

PENGARUH PANJANG KONDENSOR TERHADAP KINERJA TERMAL *THERMOSYPHON*

Fina Andika Frida Astuti dan Arif Rochman Fachrudin

Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

Email: fina.andika@gmail.com; arfachrudin@gmail.com

ABSTRACT

Cooling is an important activity in maintaining a large temperature of a component, both mechanical components and electronic components. Component temperature which is maintained from overheating will avoid damage. The cooling process is carried out by moving the heat produced by a component through a heat exchanger. One effective heat exchanger is Thermosyphon. This tool is able to move a number of heat through a very small surface area. Thermosyphon is a pipe that contains a working fluid, consisting of three parts, namely the evaporator section, the adiabatic section and the condenser section. The evaporator has the function of absorbing heat from the heat source and heat is released in the condenser. The process of heat absorption and release of heat is carried out by the working fluid in the pipe, when the fluid is in the heated evaporator it will evaporate towards the condenser the heat is released. The fluid which is finally from the condenser returns to the evaporator.

This study aims to determine the thermal performance of the thermosyphon as a heat exchanger with condenser length variations. Thermosyphon is designed with a condenser length variation of 44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm and 132 cm running with variation temperature.

The results showed that, the highest thermal resistance at the shortest condenser length at 40⁰C (14⁰C / W) and the lowest at the longest condenser length at 120⁰C (1⁰C / W). At all temperatures, all variations in the length of the condenser will increase the output power and heat flux. At the same condenser length, the higher the temperature, the greater the heat flux and output power. The process of this experiment is most effective at the length of the condenser 1.25 (132 cm) from the length of the evaporator length, because after that the value of thermal resistance and output power will experience a permanent tendency.

Keyword : thermosyphon,kondensor,heat exchanger

1. PENDAHULUAN

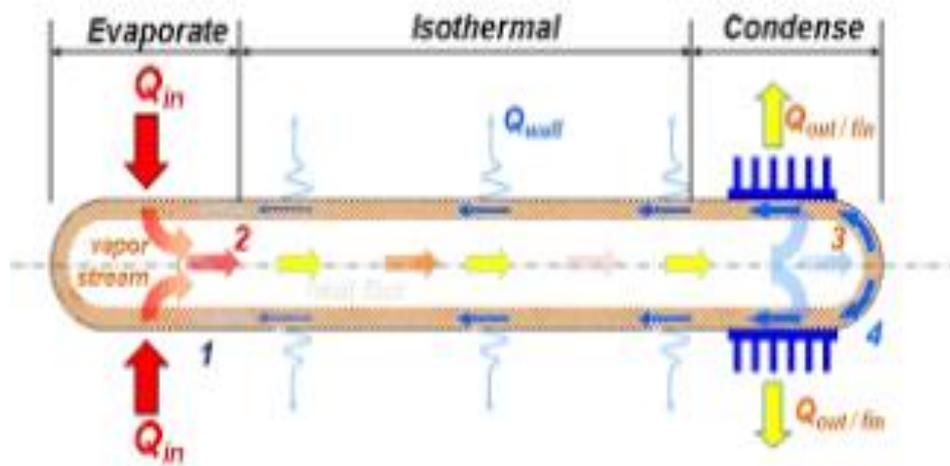
Pendinginan merupakan kegiatan penting dalam mempertahankan besar temperatur suatu komponen, baik komponen mekanik maupun komponen elektronik. Temperatur komponen yang terjaga dari panas berlebih (*over heating*) akan terhindar dari kerusakan dan terhindar dari penurunan performa dari suatu komponen.

Berbagai macam alat pendinginan banyak dijumpai, ada yang memanfaatkan energi dari luar maupun yang tidak memanfaatkan energi dari luar. Dengan memanfaatkan energi dari luar tentunya akan membutuhkan tambahan energi yang tentunya membutuhkan tambahan biaya. Salah satu contohnya adalah berupa sirip dari aluminium dan di atasnya diberi kipas. Pendinginan ini membutuhkan energi listrik untuk memutar kipas dan biasa digunakan bila bila panas yang diserap dan dibuang adalah relative kecil. Untuk pendinginan dengan kapasitas panas yang tinggi, pendinginan ini mempunyai kekurangan, diantaranya adalah pendinginan ini membutuhkan ruang yang besar untuk heat sink dan suara yang bising serta usia dari kipas yang sangat terbatas. Pendinginan yang lain berupa pendinginan dengan sirkulasi fluida pendingin menggunakan pompa. pendinginan ini tentunya membutuhkan energi listrik untuk memutar pompa dan membutuhkan ruang yang besar.

Salah satu alat pendingin tanpa memerlukan energi dari luar dalam kerjanya adalah *thermosyphon*. *Thermosyphon* merupakan alat penukar panas yang berupa pipa, terdiri dari 3 bagian utama yaitu : bagian evaporator, bagian adiabatik dan bagian kondensor. Fungsi bagian evaporator adalah menerima dan menyerap panas untuk di bawa kebagian kondensor, Bagian kondensor adalah bagian dari *Thermosyphon* yang berfungsi melepas panas ke lingkungan setelah menerima panas dari evaporator melalui fluida kerja yang diisikan di pipa *Thermosyphon*. Bagian yang ketiga adalah bagian adiabatic, terletak diantara evaporator dan kondensor sebagai bagian yang memisahkan bagian evaporator dan kondensor. Bagian ini terisolasi bagian luar sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Kedalaman *thermosyphon* diisikan fluida kerja diisikan yang berfungsi untuk membawa panas dari evaporator setelah mengalami penguapan dari evaporator menuju bagian ke kondensor.

Cara kerja alat penukar kalor *thermosyphon* ini adalah kalor yang diterima dan diserap oleh bagian evaporator, didalam evaporator terdapat fluida dengan titik didih tertentu. Setelah mencapai titik didih fluida kerja, fluida menguap dengan tekanan yang

kuat menuju ke bagian kondensor melalui inti tengah melalui bagian adiabatik yang terisolasi dari lingkungan. Setelah sampai di kondensor panas dilepaskan dengan bantuan sirip sirip yang terdapat pada kondensor. Fluida yang berupa uap terkondensasi menjadi cair kembali setelah panasnya dilepaskan ke lingkungan. Fluida kerja yang berupa cair kembali lagi menuju bagian evaporator melalui dinding dalam thermosyphon. Di evaporator mendapat panas lagi dan menguap lagi. Siklus ini berulang terus menerus seperti yang ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. Proses Kerja *Thermosyphon*

Beberapa penelitian tentang thermosyphon telah banyak dilakukan dengan memvariasi fluida, dinding dimensi kemiringan, perlakuan putaran dsb. . A. K. Mozumder, dkk (2010) dalam penelitiannya memvariasi volume fluida pada thermosyphon dan mengambil kesimpulan bahwa prosentase volume fluida pada kondensor berpengaruh terhadap performansi thermosyphon, yaitu kenaikan prosentase volume fluida mengakibatkan kinerja thermal akan naik. Masaru (2001) dalam penelitiannya berkesimpulan bahwa sudut kemiringan memberi pengaruh terhadap kinerja termal thermosyphon. Pada beberapa penelitian sebelumnya belum ada informasi bagaimana fenomena pada thermosyphon dengan berbagai dimensi dan dengan variasi bagian kondensor.

Penelitian penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, belum memberikan keterangan bahwa bagaimana pengaruh panjang kondensor terhadap kinerja termal

thermosyphon. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan informasi pengaruh panjang evaporator terhadap performansi termal *thermosyphon*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Thermosyphon adalah alat penukar kalor dengan dimensi yang relatif kecil kecil tetapi dapat bekerja memindahkan kalor yang besar dari suatu tempat ketempat lain dengan memanfaatkan panas laten dari fluida kerja yang bekerja didalamnya, sehingga *thermosiphon* mempunyai konduktifitas panas yang tinggi. Dilihat cara kerja dan prosesnya, *Thermosyphon* hampir sama dengan *heat pipe* tetapi dinding *thermosyphon* tanpa struktur kapiler (*wick*) (Sabharwall P, 2009).

Ada beberapa hal yang mempengaruhi performansi termal *thermosyphon* diantaranya adalah fluida kerja, , bahan pipa, dan dimensi *thermosyphon*. Hal pokok dari kinerja termal *thermosyphon* ditentukan dari beda temperatur evaporator dan kondensor (end to end ΔT), tahanan termal, kapasitas perpindahan kalor (fluk kalor) dan daya output. Tahanan termal (R_{th}) pipa kalor dihitung dengan persamaan 1.(Hopkin et al., 1999) :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{kl}}{Q_{out}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Semakin tinggi nilai tahanan termal maka kinerja *thermosyphon* semakin jelek dan juga sebaliknya. Pada kondisi ideal kalor yang dibuang harus sama dengan kalor yang diterima, 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 dilepas kondensor dapat dihitung sebagai berikut : $Q_{out} = \eta \cdot A_t \cdot h \cdot (T_w - T_u)$. Fluks kalor merupakan kalor yang keluar (Q_{out}) persatuan luas. Koefisien perpindahan kalor konveksi (h) diperoleh dengan penurunan rumus empiris:

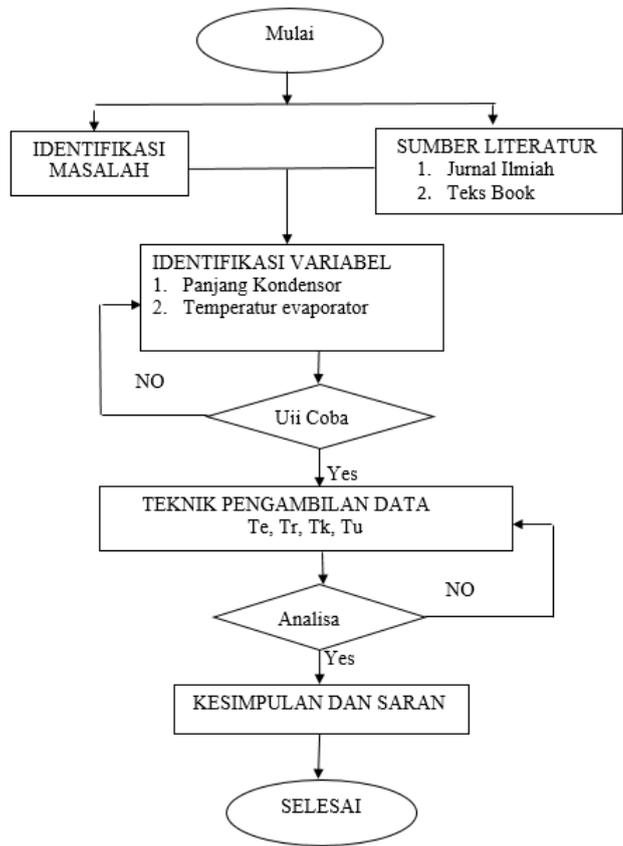
$$Q_{out} = \eta \cdot A_t \cdot h \cdot (T_w - T_u) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Angka Nusselt diperoleh dari :

$$Nud = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \text{ (Holman 1994:252)} \dots\dots\dots(3)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara panjang kondensor terhadap kerja termal yang dihasilkan thermosyphon, sehingga untuk mendapatkan variasi parameter – parameter tersebut di atas dilakukan dengan jalan memvariasi panjang kondensor dan memvariasi temperatur yang diterima oleh evaporator .Langkah penelitian ini bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

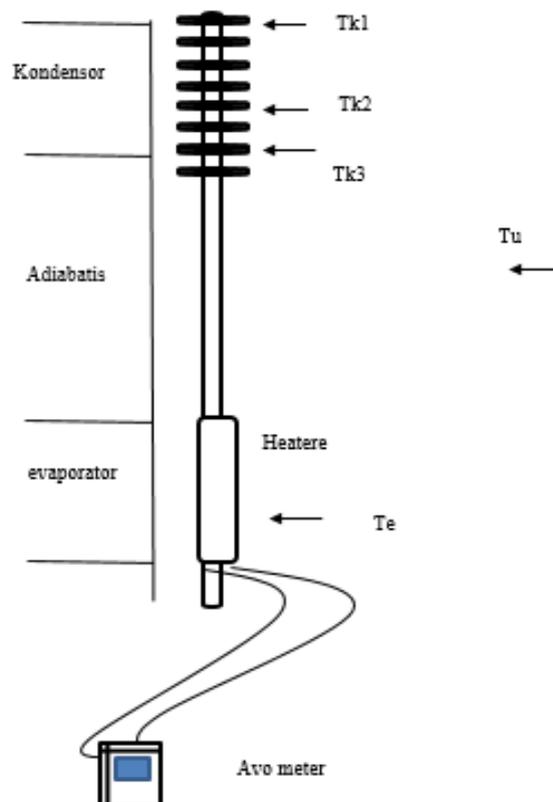
Langkah langkah Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan 5 variasi panjang kondensor yakni sebesar 44 cm

,66 cm, 88 cm, 110 cm dan 132 cm. Temperatur diberikan adalah 40° C, 60° C, 80° C, 100° C dan 120° C.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menggunakan variasi panjang kondensator 44 cm. Selanjutnya mengisi fluida kerja air dalam thermosyphon sesuai bagan pada gambar 3. Langkah ketiga, menghidupkan power heater dan mengatur kedudukan auto travo, sehingga diperoleh temperatur 40°C. Data temperatur yang diambil adalah pada bagian, evaporator (T_e), kondensator (T_{k1} , T_{k2} , T_{k3}), serta temperatur ruangan/udara (T_u). Pengambilan data setelah kondisi kerja thermosyphon tetap, yaitu kurang lebih 30 menit setelah thermosyphon 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 panjang kondensator berbeda, diberikan 5 variasi temperatur dan untuk panjang kondensator selanjutnya langkah langkah tersebut diulang dari awal seperti sebelumnya. Hasil penelitian ini digambarkan dalam suatu grafik.



Gambar 3 Alat Uji *Thermosyphon*

Tabel 1. Spesifikasi Thermosyphon

SPESIFIKASI	KET
Panjang keseluruhan (cm)	40
Panjang kondensor (cm)	divariasi
Panjang adiabatik (cm)	16,8
Panjang Evaporator (cm)	8,8
Diameter Pipa (cm)	9,52
Tebal Pipa (cm)	0,5
Fluida	Air
Jumlah heat sink	8
Ukuran diameter sirip	38
Bahan Pipa	Tembaga

Perhitungan daya input adalah perkalian tegangan dan arus yang diterima oleh pemanas (heater), yaitu bisa dihitung dengan persamaan 4 :

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

Variabel bebas yang digunakan adalah :

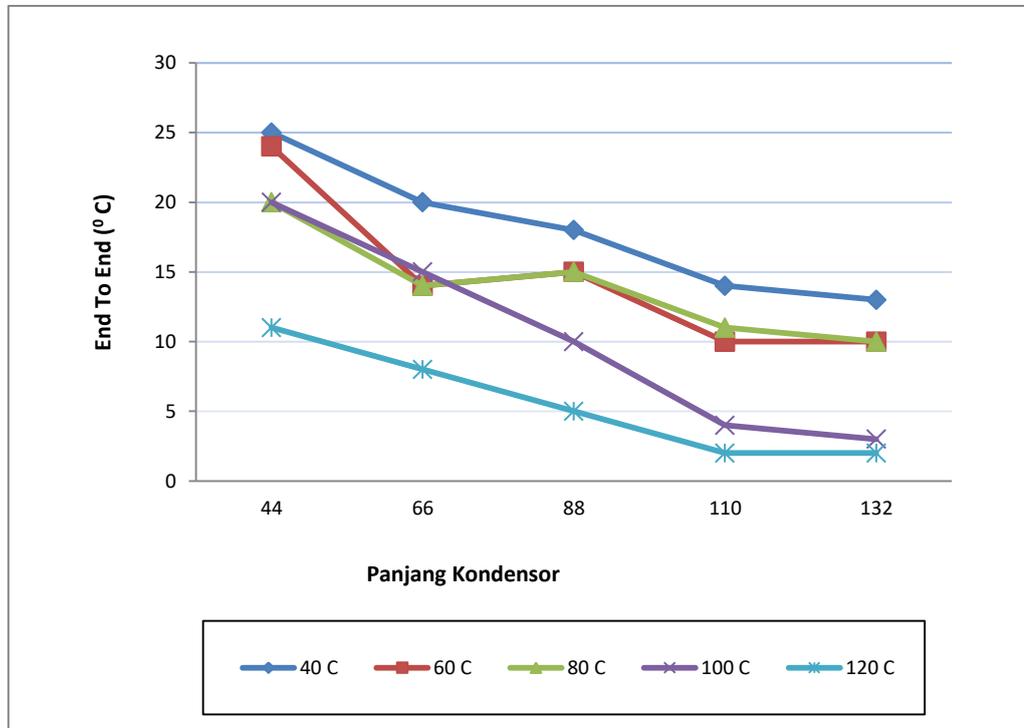
1. Variasi panjang kondensor (44 cm ,66 cm,88 cm,110 cm dan 132 cm)
2. Variasi Temperatur dari 400C, 600C, 800C, 1000C, 800C sampai 1200C

Sedangkan variabel terikatnya adalah :

1. End to end ΔT [0C],
2. Tahanan termal,
3. Fluks Kalor dan
4. Daya Output.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Panjang Kondensor dengan end to end. ΔT

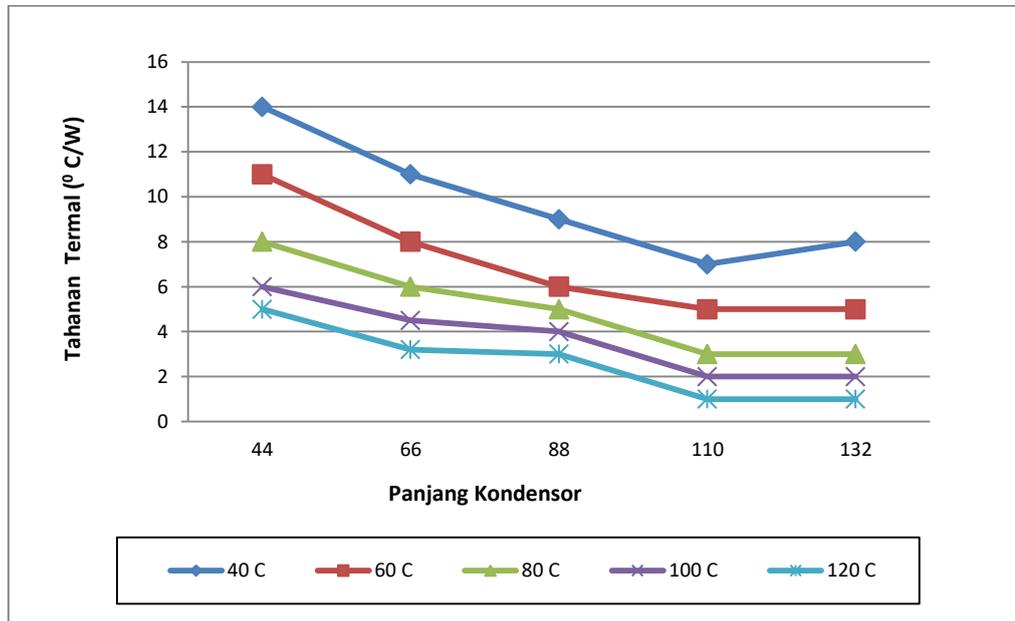


Gambar 4 Hubungan Panjang Kondensor dengan end to end. ΔT

Berdasarkan gambar 4 menunjukkan dengan variasi temperatur (end to end ΔT) dibagian evaporator serta kondensor pada semua kondisi dengan kondisi semua panjang kondensor pada temperatur rendah harga end to end ΔT nya cukup tinggi, dan temperatur meningkat maka *harga end to end* semakin kecil. Pada panjang kondensor terpendek (44 cm) pada kondisi disemua temperatur mempunyai harga end to end ΔT terbesar (25⁰C) Sebaliknya semakin kecenderungan tetap ketika kondensor panjang ditambah (132) pada suhu 40⁰ C. Ini berlaku untuk temperatur yang lainnya

Pengaruh kenaikan temperatur ini menyebabkan meningkatnya temperatur evaporator, dan kenaikan ini relatif lebih kecil dibanding dengan kenaikan yang terjadi di kondensor. Dengan bertambahnya panjang kondensor 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 Panjang Kondensator terhadap tahanan Termal



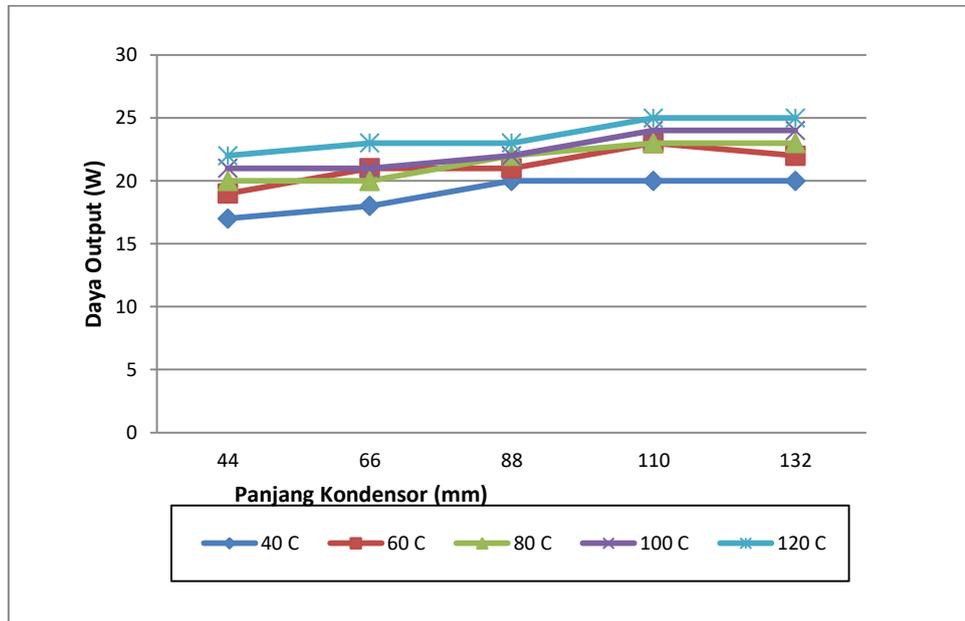
Gambar 5 Hubungan panjang kondensator terhadap tahanan Termal

Pada gambar 5, hubungan antara panjang kondensator dengan tahanan thermal terlihat bahwa perbedaan panjang kondensator pada temperatur yang sama akan menyebabkan tahanan thermal turun. Hal ini terlihat panjang kondensator setengah dari panjang evaporator yaitu 44 cm dengan temperatur 60°C mempunyai tahanan thermal 11 °C/W kemudian semakin turun pada panjang fluida semakin panjang yaitu dengan nilai tahanan thermal 5°C/W

Melihat fenomena diatas disebabkan semakin panjang kondensator, proses mekanisme fluida semakin pendek untuk mengembalikan fluida dari kondensator ke evaporator, sehingga perpindahan panas berjalan semakin efektif. Selain itu panjang kondensator, proses perpindahan panas yang dibawa fluida yang bekerja untuk memindahkan panas semakin besar sehingga tahanan thermalnya cenderung akan semakin kecil.

Penelitian dari Mozumder dkk menunjukkan hal sama dalam penelitiannya yaitu dalam penelitian itu menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar panjang kondensator pada evaporator maka tahanan thermal akan semakin turun. Dibandingkan dengan penelitian ini, penelitian terdahulu menggunakan thermosyphon dengan dimensi lebih kecil, fluida kerja berbeda dan range temperatur uji masih dibawah 80°C. Untuk penelitian ini range temperatur sampai 120°C, dimensi lebih besar dan menggunakan fluida kerja yang lain.

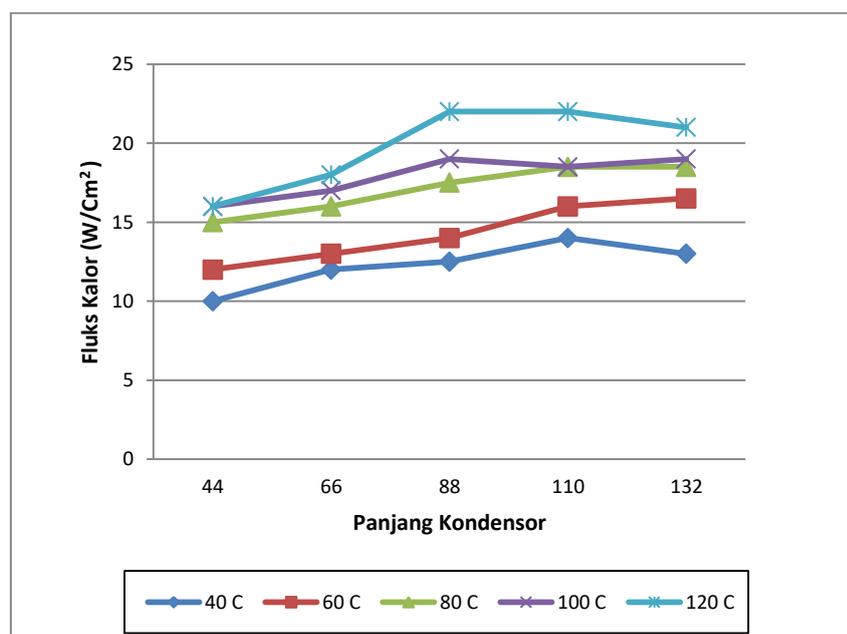
3. Hubungan Panjang Kondensator dengan Daya Output (Q_{out}) :



Gambar 6. Hubungan Panjang Kondensator dengan Daya Output (Q_{out})

Gambar 6. menunjukkan bahwa perbedaan panjang kondensator dengan temperatur yang sama akan meningkatkan daya output. Pada temperatur 120°C pada panjang kondensator 44 cm diperoleh daya output 22 W sedang pada panjang 132 cm diperoleh daya output 25 W. Hal ini disebabkan dengan mekanisme perpindahan [anas yang smakin besar dengan panjang kondensator lebih panjang sehingga daya perpindahan semakin besar

4. Hubungan Temperatur dengan Fluks Kalor.



Gambar 7. Panjang kondensator dengan Fluks Kalor

Pada gambar 7 menunjukkan pada semua variasi panjang kondensor, fluks kalor meningkat dengan dengan semakin besar temperatur. Hal ini ditunjukkan bahwa pada panjang kondensor 88 cm pada temperatur 60°C mempunyai fluks kalor $12,5\text{ W/cm}^2$, sedangkan pada temperatur 120°C mempunyai fluks kalor 22 W/Cm^2 . Gambar diatas juga menunjukkan bahwa semakin besar panjang kondensor semakin besar fluk kalor. Pada temperatur yang sama, fluks kalor terbesar pada pada panjang kondensor yang terpanjang dan nilai fluks kalor menurun pada panjang kondensor yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh proses perpindahan panas yang lebih banyak terjadi pada kondensor yang semakin panjang. Hal ini menyebabkan fluks kalor semakin besar.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

1. Panjang Kondensor pada semua temperatur, end to end ΔT akan berpengaruh. End to end ΔT tertinggi pada panjang kondensor terpendek (44 cm) yaitu (25°C) dan semakin turun pada temperatur 120°C pada panjang kondensor 110 cm. Penambahan panjang kondensor setelah 110 cm kurang efektif karena mempunyai kecenderungan nilai yang tetap.
2. Pada semua temperatur dan panjang kondensor yang berbeda, dari panjang 44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm, dan 132 mengakibatkan tahanan thermal akan menurun. Tahanan thermal tertinggi pada panjang kondensor terpendek pada tempeatur 40°C (14°C/W) dan terendah pada panjang kondensor terpanjang pada temperatur 120°C (1°C/W)
3. Pada semua temperatur, semua variasi panjang kondensor maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada panjang kondensor yang sama, semakin meningkat temperatur, fluks kalor dan daya output juga meningkat. Proses pada eksperimen ini paling efektif pada panjang kondensor 1,25 panjang panjang evaporator, karena setelahnya nilai tahanan termal akan mengalami kecernderungan tetap.

5.2 SARAN

1. Hendaknya dilakukan penelitian dengan jenis fluida kerja yang lain
2. Hendaknya dilakukan penelitian dengan variasi temperatur yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- Dunn, P.D. and D.A. Ready, 1994. *Thermosyphon*, Fourth edition, Pergamon Press, Elsevier Science Ltd
- Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer* Mc Graw Hill, Ltd. (Penerjemah). 1994. *Perpindahan Kalor*. Edisi keempat. Erlangga Jakarta.
- Hopkins, R., Faghri, A., Khrustalev, D., Flat Miniature Thermosyphons with Micro Capillary Grooves, *Journal of Heat Transfer*, 121 (1999), 1, pp. 102-109
- Suchana Akter Jahan et al. / *Procedia Engineering* 56 (2013) 82 – 87. 1. Introduction. Effect of inclination angles on heat transfer characteristics of a closed loop pulsating thermosyphon (CLPHP)
- Mozumder AK, A. F. et al, 2010. *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. ME 41, No. 2, December 2010 Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh
- Meena, P. et al., 2008, "Comparisons of Heat Transfer Performance of a Closed-looped Oscillating Thermosyphon and Closed-looped Oscillating Thermosyphon with Check Valves Heat Exchangers", *American J. of Engineering and Applied Sciences* 1, Vol. 1, pp. 7–11.
- Meng-Chang Tsai et al, 2007, "Experimental Study of a Loop Thermosyphon Using Methanol as Working Fluid", *International Thermosyphon Conference (14th IHPC)*, Florianópolis, Brazil, April 22–27, 2007.
- Sathaye, N.D. 2000. *Incorporation of thermosyphon Into Engine Air Pre Cooling*, Master Thesis, B.E, University of Pune