

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS PADA *LOOP THERMOSYPHON* DENGAN FLUIDA KERJA R-134a BERTEKANAN 0,8 MPa

Suyitno¹, Wibawa Endra J¹, Heru Sukanto¹, Bobie Suhendra²

¹ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

² Alumnus Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Loop thermosyphon
Refrigerant R134a
Effectivity
Thermal resistance
Heat transfer

Abstract :

Loop thermosyphon heat exchanger (LTHE) is a flexible equipment and has a great economical benefit. In thermosyphon, fluid with gas phase carry an amount of latent heat from evaporator towards condensor. In this research, the thermosyphon consist of three parts, i.e. evaporator with diameter of 3/4 inch and length of 3.5 cm, the place where fluid absorbs heat and change the liquid fluid into gas fluid. The second part of the thermosyphon is condensor with diameter of 3/4 inch and length of 15 cm, the place where the gas fluid is condensed and release heat. The third part is adiabatic part where in this part no heat in and out from system and as a vapour line with diameter of 3/4 inch and length of 25 cm and a liquid line with diameter of 3/8 inch and length of 27 cm. The research of this loop thermosyphon heat exchanger has objectives to study the effectivity and the thermal resistance of this heat exchanger with working fluid of refrigerant 134a at 0,8 MPa. The research was conducted at three air velocities (fluid which would be heated) of 0.8 m/s, 1 m/s, and 1.2 m/s and at three evaporator temperatures of 40°C, 50°C, and 60°C. The research was carried out experimentally where the heat source for evaporator from electric heater of 16 W, 36 W, and 60 W. From the research can be concluded that the effectivity of the LTHE with working fluid of R134a is about 22-35% and higher than LTHE with working fluid of air that is 14-21%. The thermal resistance of LTHE with working fluid R134a is 0.3-0.45 °C/W and lower than LTHE with working fluid of air that is 0.95-1.9 °C/W.

PENDAHULUAN

Seiring dengan melonjaknya jumlah permintaan energi maka perlu adanya pemanfaatan energi seoptimal mungkin guna pencegahan krisis energi agar tidak semakin meningkat. Kebutuhan untuk penghematan energi telah menjadi salah satu aspek yang perlu diperhitungkan dalam perekonomian suatu industri. Satu sarana untuk menghemat energi adalah dengan memanfaatkan sebagian dari energi dalam aliran limbah yang panas dengan menggunakan alat *recovery* panas energi untuk memanaskan lebih dulu fluida yang lebih dingin (*pre heat*). Dengan metode ini berarti pemanfaatan limbah energi hasil produksi digunakan kembali sehingga dapat meminimalisir energi yang terbuang ke lingkungan.

Pada industri pengeringan misalnya, panas buangan setelah proses pengeringan belum dimanfaatkan secara optimal. Pada industri pengeringan panas buangan dari ruang pengering mempunyai temperatur yang tidak terlalu tinggi dimana umumnya berkisar antara 40–60°C. Udara buangan dari proses pengeringan ini masih memiliki kandungan energi yang dapat dimanfaatkan lagi dalam proses pengeringan namun diperlukan peralatan penukar kalor yang bekerja dengan efisien. Salah satu jenis peralatan rekoveri panas yang

menarik dikembangkan adalah berjenis *thermosyphon*.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai termosifon dimana diantaranya adalah Meena, P., dkk pada tahun 2006. Meena P., dkk melakukan penelitian terhadap *CLOHP/CV (Closed-loop oscillating heat-pipe with check valves) air-preheater* yang digunakan sebagai *recovery* panas buangan. *CLOHP/CV heat-exchanger* terdiri dari pipa dengan panjang 3,58 m dan diameter dalamnya 0,002 m. Evaporator dan kondensor memiliki panjang 0,19 m, bagian adiabatik sepanjang 0,08 m, kecepatan udara 0,5, 0,75, dan 1,0 m/s dengan temperatur udara panas 50, 60, dan 70°C. Temperatur udara panas naik dari 50°C menjadi 70°C dan terjadi peningkatan efektivitas perpindahan panas. Peningkatan kecepatan dari 0,5 m/s, 0,75 m/s, 1,0 m/s menjadikan efektivitas menurun. Pada kenaikan temperatur udara panas dari 50°C ke 70°C efektivitas meningkat, dan kelembaban relatif berkurang sehingga dapat menghemat energi. Efektifitas perpindahan panas tertinggi dicapai pada kecepatan udara 0,5 m/s dan temperatur 70°C sebesar 0,75.

Meng-Chang Tsai, dkk (2007) melakukan penelitian pada *loop thermosyphon*, dengan methanol sebagai fluida kerja. Evaporator yang digunakan

dalam studi ini memiliki diameter dalam 25 mm dan tinggi dari 25 mm. Tiga evaporator, tanpa struktur (*wick*) dan berstruktur (*wick*) dengan lebar *mesh* 1 mm dan 4 mm. Percobaan dilakukan di bawah kondisi 20°C, 30°C, 40°C dan 50°C air pendingin, untuk pemanas menggunakan daya listrik dari 20 sampai 150 W, fluida kerja dengan rasio pengisian metanol 5%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dan laju aliran air pendingin 0,2 l/menit. Hasil pengujian variasi dari suhu evaporator sebagai fungsi dari beban panas (Watt) untuk tiga jenis evaporator dengan rasio pengisian 10%, didapat bahwa suhu evaporator terendah pada evaporator dengan ketebalan 1 mm sumbu struktur (*wick*). Temperatur evaporator tertinggi pada evaporator tanpa sumbu struktur (*wick*), dengan daya listrik pemanas sebesar 150 W pada suhu 70,5°C, sedangkan suhu untuk pada evaporator dengan ketebalan 1 mm struktur sumbu 63,5°C.

Meena, P. dan Rittidech, S. (2008) melakukan penelitian untuk membandingkan unjuk kerja perpindahan panas dari *closed-looped oscillating heat pipe and closed-looped oscillating heat pipe with check valves heat exchangers* dengan fluida R134a, ethanol dan air sebagai fluida kerjanya. Pipa kalor terbuat dari pipa tembaga dengan diameter dalam 2,03 mm, 40 belokan dengan masing-masing panjang evaporator, adiabatik, dan kondensor adalah 20, 10, dan 20 cm. Fluida kerja diisikan dalam pipa pada rasio pengisian 50%. evaporator dipanasi dengan *heater* dan kondensor didinginkan dengan udara, sedangkan pada bagian adiabatik diisolasi. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa unjuk kerja perpindahan panas *closed-looped oscillating heat pipe with check valves heat exchanger* lebih baik dari pada *closed-looped oscillating heat exchanger* dengan fluida kerja R-134 a sebesar 0,65.

Suyitno dan Thoharudin (2009) melakukan penelitian secara eksperimen pipa kalor dengan variasi panjang pipa, diameter pipa dan fluida kerja pipa kalor. Pada salah satu ujung pipa kalor diberi pemanas dengan heater 50 W dan pada ujung pipa kalor kedua diberi sirip dan dialiri udara dengan kecepatan 0,1 m/s dengan temperatur kamar. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa efektivitas perpindahan panas pipa kalor sekitar 23% dan jauh lebih tinggi dari efektivitas perpindahan panas pipa biasa sebesar 13%. Efektivitas perpindahan panas pada pipa kalor berfluida etanol-air akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar etanol. Pemakaian pipa yang berdiameter lebih besar mampu memberikan efektivitas perpindahan panas yang lebih besar.

Dari beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa terdapat beberapa keuntungan menggunakan termosifon sebagai penukar kalor yaitu karena:

1. Mudah dan fleksibel dalam pembuatan karena hanya terdiri dari dua komponen utama, yaitu

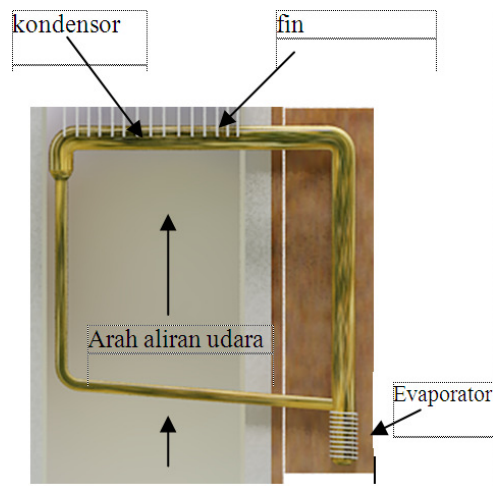
wadah (pipa) yang tertutup rapat dan fluida kerja.

2. Mudah dalam perawatan. *Thermosyphon* tidak memerlukan perawatan mekanis karena tidak ada bagian yang bergerak yang dapat rusak.
3. Penukar kalor bersifat ekonomis. Alat ini tidak memerlukan masukan tenaga (daya pompa atau kompresor) dalam pengoperasian dan bebas dari pelumasan dan pendinginan.
4. *Thermosyphon* membutuhkan daya *fan* lebih rendah dan meningkatkan efisiensi panas sistem secara keseluruhan.

Oleh karena itu penelitian tentang *thermosyphon* perlu dikembangkan terutama untuk *recovery* panas pada temperatur rendah, yaitu dengan menggunakan fluida kerja R134a. Pemilihan pada temperatur rendah sangat menarik karena banyak panas yang dibuang pada temperatur yang tidak terlalu tinggi misalnya pada peralatan pengering dan kondensor mesin pendingin.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan berupa tiga *loop thermosyphon* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Loop thermosyphon*

Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 2. Arah aliran udara dalam saluran udara (*duct*) adalah aliran menyilang (*crossflow*) terhadap arah aliran fluida kerja APKLT pada bagian kondensor. Saluran uji (*duct*) berbentuk balok berongga dengan lebar x tinggi pada permukaan bagian dalam adalah 12 cm x 12 cm. Panjang saluran 147 cm. Panas evaporator APKLT bersumber dari arus listrik yang dialirkan pada lilitan kawat nikelin berdiameter 0,5 mm. Untuk semua pengujian besarnya $V \times I$ dijaga konstan sekitar 16 W untuk variasi suhu evaporator 40°C, 36 W untuk variasi suhu evaporator 50°C, dan 60 W untuk variasi suhu evaporator 60°C. Pada bagian kondensor diberi sirip. Fluida yang akan dipanasi oleh *thermosyphon* adalah udara yang dialirkan dengan *blower*.

Besarnya laju perpindahan panas yang dipindahkan oleh pipa kalor dapat dinyatakan dengan:

$$Q = \dot{m}_a c_{pa} \Delta T \quad (1)$$

dan

$$\dot{m}_a = \rho_a v_a A \quad (2)$$

Dimana

\dot{m}_a : laju aliran massa udara (kg/s)

C_{pa} : kalor jenis udara (J/kgK)

ΔT : beda temperatur udara sebelum dan sesudah melewati *loop thermosyphon* (K)

ρ_a : massa jenis udara (kg/ m³)

A : luas penampang saluran (m²)

v_a : kecepatan udara (m/s)

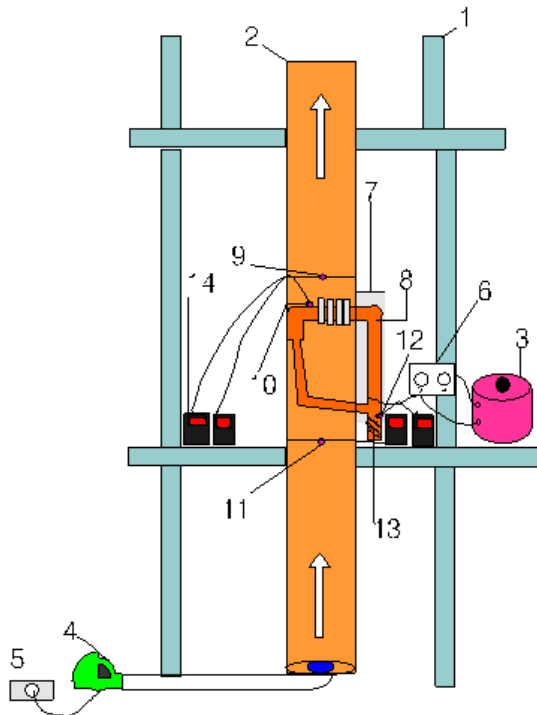
Besarnya efektivitas pipa kalor dapat dicari dengan:

$$\text{Efektivitas} = \frac{Q}{V_{listrik} \times I_{listrik}} \quad (3)$$

Jouhara H. dkk (2008), meneliti hambatan termal pada *thermosyphon* dengan mendefinisikan hambatan termal (R_{th}) sebagai berikut

$$R_{th} = \frac{\bar{T}_e - \bar{T}_c}{\dot{Q}} \quad (4)$$

Dimana \bar{T}_e dan \bar{T}_c merupakan temperatur rata-rata evaporator dan kondensor *thermosyphon*.



Gambar 2. Skema pengujian

Keterangan :

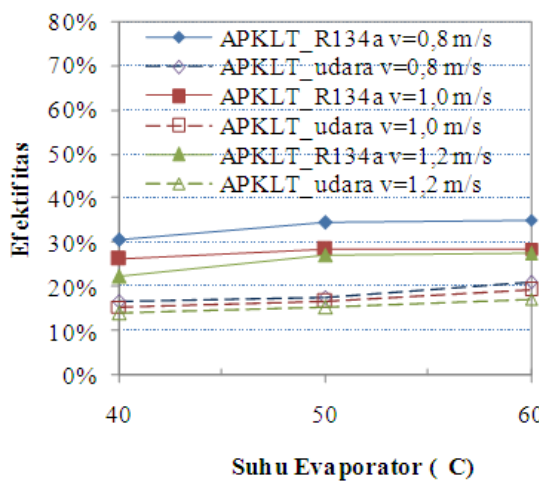
1. Kerangka besi
2. Duct
3. Electric regulator
4. Blower
5. Dimmer
6. Voltmeter dan amperemeter
7. Kotak isolasi evaporator
8. Thermosyphon
9. Termokopel udara keluar dari *thermosyphon*
10. Termokopel ujung *thermosyphon*
11. Termokopel udara masuk ke *thermosyphon*
12. Termokopel evaporator *thermosyphon*
13. Kawat nikelin
14. Display termokopel/ *Thermocouple reader*

HASIL DAN PEMBAHASAN

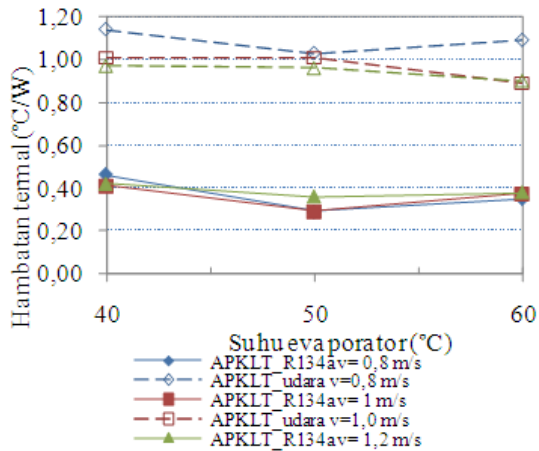
Dari Gambar 3 terlihat bahwa efektifitas APKLT bertekanan 0,8 MPa lebih besar dibandingkan APKLT berfluida udara untuk semua variasi kecepatan udara dan suhu evaporator yang sama. Dengan APKLT 0,8 MPa, efektifitas perpindahan panasnya meningkat sekitar 1,5-2 kali dari efektifitas perpindahan panas APKLT berfluida udara. Efektivitas APKLT 0,8 MPa berkisar antara 22–35%, sedangkan efektifitas APKLT berfluida udara berkisar antara 14–21% sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada APKLT berfluida udara adalah panas dari sumber panas ditransfer ke bagian yang lebih dingin melalui konduksi, sedangkan mekanisme perpindahan panas pada APKLT berfluida R-134a bertekanan 0,8 MPa selain terjadi secara konduksi juga terjadi secara konveksi berupa perubahan fasa dan sirkulasi fluida atau *refrigerant* yang terdapat dalam APLKT.

Dari Gambar 3 terlihat efektifitas APKLT meningkat seiring dengan peningkatan suhu evaporator dari 40°C ke 50°C. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu evaporator maka hambatan termal semakin rendah, oleh karena itu panas yang ditransfer dari evaporator menuju kondensor semakin tinggi. Pada suhu evaporator 60°C tidak ada kenaikan yang signifikan pada efektifitas perpindahan panas APKLT bertekanan 0,8 MPa. Hal ini terjadi karena pada suhu evaporator 60°C hambatan termalnya meningkat kembali (lihat Gambar 4) sehingga panas yang ditransfer dari evaporator menuju kondensor mulai terhambat. Akibatnya tidak ada kenaikan efektifitas perpindahan panas yang signifikan. Hambatan termal yang meningkat kembali pada saat suhu evaporator 60°C disebabkan oleh adanya fenomena saat pengujian bahwa suhu evaporator rata-rata lebih besar dari temperatur jenuh *refrigerant* di bagian evaporator yaitu sekitar 7°C (lihat Gambar 3). Jika temperatur rata-rata di evaporator jauh lebih tinggi dari T_{sat} , akibatnya akan terdapat lebih banyak uap *refrigerant* R-134a di evaporator sehingga *refrigerant* cair dari kondensor akan sulit bersirkulasi. Jika sirkulasi

refrigerant sulit terjadi, maka hambatan termal dari APKLT pada kondisi ini akan meningkat kembali.



Gambar 3. Pengaruh suhu evaporator terhadap efektifitas perpindahan panas APKLT



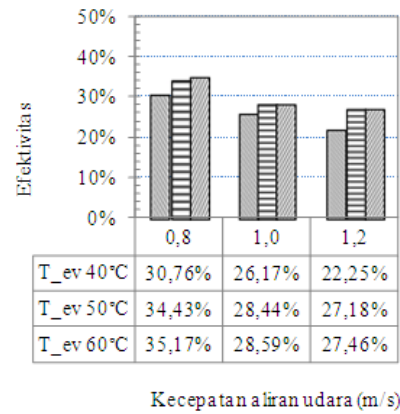
Gambar 4. Hambatan termal untuk APKLT

Tabel 1. Temperatur rata-rata dan temperatur jenuh fluida kerja di bagian evaporator APKLT berfluida R-134a dan tekanan 0,8 MPa

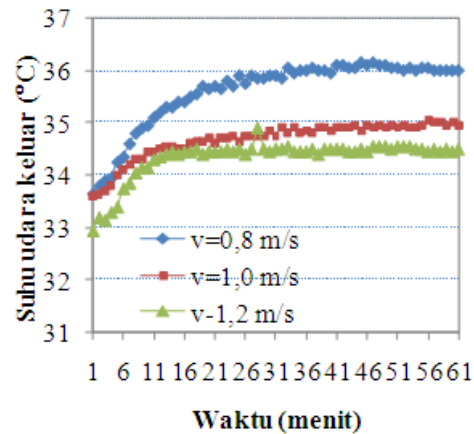
Suhu setingan evaporator	Suhu rata-rata evaporator			Temperatur jenuh fluida kerja pada evaporator
	Kecepatan udara 0,8 m/s	Kecepatan udara 0,8 m/s	Kecepatan udara 1,2 m/s	
40°C	42,64°C	40,54°C	40°C	38°C
50°C	51,11°C	50,25°C	50,13°C	50°C
60°C	62,08°C	61,37°C	59,32°C	55,5°C

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara yang akan dipanaskan berpengaruh terhadap efektifitas perpindahan panas APKLT berfluida R-134a. Semakin besar kecepatan aliran udara yang akan dipanaskan menyebabkan penurunan efektifitas APKLT. Dari Gambar 5 terlihat bahwa pada kecepatan aliran udara yang

semakin besar akan menyebabkan efektifitas perpindahan panas semakin kecil untuk semua variasi suhu evaporator yang dilakukan pada pengujian ini.



Gambar 5. Pengaruh kecepatan aliran udara yang akan dipanasi terhadap efektifitas perpindahan panas APKLT fluida kerja R-134a bertekanan 0,8 MPa



Gambar 6. Penurunan suhu udara setelah melewati APKLT dengan fluida kerja R-134a bertekanan 0,8 MPa seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara yang akan dipanasi

Penyebab turunnya efektifitas perpindahan panas pada APKLT karena peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan penurunan suhu udara setelah melewati APKLT sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6. Penurunan suhu udara keluaran atau suhu udara setelah melewati APKLT menyebabkan nilai perbedaan suhu sebelum dan suhu sesudah melewati APKLT (ΔT) menurun, sehingga nilai laju perpindahan panas aktual menurun, sesuai dengan persamaan $Q_a = \dot{m}_a c_{pa} \Delta T$, dimana nilai kenaikan \dot{m}_a tidak sebanding dengan penurunan nilai ΔT yang akan menyebabkan nilai Q_a menurun, sehingga efektifitas menurun.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa

1. Peningkatan suhu evaporator (*heat source*) akan mempengaruhi efektivitas perpindahan panas dan hambatan termal pada APKLT
2. Efektivitas perpindahan panas pada APKLT yang berfluida kerja R-134a menurun seiring peningkatan kecepatan aliran udara pada saluran (*duct*).
3. Efektivitas perpindahan panas APKLT fluida kerja bertekanan 0,8 MPa sekitar 22–35% dan lebih besar dari efektivitas APKLT berfluida udara yaitu 14–21%.
4. Hambatan termal APKLT bertekanan 0,8 MPa sekitar 0,3–0,45 °C/W dan lebih rendah dibanding hambatan termal APKLT berfluida udara, yaitu 0,95–1,9°C/W.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI atas pendanaan untuk penelitian ini melalui skema penelitian Strategis Nasional dengan No. Kontrak: 172/SP2N/PP/DP2M/III/2010 tanggal 1 Maret 2010.

DAFTAR PUSTAKA

Meena, P., S. Rittidech and N. Poomsa-ad., 2006, *Closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CVs) air-preheater for reducing relative humidity in drying systems*, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Thailand.

Meena, P. and S. Rittidech., 2008, “Comparisons of Heat Transfer Performance of a Closed-looped Oscillating Heat Pipe and Closed-looped Oscillating Heat Pipe with Check Valves Heat Exchangers”, *American J. of Engineering and Applied Sciences 1*, Vol. 1, pp. 7–11.

Meng-Chang Tsai., Chih-Sheng Hsieh., Shung-Wen Kang., 2007, “Experimental Study of a Loop Thermosyphon Using Methanol as Working Fluid”, *International Heat Pipe Conference (14th IHPC)*, Florianópolis, Brazil, April 22–27, 2007.

Jouhara H, O. Martinet, A.J. Robinson., 2008, “Experimental Study of Small Diameter Thermosyphons Charged with Water, FC-84, FC-77 & FC-3283”, *European thermal sciences Conference*, Netherlands.

Suyitno dan Thoharudin., 2009, “Uji Efektivitas Perpindahan Panas pada Pipa Kalor (Heat Pipe) Berfluida Campuran Etanol–Air”, *Seminar Nasional Teknoin*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.