

KAJIAN TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS PADA LOOP THERMOSYPHON SEBAGAI ALAT RECOVERY PANAS TEMPERATUR RENDAH

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT

Dosen Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Pengolahan Sumber Daya Perairan
Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar
Email: saloomhsiahaan@gmail.com

ABSTRAK

*Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji terhadap efektivitas Alat Penukar Kalor Loop Thermosyphon (APKLT) berfluida kerja refrigerant R134a pada variasi tekanan fluida kerja 0,8 MPa dan 1,2 MPa. Thermosyphon dibuat dari tiga bagian yaitu, **evaporator, kondensor dan bagian adiabatik**. **Evaporator** terbuat dari pipa tembaga berdiameter 3/4 inchi dengan panjang 3,5 cm. **Kondensor** terbuat dari pipa tembaga berdiameter 3/4 inchi dengan panjang 15 cm. Bagian **adiabatik** jalur uap terbuat dari pipa tembaga berdiameter 3/4 inchi dan panjangnya 25 cm dan jalur cairan (liquid line) berdiameter 3/8 inchi dengan panjang 27 cm. Hal yang diteliti meliputi pengaruh kecepatan aliran udara (fluida yang dipanaskan) sebesar 0,8 m/s, 1 m/s, dan 1,2 m/s terhadap efektivitas APKLT serta pengaruh peningkatan suhu evaporator sebesar 40°C, 50°C, dan 60°C terhadap efektivitas APKLT. Penelitian dilakukan secara eksperimen dimana evaporator APKLT diberi pemanas dengan heater. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa efektivitas perpindahan panas APKLT fluida kerja bertekanan 1,2 MPa sekitar 30-68% dan lebih tinggi dibandingkan efektivitas perpindahan panas APKLT fluida kerja bertekanan 0,8 MPa sekitar 22-35%. Efektivitas menurun seiring peningkatan kecepatan aliran udara. Hambatan termal APKLT bertekanan 0,8 MPa sekitar 0,3-0,45 °C/W dan lebih besar dari hambatan termal APKLT bertekanan 1,2 MPa sekitar 0,08-0,4 °C/W.*

Kata kunci: *loop thermosyphon, Alat penukar kalor, refrigerant R134a, efektivitas, hambatan termal.*

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang Masalah

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 mulai diperhitungkan dalam perekonomian suatu industri. Satu sarana 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. Dengan metode ini berarti pemanfaatan limbah energi hasil produksi digunakan kembali sehingga tidak ada energi yang terbuang ke lingkungan. Pada industri pengeringan misalnya, panas buangan setelah proses pengeringan belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk proses pengeringan menjadi besar karena limbah panas terbuang begitu saja. Padahal udara buangan dari proses pengeringan masih memiliki kandungan energi yang dapat dimanfaatkan lagi dalam proses pengeringan. Begitu pula pada peralatan lain seperti *Air Conditioner* (AC) dan *Freezer*, limbah panas yang dikeluarkan tidak termanfaatkan lagi. Salah satu jenis peralatan *recovery* panas yang menarik dikembangkan adalah

berjenis *Thermosyphon*.

Adapun keuntungan menggunakan *thermosyphon* sebagai penukar kalor adalah 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. 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.

Penelitian ini dilakukan dengan menguji *thermosyphon* pada saluran udara dengan variasi temperatur evaporator (*heat*

source) *thermosyphon*, tekanan fluida kerja dalam *thermosyphon*, dan kecepatan udara untuk mengetahui unjuk kerja *thermosyphon* pada masing-masing variasi.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini dirumuskan beberapa permasalahan yang diteliti yaitu:

1. Bagaimanakah karakteristik perpindahan panas pada penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan **variasi temperatur evaporator** (*heat source*) *thermosyphon* terhadap efektivitas perpindahan panas dan hambatan termalnya.
2. Bagaimanakah karakteristik perpindahan panas pada penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan **variasi kecepatan aliran udara** dalam *thermosyphon* terhadap efektivitas perpindahan panasnya.
3. Bagaimanakah karakteristik perpindahan panas pada penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan **variasi tekanan fluida kerja** terhadap efektivitas perpindahan panasnya.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi sebagai berikut ini:

1. Alat penukar kalor berupa *loop thermosyphon* dimana:
 - a. Pada bagian evaporator berdiameter 3/4 inchi dengan panjang 3,5 cm.

- b. Pada bagian adiabatik (*vapour line*) berdiameter 3/4 inchi dan panjangnya 25 cm.
 - c. Pada daerah kondenser berdiameter 3/4 inchi dengan panjang 15 cm.
 - d. Pada daerah adiabatik *liquid line* berdiameter 3/8 inchi dengan panjang 27 cm.
2. Pipa kalor terbuat dari pipa tembaga sebagai pipa selubung dan refrigeran R-134a sebagai fluida kerjanya. Fluida kerja R-134a diisikan pada tekanan 0,8 MPa dan 1,2 MPa
 3. Arah aliran udara dalam saluran udara (*duct*) adalah aliran menyilang (*crossflow*) terhadap arah aliran fluida kerja pipa kalor.
 4. Panas Evaporator pipa kalor bersumber dari arus listrik yang dialirkan pada lilitan kawat nikelin berdiameter 0,5 mm sejumlah 25 lilitan sepanjang 3,5 cm.
 5. Daerah evaporator, daerah adiabatik (*vapor line* maupun *liquid line*) pada *thermosyphon* dan daerah saluran udara (*duct*) diisolasi.
 6. Fluida yang dipanasi *thermosyphon* adalah udara yang dialirkan oleh blower.
 7. Saluran uji (*duct*) berbentuk balok berongga dengan lebar x tinggi pada permukaan bagian dalam adalah 12 cm x 12 cm. Panjang saluran 147 cm.
 8. Jumlah pembacaan temperatur yang akan diamati pada pengujian ini adalah

enam titik yaitu dua pada bagian kondenser *thermosyphon*, dua pada evaporator *thermosyphon*, satu pada saluran udara sebelum melewati *thermosyphon*, dan satu pada saluran udara setelah melalui *thermosyphon*.

9. Karakteristik perpindahan panas yang diteliti hanya meliputi efektivitas dan hambatan termal.

1.4. Tujuan dan manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui karakteristik perpindahan panas pada alat penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan variasi temperatur evaporator *thermosyphon* terhadap efektivitas perpindahan panas dan hambatan termalnya.
2. Mengetahui karakteristik perpindahan panas pada alat penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan variasi kecepatan aliran udara pada saluran udara (*duct*) terhadap efektivitas perpindahan panasnya.
3. Mengetahui karakteristik perpindahan panas pada penukar kalor jenis *loop thermosyphon* dengan variasi tekanan fluida kerja di dalam tabung *thermosyphon* terhadap efektivitas perpindahan panasnya.

Hasil penelitian yang didapat diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tentang karakteristik perpindahan panas *loop thermosyphon* yang terbuat dari pipa selubung tembaga dan fluida kerja berupa refrigeran R-134a sebagai alat *recovery* panas temperatur rendah.
2. Hasil penelitian ini dapat diterapkan pada industri pengeringan maupun industri yang memanfaatkan alat *recovery* panas sebagai alat penukar kalor yang fleksibel, murah, ekonomis dalam penggunaannya (tidak memerlukan pompa, kompresor, ataupun peralatan lain untuk menggerakkan fluida kerja), dan mudah dalam perawatannya.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pipa kalor, dan pengujian karakteristik perpindahan panas pada *loop thermosyphon*.

BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan

pengambilan data.

BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil dari perhitungan.

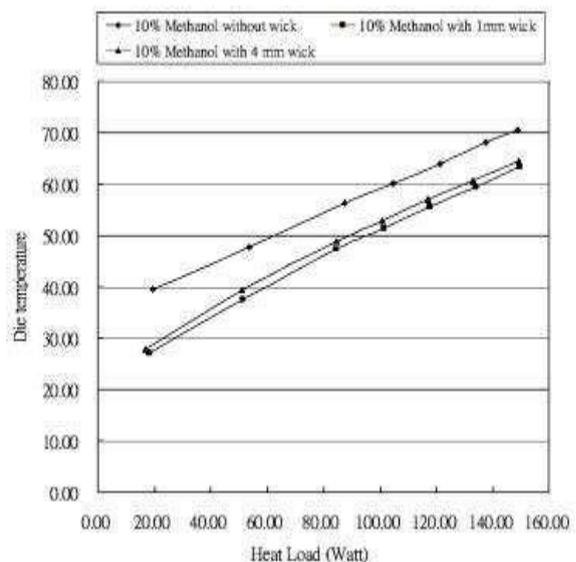
BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

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%. serta laju aliran air pendingin 0,2 l/menit. Hasil pengujian variasi dari suhu evaporator sebagai fungsi dari beban panas (Watt) untuk 3 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.



Gambar 2.1. Grafik perbandingan suhu evaporator berstruktur (*wick*) dengan tanpa *wick* (Meng-Chang Tsai, dkk, 2007)

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. *CLOHP/CV heat-exchanger* terdiri dari pipa dengan panjang 3,58 m dan diameter dalamnya 0,002 m. Evaporator dan kondensator 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 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. Efektivitas perpindahan panas tertinggi dicapai pada kecepatan udara 0,5 m/s dan temperatur 70°C sebesar 0,75

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 R134a sebesar 0,65

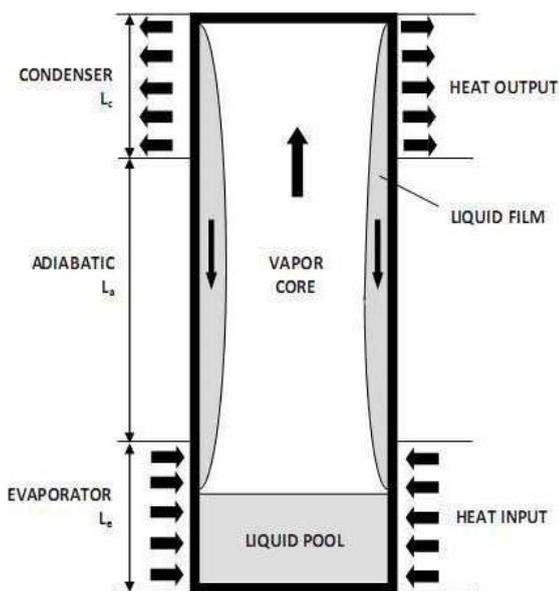
Suyitno dan Thoharudin (2009)

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.

2.2. Pengertian Pipa Kalor dan Thermosyphon

Thermosyphon merupakan salah satu jenis alat penukar kalor pipa kalor. Dalam operasi *thermosyphon*, uap membawa sejumlah besar panas laten dari evaporator ke kondensor. *Thermosyphon* dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu, **evaporator** dimana pada bagian tersebut panas dimasukkan dalam sistem, **kondensor** dimana pada bagian tersebut panas dilepaskan dari sistem, dan bagian **adiabatik** dimana pada daerah tersebut tidak ada panas yang masuk maupun keluar sistem dan sebagai jalur uap dan cairan mengalir. Ketika panas masuk

sistem, fluida kerja dalam evaporator *thermosyphon* akan terpanasi hingga menjadi uap membawa kalor laten menuju daerah kondensor *thermosyphon* dan melepaskan kalor tersebut sehingga menjadi cairan kembali untuk selanjutnya mengalir menuju kondenser. *Thermosyphon* sebenarnya merupakan *heat pipe* tetapi tanpa struktur kapiler (*wick*) (Sabharwall P, 2009)



Gambar 2.2. *Thermosyphon* (Sabharwall P, 2009)

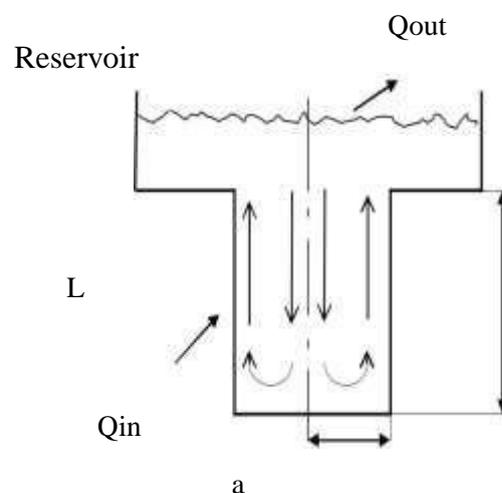
Menurut Meyer A, Dobson, R T (2006) *thermosyphon* merupakan *heat pipe* tetapi tanpa struktur kapiler (*wick*), perbedaan antara *thermosyphon* dan *heat pipe* yaitu *thermosyphon* menggunakan gaya gravitasi untuk mentransfer panas dari sumber panas (*heat source*) yaitu evaporator yang terletak di bawah

kondensor. Di evaporator fluida kerja menguap dan berdasarkan perbedaan massa jenis dan tekanan uap fluida tersebut mengalir ke atas ke bagian kondensor. Akibat dari pendinginan di kondensor, fluida kerja tersebut kemudian mengembun di bagian kondensor dan mengalir kembali ke bagian evaporator di bawah pengaruh gravitasi. Menurut penelitian sebelumnya diperoleh kesimpulan bahwa gaya gravitasi pada *thermosyphons* mempunyai efek perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan struktur kapiler (*wick*) dalam *heat pipe* karena struktur *wick* cenderung menambah hambatan terhadap aliran kondensat.

2.2.1. Tipe Thermosyphon

Berdasarkan temperatur operasinya *thermosyphon* dapat dibedakan menjadi dua tipe *thermosyphon*, yaitu:

1. Open Thermosyphon

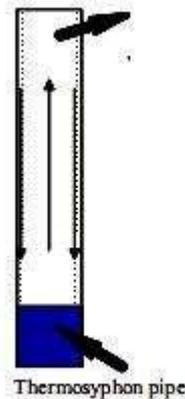


Gambar 2.3. *Open thermosyphon* (Irvine, F.T, Hartnett P.J, 1973)

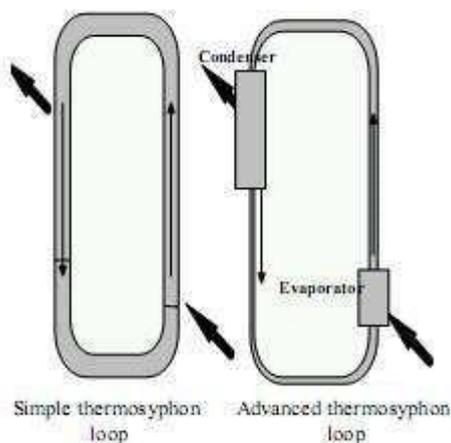
Open thermosyphon adalah sebuah pipa kalor yang terbentuk dari sebuah tabung yang tertutup pada pada salah satu ujungnya.

2. Closed Thermosyphon

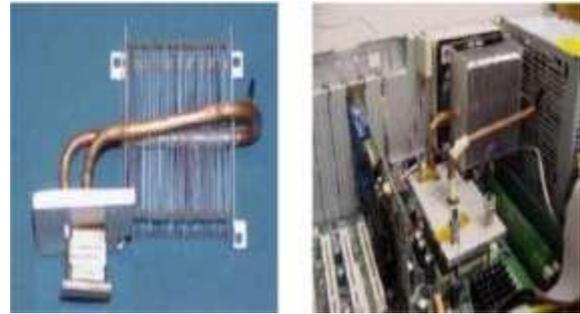
Closed Thermosyphon adalah sebuah pipa kalor yang terbentuk dari sebuah tabung yang tertutup pada kedua ujungnya.



Gambar 2.4. Closed thermosyphon (Irvine, F.T, Hartnett P.J, 1973)



Gambar 2.5. Loop thermosyphon (Irvine, F.T, Hartnett P.J, 1973)



Gambar 2.6. Contoh aplikasi loop thermosyphon (Pal, A., Joshi, Y., Beitelmal, A. H., Patel, C. D. and Wenger, T, 2002)

2.2.2. Fluida Kerja

Fluida kerja yang dioperasikan pada thermosyphon ditentukan berdasarkan temperatur operasinya. Tabel 2.1 memperlihatkan beberapa fluida kerja berdasarkan temperatur operasinya.

Working Fluid	Triple Point (K)	Critical Point (K)	Useful Range (K)	Literature
Oxygen	54,3	154,8	55-154	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
Nitrogen	63,1	126,2	65-125	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
Ethane	134,8	425,0	260-350	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003

<i>ol</i>	2		503	A., Kraus, A.D., 2003
<i>Toluene</i>	178,1	593,9	275-473	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Acetone</i>	180,0	508,2	250-475	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Ammonia</i>	195,5	405,6	200-405	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Mercury</i>	234,3	176,3	280-1070	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Water</i>	273,2	647,3	273-643	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Potassium</i>	336,4	2500	400-1800	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Lithium</i>	453,7	3800	500-2100	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>Silver</i>	1234	7500	1600-2400	Bejan, A., Kraus, A.D., 2003
<i>R-134a</i>	169,7	373,9		Tergantung tekanan http://encyclopedia.airliquide.com

Etanol	150	514	-	http://en.wikipedia.org
--------	-----	-----	---	---

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

3.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada skema instalasi alat penelitian :

Spesifikasi alat penelitian :

a. Thermosyphon

1) Konstruksi :

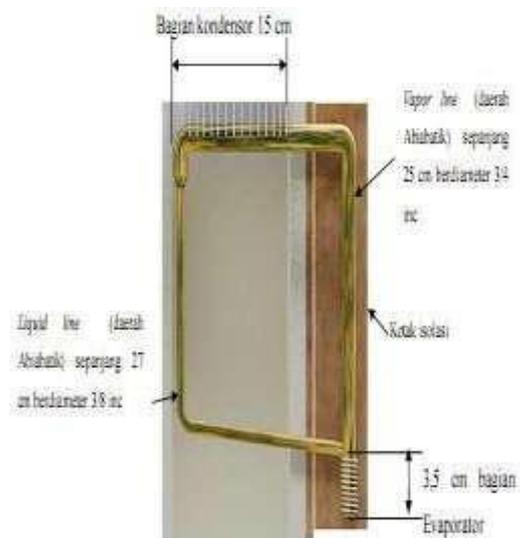
Tipe : *loop thermosyphon*

Fluida kerja : R-134a

Jumlah pipa : 3 pipa

2) Bahan :

□ Pipa selubung : pipa tembaga



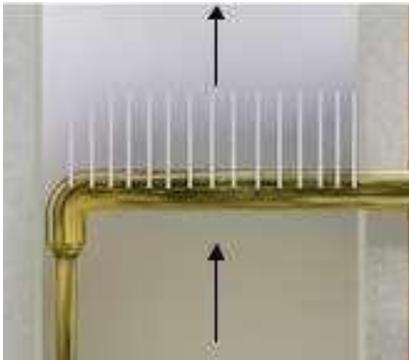
Gambar 3.1. Gambar *Loop thermosyphon*

3). Dimensi :

- *. Dimensi pipa = $\frac{3}{4}$ inchi sepanjang 43,5 cm
- *. Diameter pipa = $\frac{3}{8}$ inchi sepanjang 27 cm

b. Fin (Sirip)

- Dimensi : Panjang = 11,5
- Lebar = 3 cm
- Tebal = 0,1 cm
- Jarak = 0,7 cm
- Jumlah = 15 Sirip
- Bahan : Aluminium



Gambar 3.2. Fin pada Thermosyphon.

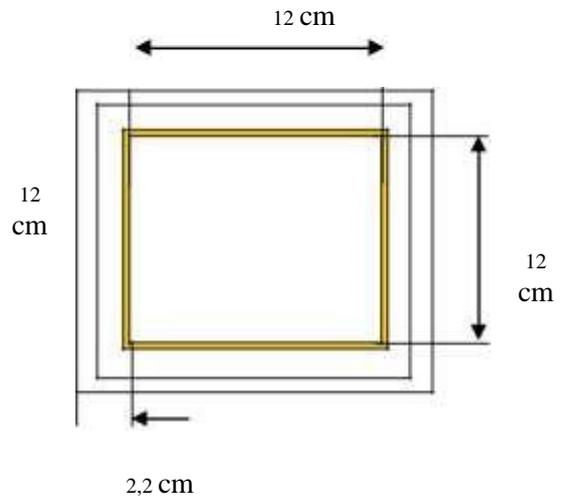
c. Saluran Uji (Duct)

- Pola aliran = Crossflow
- Fluida kerja = udara temperature ruangan

4). Dimensi :

- * Panjang = 147 cm
- * Lebar = 12 cm
- Tinggi = 12 cm

- Tebal dinding = 2,2 cm



Gambar 3.3 Sluran Uhi (Duct)

Hambatan termal (R) pada dinding dapat dihitung dengan analogi listrik seperti dibawah ini :

$R_{\text{kayu lapis}}$

$R_{\text{Sterofoam}}$

$R_{\text{Kayu papan}}$



Gambar 3.4. Hambatan termal dinding.

Sehingga hambatan termal total (R_{tot}) dinding dapat dihitung dengan :

$R_{\text{tot}} = R_{\text{kayu lapis}} + R_{\text{sterofoam}} + R_{\text{kayu papan}}$

$$R_{\text{tot}} = 8,66 \text{ m K/W} \times 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 23,8 \text{ m K/W} \times 15 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 8,66 \text{ m K/W} \times 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$R_{\text{tot}} = 0,017 \text{ m}^2 \text{ K/W} + 0,357 \text{ m}^2 \text{ K/W} +$$

$0,043m^2 K / W$

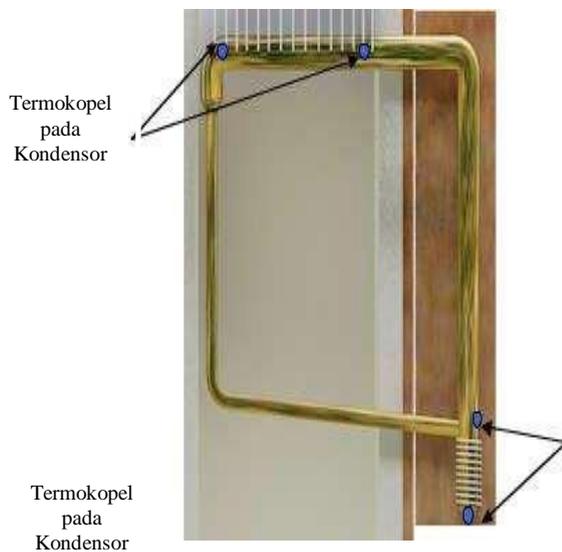
$R_{tot} = 0,417m^2 K / W$

d. Instrumentasi dan alat tambahan

1) Instrumentasi :

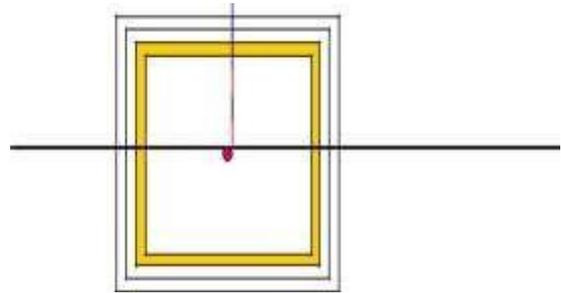
- Termokopel

Termokopel yang dipasang merupakan termokopel jenis T yang dipasang sejumlah enam titik yaitu dua pada bagian kondenser *thermosyphon*, dua pada evaporator *thermosyphon*, satu pada saluran udara sebelum melewati *thermosyphon*, dan satu pada saluran udara setelah melalui *thermosyphon*.



Gambar 3.5. Pemasangan termokopel pada dinding *thermosyphon*.

Sedangkan termokopel pada saluran uji (*duct*) ditempatkan tegak lurus terhadap saluran uji seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pemasangan termokopel pada saluran uji (*duct*).

3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data berdasarkan variasi daya input pada evaporator *thermosyphon*, kecepatan aliran udara dalam saluran uji (*duct*), dan tekanan fluida kerja didalam *thermosyphon*. Prosedur tersebut terbagi menjadi tiga tahap, tahap persiapan, tahap pengujian awal, dan tahap pengambilan data.

Tahap persiapan

1. Mengkondisikan vakum *thermosyphon* dengan pompa vakum dan *manifold*.
2. Mengisi *refrigerant* R134a ke dalam *thermosyphon* dengan menggunakan *manifold*.
3. Menyusun saluran uji sedemikian rupa serta menempatkan *thermosyphon* pada saluran uji (*duct*) seperti pada gambar 3.17.
4. Menempatkan termokopel pada dinding ujung evaporator *thermosyphon* dan pada dinding ujung kondenser *thermosyphon*. Sedangkan pada saluran

uji, termokopel ditempatkan pada sebelum dan sesudah *thermosyphon* seperti pada gambar 24.

5. Memasang voltmeter secara paralel dan amperemeter secara seri.

Tahap pengujian awal

1. Menghidupkan *blower* dengan memutar dimmer dan mengatur putaran *blower* hingga menghasilkan kecepatan udara pada saluran uji (*duct*) sebesar 0,8 m/s.
2. Menghidupkan pemanas dengan memutar *electric regulator*.
3. Mengukur temperatur evaporator pipa kalor setelah dialiri listrik untuk menentukan daya input berapa pemanas mencapai temperatur 40 °C sebagai daya 1, 50 °C sebagai daya 2, dan 60 °C sebagai daya 3.

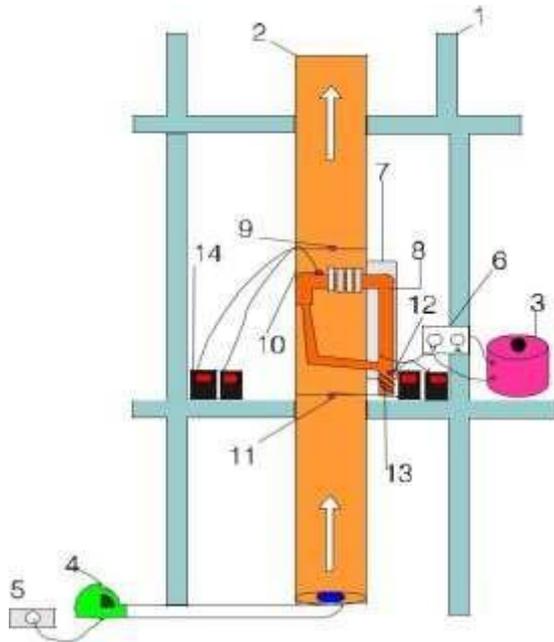
Tahap pengambilan data

1. Mencatat temperatur udara masuk, temperatur udara keluar, temperatur kondensor, dan temperatur evaporator pada *display thermocouple* tiap 1 menit selama 60 menit.
2. Mematikan pemanas dan membiarkan fan menyala hingga temperatur evaporator pipa kalor mencapai temperatur ruangan.
3. Mengatur putaran *blower* hingga menghasilkan kecepatan udara pada saluran uji (*duct*) sebesar 1 m/s

4. Mencatat temperatur pada *display thermocouple* tiap 1 menit selama 60 menit.
5. Mengatur putaran *blower* hingga menghasilkan kecepatan udara pada saluran uji (*duct*) sebesar 1,2 m/s
6. Mengulangi langkah 4
7. Memutar *electric regulator* untuk mengatur dayanya pada daya 2.
8. Mengatur putaran *blower* hingga menghasilkan kecepatan udara pada saluran uji (*duct*) sebesar 0,8 m/s
9. Mengulangi langkah 3 sampai 5
10. Memutar *electric regulator* untuk mengatur dayanya pada daya 3.
11. Mengatur putaran *blower* hingga menghasilkan kecepatan udara pada saluran uji (*duct*) sebesar 0,8 m/s
12. Mengulangi langkah 3 dan 5
13. Mengulangi langkah 1 sampai 12 dengan mengganti *thermosyphon* yang memiliki tekanan fluida kerja 1,2 Mpa.



Gambar 3.17. Persiapan Pengujian



Gambar 3.18. Skema Alat kerja

Keterangan :

1. Kerangka besi
2. duct
3. electric regulator
4. blower
5. dimmer
6. voltmeter dan amperemeter
7. kotak isolasi evaporator
8. Loop thermosyphon
9. termokopel udara keluar dari loop thermosyphon
10. termokopel ujung loop thermosyphon
11. termokopel udara masuk ke loop thermosyphon
12. termokopel evaporator loop thermosyphon
13. kawat nikelin
14. Display termokopel/ Thermocouple reader

4. Hasil Pembahasan

Pada bab ini dibahas mengenai karakteristik perpindahan panas pada alat penukar kalor *loop thermosyphon*

(APKLT). Karakteristik perpindahan panas yang dimaksud adalah efektivitas dan hambatan termal *loop thermosyphon*. Beberapa parameter yang diperkirakan berpengaruh pada efektivitas *loop thermosyphon* dan kemudian dibahas meliputi: kecepatan udara yang akan dipanasi, tekanan fluida kerja, dan temperatur evaporator.

4.1. Karakteristik Perpindahan Panas APKLT Bertekanan 0,8 MPa

Terlihat bahwa efektivitas APKLT bertekanan 0,8 MPa lebih besar dibandingkan alat penukar kalor *loop thermosyphon* tanpa fluida kerja (APKTF) untuk semua variasi kecepatan udara dan suhu evaporator yang sama. Dengan APKLT 0,8 MPa, efektivitas perpindahan panasnya meningkat sekitar 1,5-2 kali dari efektivitas perpindahan panas APKTF.

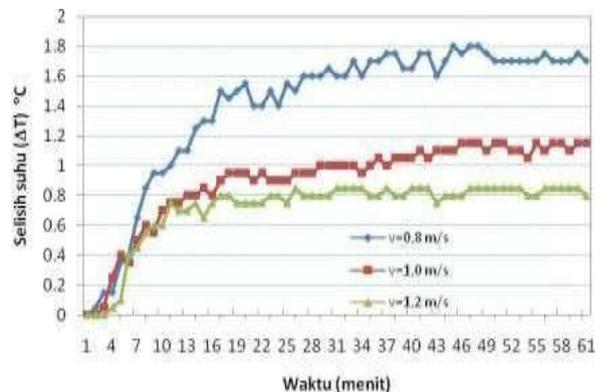
Efektivitas APKLT 0,8 Mpa berkisar antara 22-35%, sedangkan efektivitas APKTF berkisar antara 14-21%. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada APKLT adalah panas dari sumber panas ditransfer ke bagian yang lebih dingin melalui konduksi, sedangkan mekanisme perpindahan panas pada APKLT selain terjadi secara konduksi juga terjadi secara konveksi berupa perubahan fasa dan sirkulasi fluida atau *refrigerant* yang terdapat dalam APLKT. Terlihat efektivitas 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 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 0 °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 Tabel 4.1). Jika temperatur rata-rata di evaporator jauh lebih tinggi dari T_{sat} , akibatnya akan terdapat lebih banyak uap *refrigerant* R134a 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.

Bahwa kecepatan aliran udara yang akan dipanaskan berpengaruh terhadap efektifitas perpindahan panas APKLT bertekanan 0,8 MPa. Semakin besar

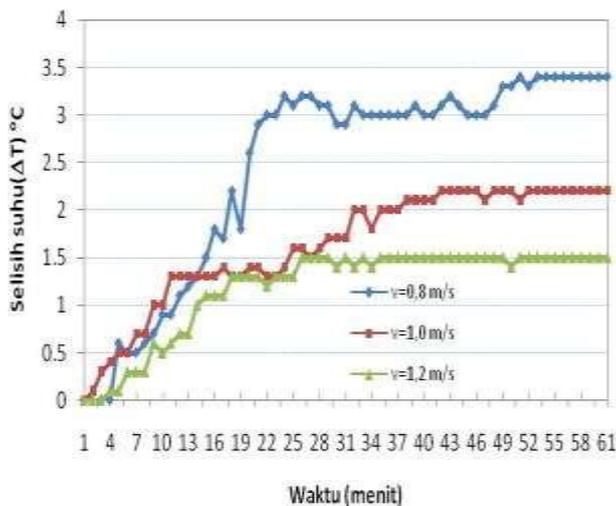
kecepatan aliran udara yang akan dipanaskan menyebabkan penurunan efektifitas APKLT bertekanan 0,8 MPa. Terlihat bahwa pada kecepatan aliran udara yang semakin besar akan menyebabkan efektifitas perpindahan panas semakin kecil untuk semua variasi suhu evaporator yang dilakukan pada pengujian ini.



Gambar 4.4. Selisih suhu (ΔT) udara setelah melewati APKLT dengan fluida kerja R-134 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 4.4 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 $Q_a = m_a c_{pa} \Delta T$, dimana nilai kenaikan m_a tidak sebanding dengan penurunan nilai ΔT yang akan menyebabkan nilai Q_a menurun, sehingga efektifitas menurun.



5.1. Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa data dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Peningkatan suhu evaporator (*heat source*) akan mempengaruhi efektifitas perpindahan panas dan hambatan termal pada APKLT
2. Efektifitas perpindahan panas pada APKLT yang berfluida kerja R134a menurun seiring peningkatan kecepatan aliran udara pada saluran (*duct*).
3. Tekanan fluida kerja berpengaruh terhadap efektifitas perpindahan panas pada APKLT. Semakin tinggi tekanan R134a maka efektifitas semakin

meningkat. Efektivitas perpindahan panas APKLT fluida kerja bertekanan 1,2 MPa sekitar 30-68% dan lebih tinggi dibandingkan efektifitas perpindahan panas APKLT fluida kerja bertekanan 0,8 MPa sekitar 22-35%. Hambatan termal APKLT bertekanan 0,8 MPa sekitar 0,3-0,45 °C/W dan lebih besar dari hambatan termal APKLT bertekanan 1,2 MPa sekitar 0,08-0,4 °C/W.

5.2. Saran

1. Penelitian dapat dilanjutkan dengan melibatkan variasi fluida kerja yang lain seperti metanol, etanol, dan air.
2. Penelitian lanjutan mengenai pengaruh *check valve* pada *loop thermosyphon* terhadap efektifitas alat penukar kalor *thermosyphon*.

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol> (dilihat pada tanggal 9 Desember 2009).
2. Anonim, *gasEncyclopaedia*, <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?GasID=141> (dilihat pada tanggal 9 Desember 2009).
3. Bejan, Andrian and Allan D. Kraus., 2003, *Heat Transfer Handbook*, John wiley and Sons, New Jersey
4. Behnia, M., Morrison, G.L., Paramasivam, S, *Heat Transfer and flow in inclined open thermosyphons*, School of Mechanical

- Engineering, University of New South Wales, Kensington, Sydney NSW, Australia
5. Holman, J.P., 1997, *Perpindahan Kalor*, Jakarta
 6. Incropera, F.P., DeWitt D.P., 2007, *Fundamental of Heat and Mass Transfer, 6th Ed*, John Willey and Sons, New York.
<http://books.google.co.id> Irvine, F.T, Hartnett P.J., 1973, *Advances in Heat Transfer*, Academic Press, Volume 9, New York.
 7. 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.
 8. Meena, P. and S. Rittidech., 2008, *Comparisons of Heat Transfer Performance of Closed-looped Oscillating Heat Pipe and Closed-looped Oscillating Heat Pipe with Check Valves Heat Exchangers*, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (1): 7-11.
 9. Meena, P., S. Rittidech and N. Poomsa-ad., 2006, *Closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CVs) airpreheater for reducing relative humidity in drying systems*, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Thailand.
 10. Meng-Chang Tsai., Chih-Sheng Hsieh., Shung-Wen Kang., 2007, *Experimental Study of a Loop Thermosyphon Using Methanol as Working Fluid*

