notasi

Ac	: luasan kolektor	[m ²]
C _P	: panas jenis fluida kerja	[J/(kg.K)]
dt	: lama waktu pemanasan/ pembentukan uap	[detik]
G	: radiasi surya yang datang	[W/m ²]
g	: percepatan gravitasi	[m/s ²]
H	: head pemompaan	[m]
h _{fg}	: panas laten fluida yang dipanasi	[J/(kg)]
m _f	: massa fluida kerja pada evaporator	[kg]
m _g	: massa uap fluida kerja	[kg]
Q	: debit pemompaan	[m ³ /detik]
W _p	: daya pemompaan	[Watt]
ΔT	: kenaikan temperatur air	[⁰ C]
Δt	: selang waktu	[detik]
ρ	: massa jenis air	[kg/m ³]

Daftar Pustaka

1. Spindler, K.; Chandwalker, K.; Hahne, E. (1996). Small Solar (Thermal) Water-Pumping System, *Solar Energy* Volume 57, No. 1, 1996 Pages 69-76
2. Sumathy, K.; Venkatesh, A.; Sriramulu, V., (1995). The importance of the condenser in a solar water pump, *Energy Conversion and Management*, Volume 36, Issue 12, December 1995, Pages 1167-1173
3. Sumathy, K., (1999). Experimental Studies On A Solar Thermal Water Pump, *Applied Thermal Engineering* Volume 19, 1999, Pages 449-459
4. Wong, Y.W.; Sumathy, K., (2000). Performance of a solar water pump with n-pentane and ethyl ether as working fluids, *Energy Conversion and Management*, Volume 41, Issue 9, 1 June 2000, Pages 915-927
5. Wong, Y.W.; Sumathy, K., (2001). Thermodynamic analysis and optimization of a solar thermal water pump, *Applied Thermal Engineering*, Volume 21, Issue 5, April 2001, Pages 613-627
6. Wong, Y.W.; Sumathy, K., (2001). Performance of a solar water pump with ethyl ether as working Fluid, *Renewable Energy* Volume 22, 2001, Pages 389-394