

Pompa Air Energi Termal dengan Fluida Kerja Petroleum Eter

A. Prasetyadi, FA. Rusdi Sambada

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma

Kampus 3, Paingan, Maguwoharjo, Depok Sleman, Yogyakarta 55282

E-mail : pras@usd.ac.id, rusdisambada@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian awal yang bertujuan mengetahui karakteristik petroleum eter sebagai fluida kerja pompa air energi termal yang nantinya diharapkan dapat berguna dalam merancang pompa air energi surya termal sederhana untuk masyarakat di daerah yang belum mempunyai jaringan listrik. Pompa air yang dibuat harus memenuhi kriteria: (1) efisiensi dan memiliki kapasitas yang memadai (2) tidak memerlukan banyak perawatan, mudah dioperasikan dan dirawat oleh masyarakat setempat, (3) mampu dibuat dengan teknologi yang ada di daerah.

Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan model pompa air energi termal yang memanfaatkan fluida kerja petroleum eter. Dilakukan variasi pada laju aliran massa fluida kerja, volume udara tekan, pemasangan tabung pemisah dan bahan pemanas. Pengukuran waktu pengembunan dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam 1 siklus. Waktu penguapan dibatasi maksimal 120 menit. Sebagai sumber energi termal digunakan 2 buah kompor listrik dengan daya 600 W. Hasil penelitian menunjukkan sifat fisik fluida kerja yakni temperatur didih, kapasitas panas dan entalpi penguapan sangat berpengaruh pada unjuk kerja yang dapat dihasilkan pompa air energi termal. Laju alir massa fluida kerja, penggunaan tabung pemisah, volume awal udara tekan dan bahan pemanas merupakan faktor-faktor yang berpengaruh pada kerja pompa air energi termal. Tingginya temperatur didih petroleum ether menjadi salah satu masalah yang belum dapat dipecahkan solusi teknisnya. Tekanan maksimum yang dihasilkan pada sisi eter sebesar 0,52 bar, pada sisi air sebesar 0,48 bar dan pada sisi udara sebesar 0,4 bar. Hasil pemompaan air terbaik yang dapat dicapai adalah 1,65 liter dengan bahan pemanas terbuat dari tembaga, volume awal udara tekan menggunakan satu tabung udara tekan (11 liter) dan head pemompaan 3 meter.

Keywords: pompa air, energi surya termal, fluida kerja petroleum ether

Pendahuluan

Salah satu penerapan energi surya yang diamanatkan untuk dikembangkan sampai dengan tahun 2025 dalam peta rencana penelitian, pengembangan dan penerapan energi IPTEK adalah energi surya termal bagi pompa air (Menteri Negara Riset dan Teknologi, 2006). Pompa air termal menjadi alternatif teknologi bagi daerah yang belum mendapatkan pasokan listrik. Pompa termal yang diharapkan memiliki efisiensi dan kapasitas yang setara dengan pompa yang digerakan oleh manusia, konstruksi yang sederhana dengan bagian mekanik minimal serta dapat dikembangkan dengan teknologi lokal (Wong, et.al, 1999). Pompa semacam ini akan dikembangkan di daerah pertanian yang belum memiliki suplai listrik.

Salah satu jenis pompa termal yang memenuhi kriteria-kriteria tersebut di atas adalah pompa termal termodinamik. Pompa termal jenis ini memanfaatkan fluida kerja sebagai pengganti

piston bagi sistem pompa. Ekspansi fluida kerja dimanfaatkan untuk mendorong air dari dalam pompa benam. Sebaliknya proses kondensasi fluida kerja dari bentuk gas ke cair yang berkonsekuensi berkurangnya volume dan turunnya tekanan dimanfaatkan untuk menghisap air dari pompa benam. Karena mengandalkan perilaku ekspansi dan kondensasi fluida kerja berdasarkan proses termodinamika, pompa jenis ini mempunyai tantangan pada tingkat efisiensi yang sangat terkait erat dengan jenis fluida kerja dan disain pompa.

Fluida kerja bagi suatu pompa termal yang bekerja dengan prinsip termodinamik haruslah memiliki titik uap rendah dengan kalor laten uap rendah, memiliki volume ekspansi yang besar dibanding kondisi cairnya serta tidak bercampur dengan air dalam kondisi gas maupun cair. Sekalipun demikian, fluida kerja bagi pompa termal termodinamik haruslah juga cukup aman. Salah satu fluida kerja yang memiliki kriteria temperatur uap yang rendah (di bawah temperatur uap air) dan tidak mudah bercampur dengan air dalam fase cair maupun gas adalah petroleum ether.

Penggunaan ether dilaporkan mampu memompa air

dengan head 6 – 10 meter dengan debit 700 – 1000 liter/hari (Wong et. al., 2001). Unjuk kerja pompa ditentukan oleh waktu pemanasan dan pengembunan. Waktu pemanasan ditentukan oleh jumlah fluida awal, sedangkan waktu pengembunan ditentukan oleh luasan koil pendingin (Wong et.al., 2001). Ukuran daya pompa dipengaruhi oleh ukuran kondenser (Smith, 2005). Efisiensi pompa termal dipengaruhi oleh ukuran tangki (Sumathy, 1999), temperatur air pendingin (Wong, et. al., 2001) dan debit air pendingin (Sumathy et. al., 1995). Tekanan kerja yang diperlukan untuk memompa air dengan head pemompaan 6 meter adalah 3,2 bar, dengan temperatur kolektor maksimal 100 °C, tekanan maksimal 4,2 bar dan jumlah n-pentana 13,5 kg (Sumathy et.al., 1996). Untuk mengetahui karakteristik pompa air termal dengan fluida petroleum ether, dirancang sebuah pompa termal dengan fluida kerja petroleum ether. Variasi temperatur evaporator, volume fluida kerja, volume udara tekan, kehadiran tabung pemisah dan pengembunan dilakukan.

Dasar Teori

Komponen utama pompa air energi termal dapat dikelompokkan menjadi: (1) bagian pemanas dan (2) bagian pompa. Bagian pemanas terdiri dari: (1) pemanas, dan (2) evaporator. Bagian pompa terdiri dari: (1) tangki pemisah uap, (2) tangki air dan tangki udara, (3) kondensor dan (4) tangki bawah. Skema pompa air energi termal surya dapat dilihat pada Gambar 1.

Fluida kerja

Fluida kerja yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria dari sudut pandang termodinamika dan perpindahan panas fluida seperti: (a) memiliki titik didih sedikit diatas temperatur sekitar, (b) entalpi penguapan yang rendah pada kisaran temperatur 300K – 400K, (c) tidak bercampur (*immiscible*) dengan fluida yang digunakan pada pompa tanpa membran (misalnya pada pompa kolom air), (d) konduktivitas termal yang tinggi, (e) viskositas yang rendah, (f) kapasitas yang tinggi, (g) massa jenis yang tinggi tetapi lebih rendah dari massa jenis fluida yang digunakan pada pompa tanpa membran (misalnya pada pompa kolom air), (h) tidak beracun, (i) tidak mudah terbakar, (j) tidak korosif dan (k) komposisi kimia yang stabil pada kisaran temperatur kerja. Fluida kerja yang memenuhi kriteria di atas misalnya adalah petroleum ether. Petroleum ether merupakan suatu hidrokarbon berbentuk liquid pada temperatur kamar dan tersusun atas paraffin, nafta dan campuran hidrokarbon lain dalam rentang C₅ sampai C₁₃. Rapat uapnya adalah 2,5 – 3 kali rapat udara. Tekanan uap permukaannya pada 20

°C adalah 40 mmHg. Panas jenis petroleum ether (C_p) adalah 1,76 kJ/kg K. Sedangkan Entalpi penguapannya (H_{fg}) adalah 340 kJ/kg. Titik didih petroleum ether berada pada 80–90°C. Petroleum ether mempunyai kelarutan dalam air yang sangat kecil (0,04% pada 20°C) sehingga dapat menggunakan pompa kolom air. Jika dilihat dari sisi harga maka petroleum eter jauh lebih murah dibanding n-pentana maka pada penelitian ini akan digunakan petroleum eter sebagai fluida kerja .

Sistem Pompa Air

Evaporator berfungsi untuk menguapkan fluida kerja dan menyalurkannya ke pompa. Karena menerima uap bertekanan pompa melakukan kerja mekanik mendorong air yang ada di pompa ke tempat tujuan (tangki atas). Uap dari evaporator masuk ke kondensor, mengembun dan kembali ke evaporator. Pengembunan uap ini menyebabkan tekanan dalam pompa turun (dibawah tekanan atmosfer atau vakum) sehingga air dari sumber masuk dalam pompa. Kemudian terjadi lagi langkah tekan pompa karena uap yang baru dari evaporator masuk ke dalam pompa. Setiap satu langkah tekan pompa (karena uap bertekanan masuk pompa) dan satu langkah hisap (karena uap mengembun di kondensor) disebut satu siklus.

Daya pemompaan yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_p = \dots g \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

dengan ρ adalah massa jenis air (kg/m³), g percepatan gravitasi (m/detik²), Q debit pemompaan (m³/detik), H head pemompaan (m)

Daya masukan diperoleh sebagai jumlahan daya masukan sensible dan laten, yang mengikuti persamaan

$$W_{in} = m \cdot C_p \cdot \Delta t + m \cdot H_{fg} \quad (2)$$

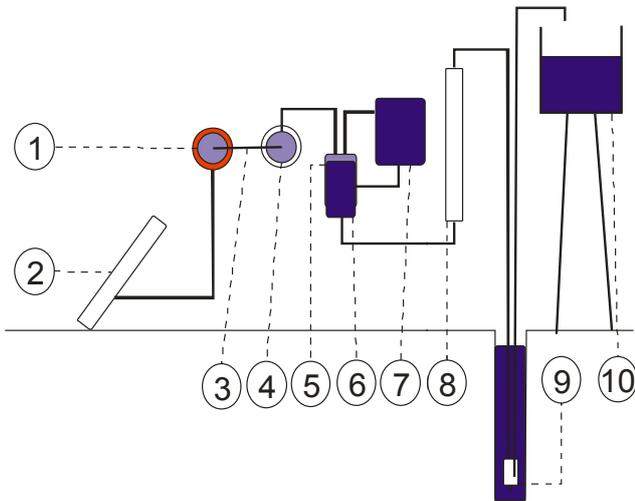
dengan m massa fluida kerja, C_p panas jenis petroleum ether, H_{fg} entalpi penguapan petroleum ether dan t selisih antara temperatur penguapan ether dengan temperatur awal ether.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Komponen pompa termal (Gambar1) adalah: (1)penyimpan panas, (2) pemanas, (3) Pipa penghubung evaporator ke tangki pemisah uap, (4) evaporator, (5) tangki pemisah uap, (6) tangki air, (7) tangki pendingin air, (8) tangki udara tekan, (8) pompa benam dan (10) tangki atas. Pengujian dilakukan dengan pemanasan 2 buah elemen pemanas listrik yang masing – masing berdaya 600 W.

Pengukuran temperatur fluida kerja dianggap sebagai temperatur dinding pipa yang menghubungkan evaporator dengan tangki pemisah uap. Tekanan uap petroleum ether diukur pada pipa penghubung antara evaporator dan tabung pemisah uap (3). Tekanan air diukur pada pipa penghubung antar tangki air (6) dan tangki udara tekan (7). Sedangkan tekanan udara

diukur di antara tangki udara tekan (8) dan pompa benam (9). Volume awal udara tekan dihitung pada ketinggian permukaan air dalam tangki udara tekan.



Gambar 1. Skema pompa termal

Variasi temperatur evaporator dilakukan dengan mengganti fluida perantara antara minyak dan air. Variasi volume fluida kerja dilakukan dengan variasi laju aliran ether ke dalam evaporator dengan debit 0,6 l dan 0.25. Variasi volume udara tekan dilakukan dengan menggunakan tabung udara tekan 1 buah dan 2 buah. Variasi sistem juga dilakukan dengan memasang tabung pemisah atau melepaskannya.

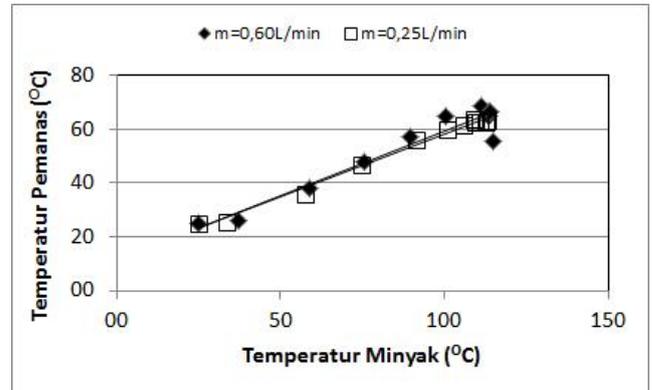
Selain itu, pengukuran waktu pengembunan dilakukan untuk melihat waktu yang dibutuhkan dalam 1 siklus. Waktu penguapan yang dilakukan adalah 120 menit.



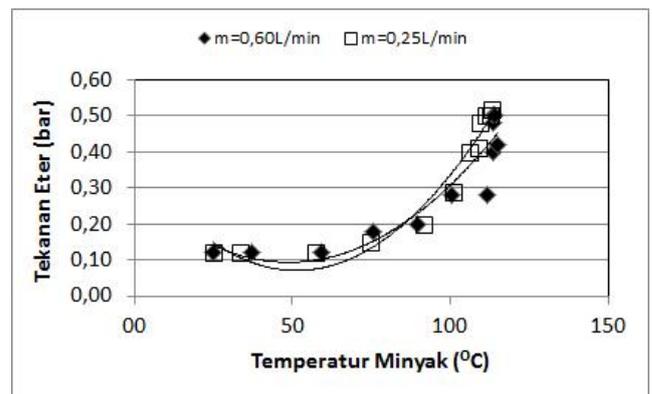
Gambar 2. Pompa termal dengan fluida petroleum ether. Head pemompaan adalah 3 m.

Hasil dan Pembahasan

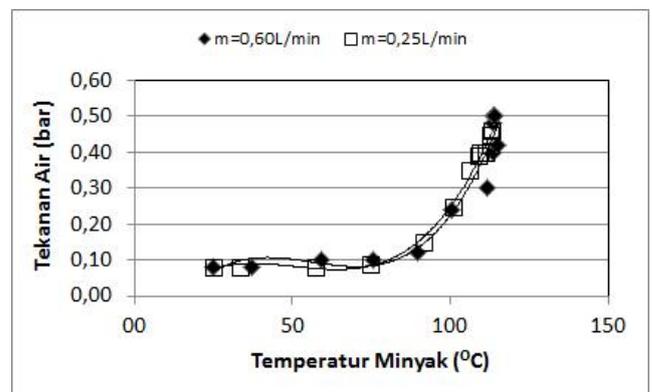
Hasil pengambilan data untuk mengetahui karakteristik petroleum eter sebagai fluida kerja pompa air energi termal dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 27. Gambar 3 sampai Gambar 7 merupakan hasil pengambilan data dengan mevariasikan laju aliran massa petroleum eter. Variasi laju aliran massa petroleum eter yang digunakan adalah 0,6 liter/ menit dan 0,25 liter/ menit.



Gambar 3. Perbandingan temperatur pemanas pada variasi laju alir massa petroleum eter



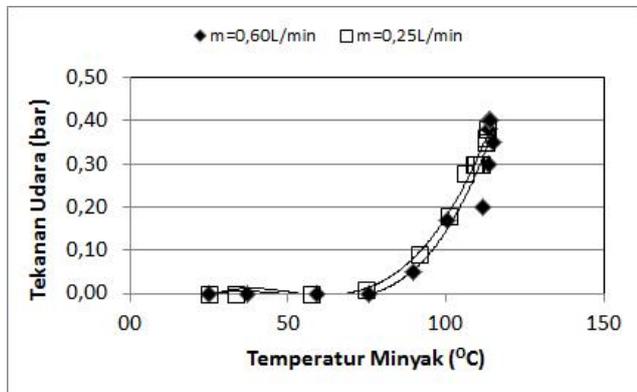
Gambar 4. Perbandingan tekanan sisi eter pada variasi laju alir massa petroleum eter



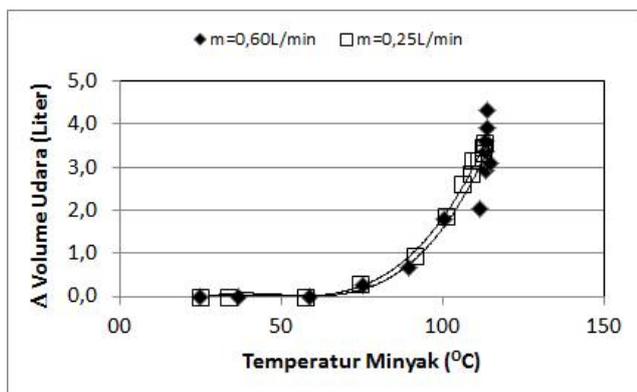
Gambar 5. Perbandingan tekanan sisi air pada variasi laju alir massa petroleum eter

Pada variasi ini bahan pemanas yang digunakan adalah pipa tembaga, volume udara tekan awal menggunakan dua tabung udara tekan (22 liter) dan head pemompaan 3 meter. Temperatur pemanas dan tekanan alat di sisi eter

pada dua variasi laju alir massa petroleum eter tidak menunjukkan perbedaan yang berarti (Gambar 3 dan 4). Perbedaan tekanan antara dua variasi laju alir massa petroleum eter semakin besar pada sisi air dan udara (Gambar 5 dan 6). Pada sisi udara variasi laju alir massa petroleum eter 0,6 liter/ menit mencapai tekanan 0,4 bar sedangkan variasi laju alir massa 0,25 liter/ menit mencapai 0,38 bar. Tekanan sisi udara yang lebih besar pada variasi laju alir 0,6 liter/ menit menghasilkan perubahan volume udara tekan yang lebih banyak yakni 4,3 liter sedangkan pada variasi laju alir 0,25 liter/ menit menghasilkan perubahan volume udara tekan sebanyak 3,6 liter (Gambar 7). Volume pemompaan air pada variasi laju alir massa 0,6 liter/ menit adalah 1,35 liter dan pada variasi laju alir massa 0,25 liter/ menit dihasilkan volume pemompaan air 0,27 liter.



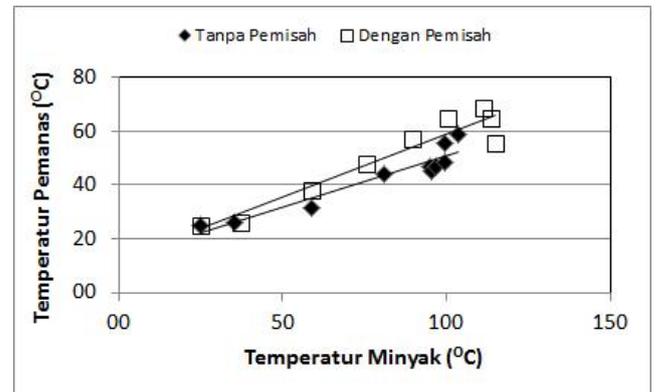
Gambar 6. Perbandingan tekanan sisi udara pada variasi laju alir massa petroleum eter



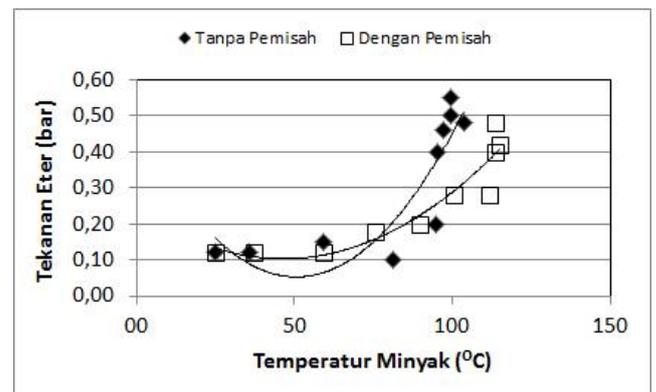
Gambar 7. Perbandingan perubahan volume udara tekan pada variasi laju alir massa petroleum ether

Variasi kedua adalah penggunaan tabung pemisah uap. Tabung pemisah uap berfungsi untuk mengembalikan eter yang tidak menjadi uap ke pemanas. Hasil variasi penggunaan tabung pemisah uap dapat dilihat pada Gambar 8 sampai 12. Terlihat penggunaan tabung pemisah menyebabkan kenaikan tekanan sisi eter, air dan udara yang lebih lambat dibandingkan tanpa menggunakan tabung pemisah. Hal tersebut

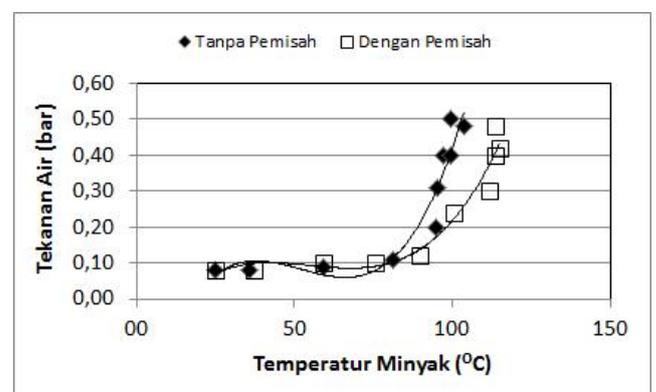
berakibat perubahan volume udara tekan yang juga lebih lambat. Lambatnya kenaikan tekanan sisi eter, air dan udara dapat disebabkan lambatnya perpindahan panas dari pemanas kedalam eter. Lambatnya perpindahan panas ini disebabkan temperatur eter yang kembali ke pemanas sudah tinggi, hal ini terlihat dari temperatur pemanas yang lebih tinggi pada pompa yang menggunakan tabung pemisah (Gambar 8) dibandingkan yang tidak menggunakan tabung pemisah.



Gambar 8. Perbandingan temperatur pemanas pada variasi penggunaan tabung pemisah uap



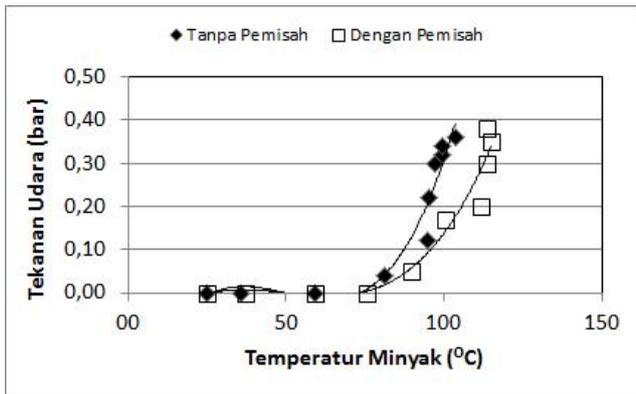
Gambar 9. Perbandingan tekanan sisi eter pada variasi penggunaan tabung pemisah uap



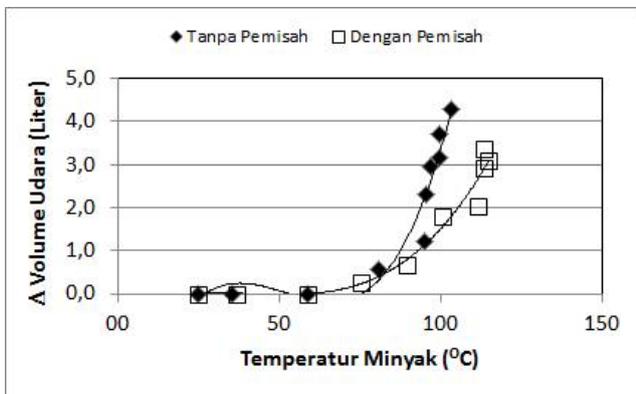
Gambar 10. Perbandingan tekanan sisi air pada variasi penggunaan tabung pemisah uap

Variasi ketiga pada pengambilan data penelitian ini adalah volume awal udara tekan. Variasi volume awal udara tekan yang digunakan pada penelitian ini adalah

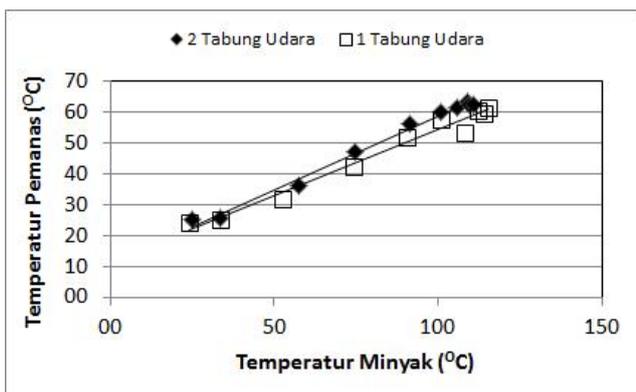
11 liter (dengan menggunakan satu tabung tekan) dan 22 liter (menggunakan 2 tabung tekan). Hasil dari variasi ini dapat dilihat pada Gambar 13 sampai 17. Tekanan sisi eter, sisi air dan sisi udara (Gambar 14, 15 dan 16) pada variasi volume awal udara tekan 11 liter lebih tinggi dibandingkan pada variasi volume awal udara tekan 22 liter. Hal tersebut menyebabkan perubahan volume udara tekan pada variasi volume awal udara tekan 11 liter lebih besar dibandingkan perubahan volume udara tekan pada variasi volume awal udara tekan 22 liter. Perubahan volume udara tekan yang lebih besar menyebabkan hasil pemompaan air yang juga lebih baik (1,65 liter).



Gambar 11. Perbandingan tekanan sisi udara pada variasi penggunaan tabung pemisah uap

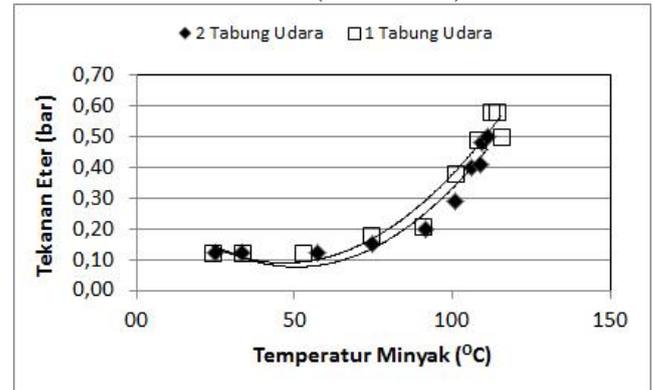


Gambar 12. Perbandingan perubahan volume udara tekan pada variasi penggunaan tabung pemisah uap

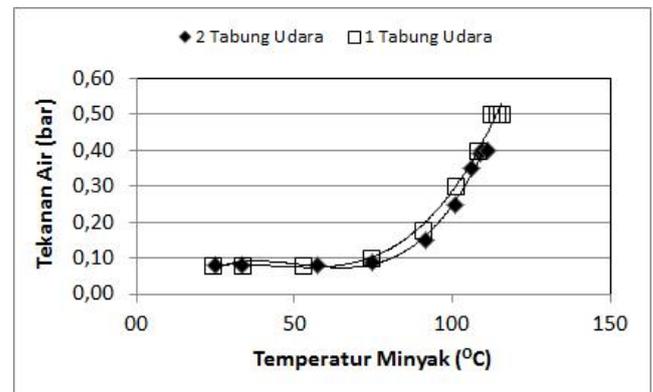


Gambar 13. Perbandingan temperatur pemanas pada variasi volume awal udara tekan

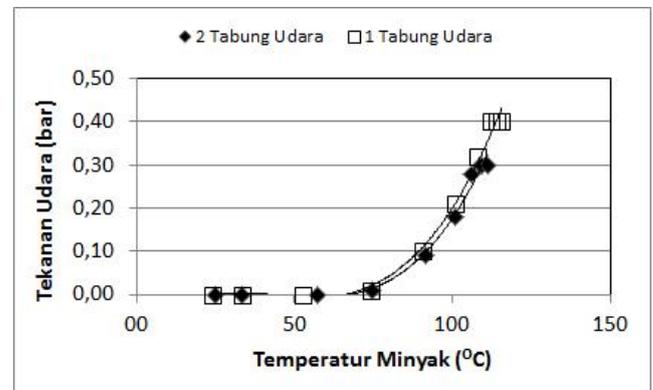
Hasil yang lebih baik pada penggunaan volume awal udara tekan yang lebih sedikit disebabkan kesesuaian jumlah uap eter yang dihasilkan pemanas dengan sifat kompresibilitas udara yang dipengaruhi jumlah udara mula-mula. Hasil yang lebih baik pada variasi volume awal udara tekan sebanyak 11 liter diperoleh dengan temperatur pemanas yang juga lebih rendah dibandingkan temperatur pemanas pada variasi volume awal udara tekan 22 liter (Gambar 13).



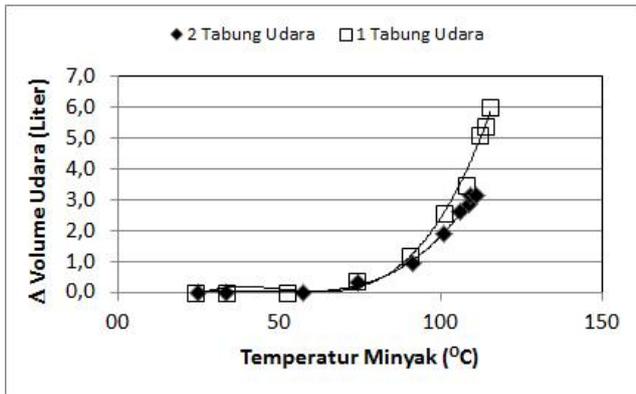
Gambar 14. Perbandingan tekanan sisi eter pada variasi volume awal udara tekan



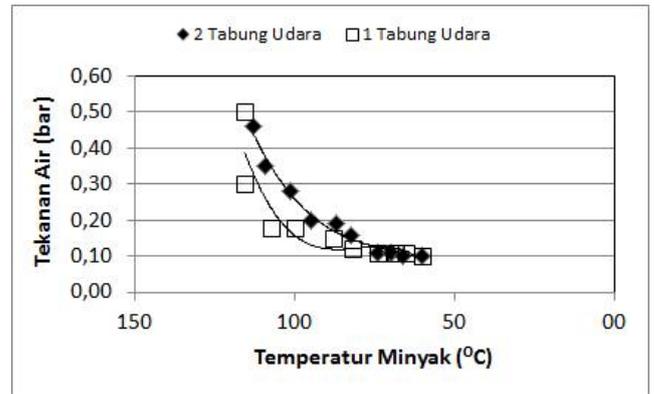
Gambar 15. Perbandingan tekanan sisi air pada variasi volume awal udara tekan



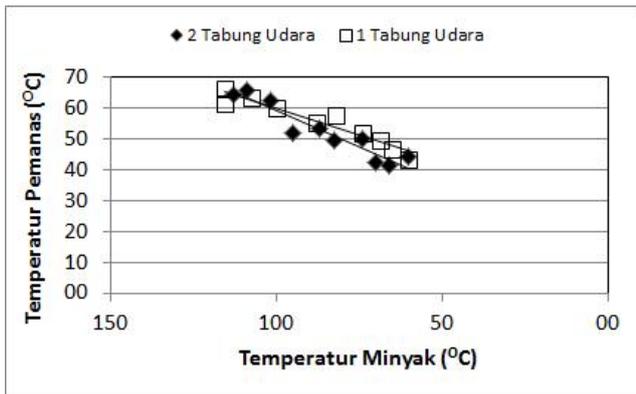
Gambar 16. Perbandingan tekanan sisi udara pada variasi volume awal udara tekan



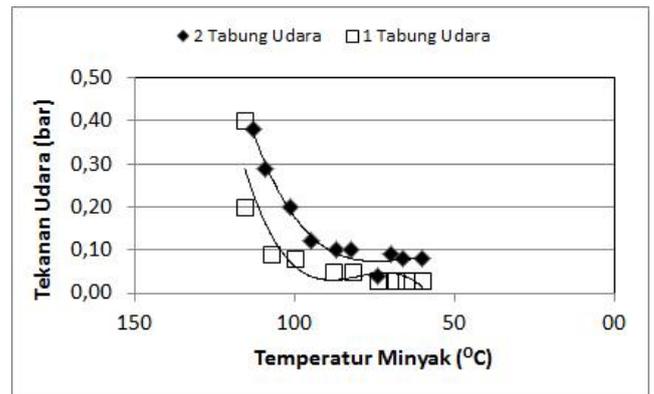
Gambar 17.Perbandingan perubahan volume udara tekan pada variasi volume awal udara tekan Penggunaan volume awal udara tekan 11 liter tidak hanya lebih baik dibandingkan volume awal udara tekan 22 liter pada proses pemanasan (proses tekan pemompaan) tetapi juga pada proses pengembunan uap fluida kerja eter. Pada proses pengembunan menggunakan volume awal udara tekan 11 liter, tekanan sisi eter, air dan udara lebih rendah dibandingkan volume awal udara tekan 22 liter (Gambar 18 sampai 22).



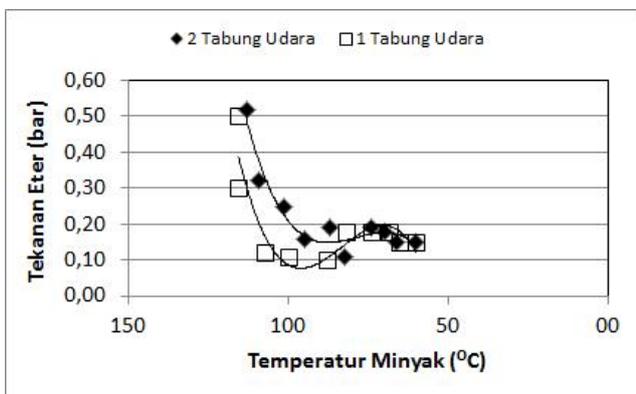
Gambar 20.Perbandingan tekanan sisi air pada proses pengembunan dengan variasi volume awal udara tekan



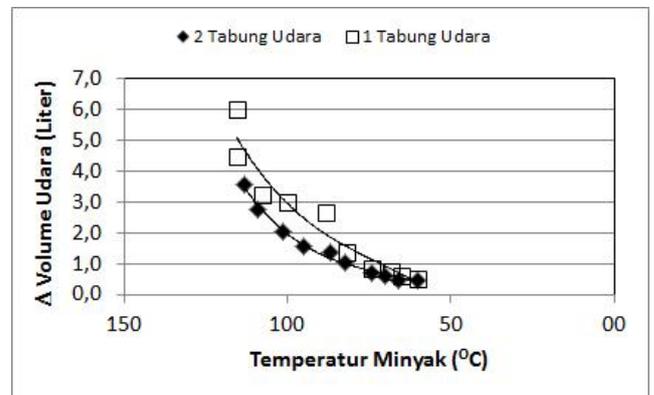
Gambar 18.Perbandingan temperatur pemanas pada proses pengembunan dengan variasi volume awal udara tekan



Gambar 21.Perbandingan tekanan sisi udara pada proses pengembunan dengan variasi volume awal udara tekan

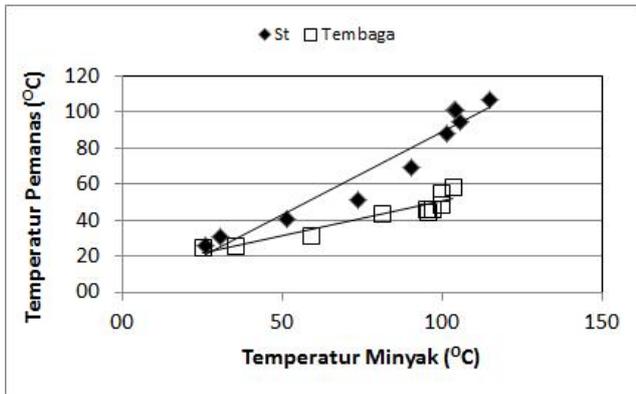


Gambar 19.Perbandingan tekanan sisi eter pada proses pengembunan dengan variasi volume awal udara tekan



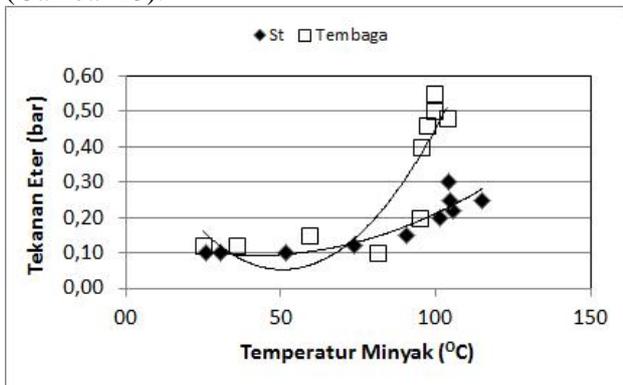
Gambar 22.Perbandingan perubahan volume udara tekan pada proses pengembunan dengan variasi volume awal udara tekan

Variasi lain yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi bahan pemanas yakni stainless steel dan tembaga. Penggunaan bahan pemanas dari stainless steel menghasilkan tekanan sisi eter, air dan udara yang lebih buruk dibandingkan tembaga (Gambar 24 sampai 27). Hasil yang lebih buruk disebabkan lebih

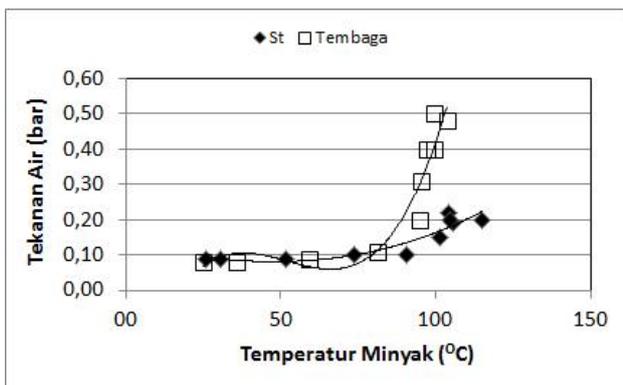


Gambar 23.Perbandingan temperatur pemanas pada variasi bahan pemanas

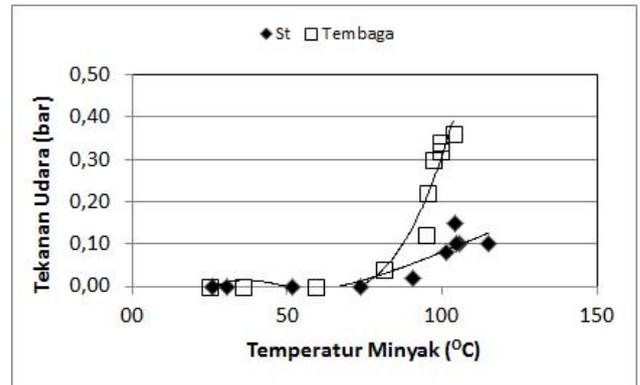
lambatnya perpindahan panas yang terjadi dari pemanas ke eter pada pemanas stainless steel dibanding pemanas tembaga, hal ini juga terlihat dari temperatur pemanas yang lebih tinggi (Gambar 23).



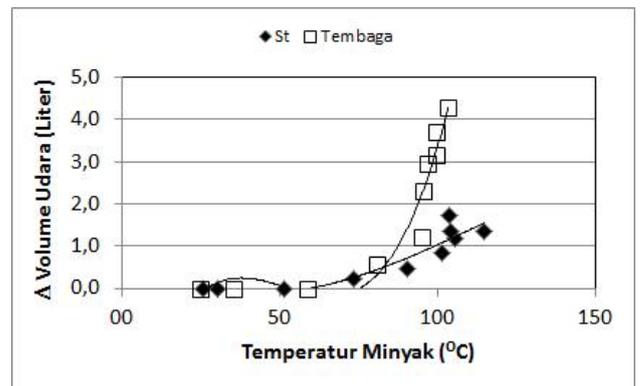
Gambar 24.Perbandingan tekanan sisi eter pada variasi bahan pemanas



Gambar 25.Perbandingan tekanan sisi air pada variasi bahan pemanas



Gambar 26.Perbandingan tekanan sisi udara pada variasi bahan pemanas



Gambar 27.Perbandingan perubahan volume udara tekan pada variasi bahan pemanas

Kesimpulan

Sifat fisik fluida kerja yakni temperatur didih, kapasitas panas dan entalpi penguapan sangat berpengaruh pada unjuk kerja yang dapat dihasilkan pompa air energi termal.

Laju alir massa fluida kerja, penggunaan tabung pemisah, volume awal udara tekan dan bahan pemanas merupakan faktor-faktor yang berpengaruh pada kerja pompa air energi termal.

Tingginya temperatur didih petroleum ether menjadi salah satu masalah yang belum dapat dipecahkan solusi teknisnya.

Hasil pemompaan terbaik adalah 1,65 liter dengan bahan pemanas tembaga, volume udara tekan awal menggunakan satu tabung udara tekan (11 liter) dan head pemompaan 3 meter.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui Skim Penelitian Unggulan PT dan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma yang telah mendukung proses penelitian.

Referensi

Menteri Negara Riset dan Teknologi, Indonesia 2005-2025 Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia (2006)

Sumathy, K., Venkatesh, A., Sriramulu, V., The Importance of the Condenser in a Solar Water Pump, Energy Conversion and Management, Vol. 36, Issue 12, December 1995, 1167 – 1173 (1995)

Sumathy, K., Chandwalker, K., Hahne, E., Small Solar (Thermal) Water-Pumping System, Solar Energy, Vol. 57, No. 1, 69 – 76 (1996)

Sumathy, K., Experimental Studies on a Solar Thermal Water Pump, Applied Thermal Engineering, Vol. 19, 449 – 459 (1999)

Wong, Y.W., Sumathy, K., Solar Thermal Water Pumping Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 3, 185-217 (1999).

Wong, Y.W., Sumathy, K., Thermodynamic Analysis and Optimization of a Solar Thermal Water Pump, Applied Thermal Engineering, Vol. 21, Issue 5, April 2001, 613-627 (2001)

Wong, Y.W., Sumathy, K., Performance of a solar Water Pump with Ethyl Ether as Working Fluid, Renewable Energy, Vol. 22, 389-394 (2001)