

UNJUK KERJA *THERMOSYPHON* DENGAN VARIASI FLUIDA KERJA

Arif Rochman Fachrudin⁽¹⁾

arfachrudin@gmail.com

⁽¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

Ringkasan

Thermosyphon merupakan alat penukar panas yang berupa pipa yang terdiri dari 3 bagian utama yaitu : evaporator (bagian bawah tabung), adiabatik dan kondensor (bagian atas tabung). Bagian evaporator merupakan bagian yang menerima panas dan menyerapnya untuk dibawa kebagian kondensor, yaitu bagian yang melepas panas ke lingkungan. Bagian adiabatik terletak diantara evaporator dan kondensor sebagai bagian yang memisahkan bagian evaporator dan kondensor yang terisolasi bagian luar sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Fluida kerja diisikan kedalam *thermosyphon* yang berfungsi untuk membawa panas dari evaporator ke kondensor. Panas dari lingkungan diserap evaporator dan bergerak keatas tabung karena adanya perbedaan densitas antara uap dan liquid hingga kesisi kondensasi (kondensor) dan panas dilepaskan. Pada sisi kondensasi uap terkondensasi menjadi liquid dan bergerak kebawah kembali ke evaporator karena gaya gravitasi.

Dalam penelitian ini, *thermosyphon* dibuat dari tembaga dengan diameter 9,52 mm dan panjang 400 mm dengan panjang kondensor 144 mm. Daerah evaporator sebagai sisi yang dikenai sumber panas, bagian adiabatik diisolasi sehingga tidak ada pertukaran panas dengan lingkungan dan daerah kondensor dipasang heat sink yang bertujuan untuk membuang panas dari *thermosyphon* ke lingkungan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasi fluida kerja, yaitu air, aseton, metanol dan ethanol. Data yang diperlukan adalah temperatur pada evaporator (T_e), temperatur bagian kondensor (T_{k1} , T_{k2} , T_{k3}) dan temperatur udara (T_u). *Thermosyphon* diberi temperatur 40°C, 60 °C, 80°C, 100°C dan 120 °C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tahanan thermal paling kecil pada jenis fluida aseton untuk semua temperatur. Pada fluida aseton, semakin tinggi temperatur, maka semakin besar fluks kalor dan daya output. Proses pada eksperimen ini daya output terbesar dan kapasitas terbesar terjadi pada fluida Aseton temperatur 120° C yaitu 24,5 W. Fluks kalor juga tertinggi pada fluida aseton pada temperatur 120° C yaitu 22W/cm².

Kata kunci: *thermosyphon*, pipa kalor, heat exchanger, kondensor.

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

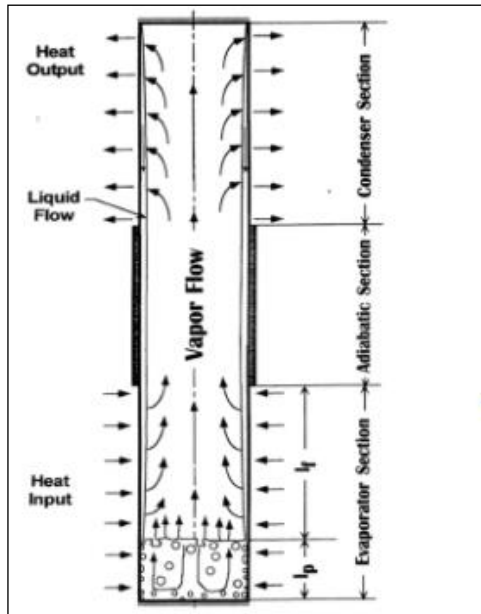
Sistem pendingin dalam bidang *mechanic* maupun *electric* sangat dibutuhkan untuk melindungi komponennya dari kerusakan. Sistem pendinginan membuat temperatur komponen akan terjaga sehingga terhindar dari kerusakan kerusakan yang diakibatkan dari panas yang berlebih (*over heating*).

Salah alat pendingin yang efektif dalam memindahkan panas dalam hal ini adalah *thermosyphon*. *Thermosyphon* merupakan alat penukar panas yang berupa pipa, terdiri dari 3 bagian utama yaitu : evaporator, adiabatik dan kondensor. Bagian evaporator merupakan bagian yang menerima panas dan menyerapnya untuk di bawa kebagian kondensor, yaitu bagian yang melepas panas ke lingkungan. Bagian adiabatik terletak diantara evaporator dan kondensor sebagai bagian yang memisahkan bagian evaporator dan kondensor yang terisolasi bagian luar

sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Fluida kerja diisikan kedalam *thermosyphon* yang berfungsi untuk membawa panas dari evaporator ke kondensor.

Apabila sejumlah panas diberikan pada bagian evaporator panas, maka fluida kerja akan menguap melalui inti tengah. Uap yang dibangkitkan bertekanan yang besar melebihi tekanan cairan sehingga uap akan menuju ke bagian kondensor. Pada bagian kondensor, fluida kerja yang berupa uap dikondensasikan dengan melepas panas dan fluida yang telah terkondensasi kembali ke bagian evaporator melalui dinding berdasarkan gravitasi.

Proses ini berjalan secara terus menerus, panas dipindahkan dari evaporator ke kondensor adalah berbentuk panas laten penguapan.



Gambar 1. *Thermosyphon*
 Sumber : Sabharwall P.,2009

Thermosyphon hampir sama dengan *heat pipe*. Perbedaannya adalah jika *heat pipe* menggunakan *wick*, *thermosyphon* tanpa struktur kapiler (*wick*) (Sabharwall P, 2009), sehingga perbedaan antara *heat pipe* dan *thermosyphon* yaitu *thermosyphon* menggunakan gaya gravitasi untuk mentransfer panas dari sumber panas (*heat source*) yaitu evaporator yang terletak di bawah kondensor, sedangkan *thermosyphon* menggunakan pipa kapiler (*wick*).

Menurut penelitian sebelumnya diperoleh kesimpulan bahwa gaya gravitasi pada *thermosyphon* mempunyai efek perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan struktur kapiler (*wick*) dalam *heat pipe* karena struktur *wick* cenderung menambah hambatan terhadap aliran kondensat. Meng-Chang Tsai, dkk (2007) melakukan penelitian pada *loop thermosyphon*, dengan menggunakan evaporator dinding *wick* dan tanpa *wick*. Menurut Meng-Chang bahwa temperatur evaporator tertinggi pada evaporator tanpa sumbu struktur (*wick*). Meena P., dkk (2006) melakukan penelitian terhadap recovery panas pada siklus pengeringan dengan *CLOHP/CV (Closed-loop oscillating heat-pipe with check valves)* air-preheater yang digunakan sebagai recovery panas buangan. Menurut Meena efektivitas Efektivitas perpindahan panas tertinggi dicapai pada kecepatan udara terendah dan pada temperatur tertinggi. Heri S. (2011), melakukan penelitian campuran konsentrasi aseton dan methanol pada *heat pipe*. Heri menyimpulkan bahwa campuran konsentrasi aseton dan methanol berpengaruh pada unjuk kerja *heat*

pipe, yaitu semakin besar konsentrasi aseton unjuk kerja semakin bagus

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pengujian ini dititik beratkan pada masalah pengaruh jenis fluida yang bekerja pada *thermosyphon*.

B. LANDASAN TEORI

Thermosyphon merupakan alat penukar kalor dengan dimensi yang kecil tetapi dapat memindahkan kalor yang besar. Dalam menjalankan fungsinya sebagai penukar kalor *thermosyphon* lebih menggunakan panas laten dari fluida kerja, dari pada menggunakan panas sensible sehingga *thermosyphon* mempunyai konduktivitas termal yang besar

Kinerja termal *thermosyphon* tergantung pada beberapa hal antara lain fluida kerja, , bahan pipa, bentuk dan panjang *thermosyphon*. Kriteria pokok dari kinerja termal ditentukan dari beda temperatur evaporator dan kondensor (end to end ΔT), tahanan termal, kapasitas perpindahan kalor (fluk kalor) dan daya output. Secara teori tahanan termal (R_{th}) pipa kalor dapat dihitung dengan "Persamaan (1)".(Hopkin etal., 1999) :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{kl}}{Q_{out}} \dots\dots\dots$$

Semakin rendah harga tahanan termal maka kinerja *thermosyphon* semakin baik dan begitu juga sebaliknya. Pada kondisi ideal kalor yang keluar harus sama dengan kalor yang masuk, karena pada kondisi stedi kalor yang dibutuhkan untuk penguapan fluida kerja di evaporator akan sama dengan kalor yang dilepaskan pada saat proses kondensasi uap di daerah kondensor. Kalor yang keluar melalui kondensor dapat dihitung sebagai berikut : $Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h \cdot (T_w - T_u)$. Fluks kalor didapatkan dari kalor yang keluar (Q_{out}) persatuan luas. Koefesien perpindahan kalor konveksi (h) diperoleh dengan rumus empiris, khususnya untuk konveksi paksa dengan aliran turbulen dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi pada "Persamaan (2)" (Holman, 1994 : 60):

$$Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h \cdot (T_w - T_u) \dots\dots\dots(2)$$

Angka Nusselt diperoleh dari (Holman 1994:252) :

$$Nud = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \dots\dots\dots(3)$$

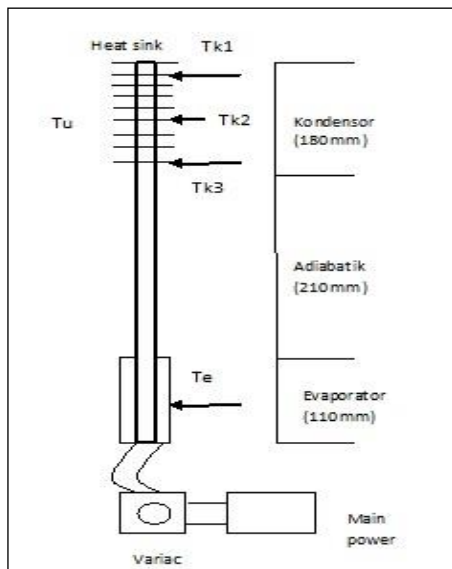
C. METODE PENELITIAN

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan jenis fluida pada unjuk kerja *thermosyphon*, sehingga untuk mendapatkan variasi parameter – parameter tersebut di atas dilakukan dengan jalan memvariasi fluida kerja yang digunakan sebagai penukar panas. Selain itu dilakukan variasi temperatur untuk mengetahui unjuk kerja *thermosyphon*.

Prosedur Pengambilan Data

Sebagai langkah awal dalam penelitian yaitu dengan melakukan Mengisi fluida kerja aseton 7,5 ml dalam pipa kalor, menghidupkan power dan mengatur kedudukan auto travo, sehingga diperoleh temperatur 40°C. Setelah kondisi stedi mencatat data temperatur di evaporator (Te), temperatur kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur udara (Tu) masing – masing 10 kali dengan selang waktu 30 detik.

Ada 4 variasi fluida kerja menjadi obyek penelitian ini yaitu : air, metanol, etanol dan aseton. Temperatur diberikan adalah 40, 60, 80, 100 dan 120° C. Pengambilan data temperatur di evaporator (Te), kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur udara (Tu) dilakukan setelah kondisi stedi, yaitu kurang lebih 120 menit setelah power dihidupkan, dan untuk daya input selanjutnya berselang kurang lebih 30 menit.



Gambar 2. Susunan Alat Uji *Thermosyphon*

Spesifikasi Thermosyphon

Tabel 1. Spesifikasi *Thermosyphon*

SPESIFIKASI	KET
Panjang total (mm)	400
Panjang kondensor (mm)	144
Panjang adiabatik (mm)	168

SPESIFIKASI	KET
Panjang Evaporator (mm)	88
Diameter Pipa (mm)	9,52
Tebal Pipa (mm)	0,5
Fluida kerja	variasi
Jumlah sirip	8
Diameter sirip	18
Bahan Pipa	Tembaga

Daya input dihitung berdasarkan tegangan dan arus yang diterima oleh pemanas (*heater*), yaitu bisa dihitung dengan persamaan 4 :

$$Q_{in} = V \cdot I \quad \dots\dots\dots(4)$$

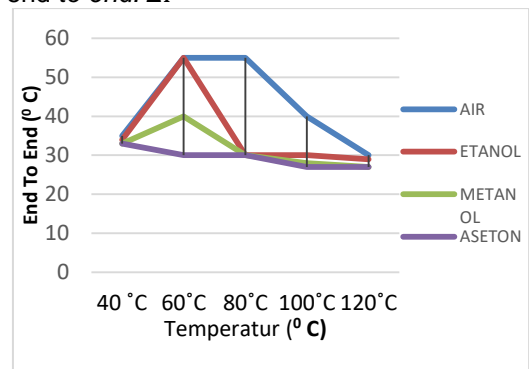
Pengambilan data temperatur adalah pada bagian, evaporator (Te), kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur ruangan/udara (Tu). Pengambilan data dilakukan setelah kondisi kerja *thermosyphon* stabil, yaitu kurang lebih 30 menit setelah *thermosyphon* mulai beroperasi. Pengukuran dilakukan 3 kali dan setiap temperatur diambil datanya 10 data dengan jeda pengambilan data 5 menit, sehingga setiap temperatur memperoleh 30 data.

Untuk setiap konsentrasi yang berbeda, diberikan 5 variasi temperatur dan untuk panjang adiabatik berikutnya diulang dari awal seperti sebelumnya. Hasil penelitian ini digambarkan dalam suatu grafik.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Grafik

1. Hubungan jenis fluida fluida kerja dengan end to end. ΔT



Gambar 3. Grafik Hubungan Temperatur dengan End to End ΔT

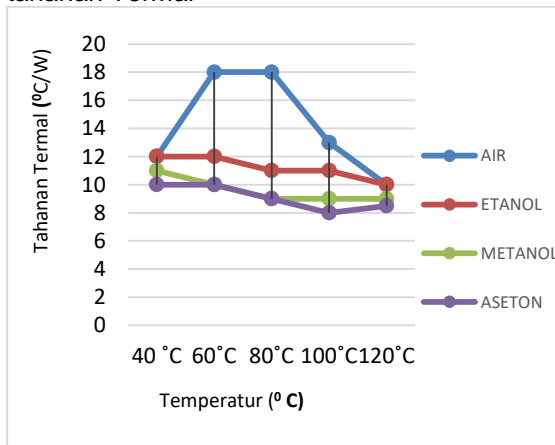
Pada Gb (3) bisa dilihat bahwa end to end ΔT pada fluida air pada awalnya rendah karena temperatur rendah. Seiring pertambahan temperatur evaporator end to end ΔT semakin tinggi sampai mencapai sebelum titik didih air. Setelah mendekati titik didih air, *thermosyphon* mulai bekerja

mengalirkan panas menuju ke kondensor. *End to end* ΔT menjadi kecil dan semakin kecil seiring pertambahan temperatur pada evaporator. Pada fluida yang lain juga terjadi seperti air, sebelum mencapai titik didihnya, *end to end* ΔT tinggi dan setelah mencapai titik didih, *end to end* ΔT akan semakin kecil.

Berdasarkan gambar 3 bahwa perbedaan temperatur (*end to end* ΔT) dibagian evaporator dan kondensor pada semua kondisi Jenis fluida pada temperatur rendah harga *end to end* ΔT nya cukup tinggi, dan semakin tinggi temperatur maka semakin kecil. Untuk jenis fluida air pada semua temperatur mempunyai harga *end to end* ΔT terbesar. Sebaliknya untuk fluida aseton mempunyai *end to end* ΔT yang terkecil. *End to end* ΔT terkecil adalah menunjukkan mempunyai unjuk kerja thermal yang terbaik.

Pengaruh kenaikan temperatur ini menyebabkan meningkatnya temperatur evaporator, dan kenaikan ini relatif lebih kecil dibanding dengan kenaikan yang terjadi di kondensor. Dengan bertambahnya temperatur maka, mekanisme perpindahan panas yang di bawa oleh fluida kerja dari evaporator ke kondensor akan semakin besar semakin efektif, sehingga mempunyai efisiensi thermalnya semakin besar.

2. Hubungan Jenis fluida Fluida kerja terhadap tahanan Termal



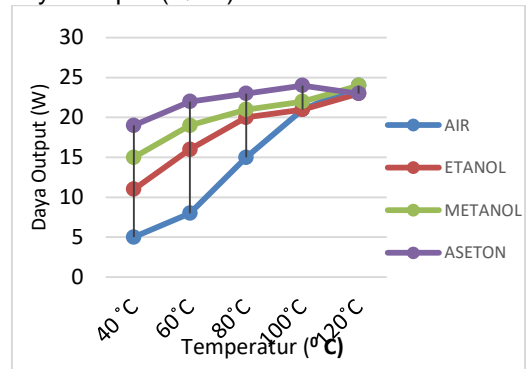
Gambar 4. Grafik Hubungan Temperatur dengan Tahanan Termal

Pada Gb (4), pada fluida aseton tahanan termal pada temperatur 40° C bernilai kecil karena sudah mendekati titik didih maka tahanan termal dan bertambah kecil dengan bertambahnya temperatur. hal ini berlaku juga dengan fluida yang lain. Untuk fluida air tahanan termal tampak tinggi ketika temperatur ditambah tetapi belum mencapai titik didih dan mencapai temperatur 100 °C maka tahanan termal menurun dan semakin turun dengan bertambahnya temperatur.

Melihat fenomena diatas disebabkan setiap jenis fluida mempunyai karakteristik penguapan yang berbeda beda serta mempunyai titik didih ya berbeda beda sehingga setiap fluida akan menghasilkan tahanan termal yang berbeda beda juga.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian dari Mozumder dkk dimana dalam penelitian itu menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar jenis fluida pada evaporator maka tahanan thermal akan semakin turun. Dibandingkan dengan penelitian ini, penelitian terdahulu menggunakan pipa kalor dengan dimensi lebih kecil, fluida kerja berbeda. Untuk penelitian ini range temperatur sampai 120° C, dimensi lebih besar dan menggunakan fluida kerja yang lain.

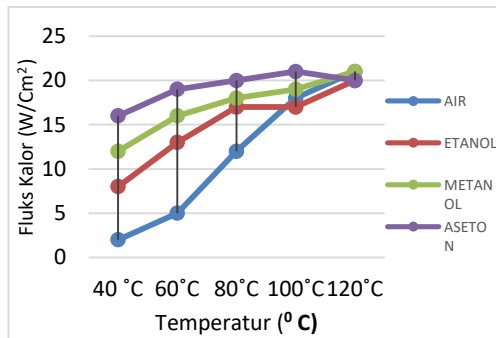
3. Hubungan Jenis fluida Fluida Kerja dengan Daya Output (Qout)



Gambar 5. Grafik Hubungan Temperatur dengan Daya Output

Gb (5) menunjukkan bahwa perbedaan jenis fluida dengan temperatur yang sama akan mempengaruhi daya output. Daya Output tertinggi dicapai oleh fluida aseton pada temperatur yang tertinggi juga (120° C). Hal ini disebabkan dengan perbedaan titik didih masing masing fluida. Aseton mempunyai titik didih yg terendah (56,53°C) disusul semakin tinggi metanol (64,7°C), etanol (78,29°C dan air (100°C), sehingga tahanan thermal pada aseton adalah paling kecil yang menyebabkan daya output akan semakin besar. Dengan titik didih yang rendah maka pada suhu titik didih tersebut *thermoshyphon* sudah bekerja menghantarkan panas dari evaporator ke kondensor. Begitu juga untuk fluida yang lain juga menunggu sesuai titik didihnya baru menghantarkan panas dari evaporator ke kondensor.

4. Hubungan Temperatur dengan fluks kalor



Gambar.6 Grafik Hubungan Temperatur dengan Fluks Kalor

Pada Gb (6) terlihat bahwa untuk semua variasi Jenis fluida, kapasitas perpindahan perpindahan kalor persatuan luas melintang pipa (fluks kalor) meningkat seiring dengan semakin besar temperatur. Hal ini ditunjukkan bahwa pada fluida aseton pada temperatur 40° C mempunyai fluks kalor 16 W/cm² sedangkan pada temperatur 120°C mempunyai fluks kalor 22 W/cm². Gambar diatas juga menunjukkan bahwa variasi fluida fluida mempengaruhi nilai fluks kalor. Hal ini ditunjukkan pada temperatur yang sama, fluks kalor terbesar pada pada fluida aseton dan semakin menurun pada fluida air. Hal ini dipegaruhi oleh volume spesifik uap dan titik didih dari fluida kerja, maka dengan titik didih fluida semakin kecil, mekanisme proses transfer panas bisa berjalan pada temperatur kecil. Hal ini menyebabkan fluks kalor semakin tinggi.

E. PENUTUP

Kesimpulan

1. Untuk jenis fluida kerja pada evaporator untuk semua temperatur, cenderung berpengaruh terhadap *end to end* ΔT . *End to end* ΔT tertinggi pada jenis fluida air : 55 °C pada suhu 80°C dan *end to end* ΔT terkecil pada pada temperatur 120°C jenis fluida aseton (27° C).
2. Pada semua temperatur dengan jenis fluida yang berbeda , dari fluida air, metanol, etanol dan aseton pada evaporator maka tahanan thermal akan menurun. Tahanan thermal tertinggi pada Jenis fluida air terhadap evaporator pada temperatur 60°C (18 C/W) dan terendah pada Jenis fluida aseton pada temperatur 100° C(8 C/W).
3. Pada semua temperatur, dari fluida air, metanol, etanol dan aseton maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada jenis fluida yang sama semakin tinggi temperatur, maka semakin besar fluks kalor dan daya output.

F. DAFTAR PUSTAKA

1. Dunn, P.D. and D.A. ready, 1994. Thermosypon, Fourth edition,pergamon press,Elselvier Science Ltd.
2. Faghri A.1995. Thermosypon science and tehnologi, Taylor and francis.
3. Holman, JP.1986. Heat Transfer Mc Graw Hill, Ltd jasjfi (Penerjemagh). 1994. Perpindahan Kalor. Edisi keempat. Erlangga Jakarta.
4. Masaru Oomi, Toshiro Fukumoto, Takao Kobayashi, Masamobu Sugiora, Ktsuo Nakayama, and kenichi Namba. 2000. State of the art Technologies Of Micro Thermosypon Heat Sink for Note Book PCS.
5. Meng-Chang Tsai, Chih-Sheng Hsieh, Shung-Wen Kang, Experimental Study of a Loop Thermosyphon Using Methanol as Working Fluid, 14th International Heat Pipe Conference (14th IHPC), Florianópolis, Brazil, April 22-27, 2007.
6. Mozumder AK, A. F. Akon, M. S. H. Chowdhury dan S. C. Banik , 2010. Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2, December 2010 Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh.
7. Sathaye,N.D.2000. Incorporation of thermosypon Into Engine Air Pre Cooling,Master Thesis, B.E, University of Pune.
8. Sabharwall, p., 2009, Engineering Design Elements of a Two-Phase Thermosypon to Transfer NGNP Thermal Energy to a Hydrogen Plant Idaho National Laboratory U.S. Department of Energy National Laboratory