

PENGARUH KECEPATAN PUTARAN TERHADAP KINERJA TERMAL *ROTATING CLOSED THERMOSYPHON*

Arif Rochman Fachrudin

*Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
E-mail: arfachrudin@gmail.com*

ABSTRACT

Closed thermosyphon is a cooling device that allows the transfer of a certain amount of heat through a small surface area. Thermosyphon is a pipe consisting of 3 main parts: evaporator, adiabatik and condenser. The evaporator part is the part that receives heat and absorbs it to be brought to the condenser, which is the part that releases heat into the environment. The working process of closed thermosyphon is the fluid in the evaporator heated until it reaches the boiling point so it will evaporate to the condenser. In the condenser, heat is released with the help of a heat sink. From the fluid condenser back to the evaporator due to the force of gravity. This study aims to investigate the effect of rotational rotation speed on the performance of closed thermosyphon.

In this study, made of copper with a diameter of 9.52 mm and a total length of 400 mm. The evaporator region as the heat-affected side, the adiabatic portion is isolated so that there is no heat exchange with the environment and the condenser area is installed a heat sink which aims to remove heat from the closed thermosyphon into the environment. This research is done by varying the speed of rotation in thermosyphon. The rotation variations used in this study are 100 rpm, 200 Rpm, 300 Rpm, 400 Rpm, 500 Rpm and 600 Rpm. The required data are temperature on evaporator (T_e), condenser part temperature (T_{k1} , T_{k2} , T_{k3}) and air temperature (T_u).

The results showed that, Thermal resistance at the smallest Closed thermosyphon ($0,50C / W$) occurred at the speed of rotation 600 rpm with input power of 63 W. At the same rotation speed, the higher the input power, the greater the heat flux and power Output. The experimental process is the largest output power and the largest heat flux occurs at the highest input power, 63 W and the highest rotational speed, 600 rpm that produces 31 W output power and 26 W / Cm^2 heat flux.

Keywords : Closed thermosyphon, rotating, heat exchanger, kondensor

1. PENDAHULUAN

Alat pendingin merupakan peralatan yang sangat penting dalam menjaga kinerja dan keawetan suatu komponen elektronika. Dengan adanya pendinginan maka kinerja dari komponen akan selalu terjaga karena komponen bekerja sesuai dengan suhu yang diizinkan. Dalam industri komponen komponen tersebut seringkali bekerja tanpa henti selama 24 jam. Dalam bidang elektronika banyak sekali komponen yang berpotensi *over heating* jika dipakai dalam jangka waktu yang relatif lama. Hal ini sering terjadi di komponen IC, sehingga membutuhkan pendingin untuk menjaga kinerjanya. Selain itu motor listrik dengan dikontrol dengan inverter seringkali *over heating* jika digunakan pada putaran rendah karena pendingin kipas tidak bisa bekerja maksimal pada putaran rendah.

Berbagai macam alat pendingin yang digunakan untuk mendinginkan suatu komponen, mulai dari memberi aluminium pendingin, memberikan *heat sink*, memperpanjang luas pendingin, menggunakan kipas, menggunakan sirkulasi air dengan bantuan pompa dll.

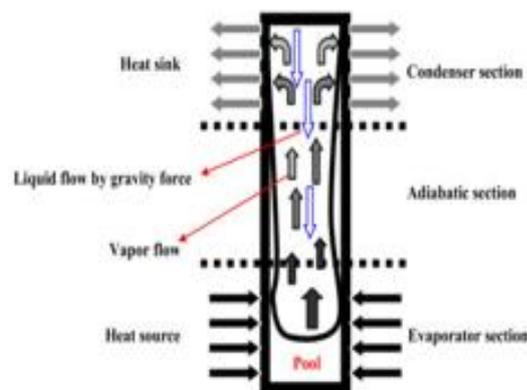
Pendinginan dengan hanya menggunakan aluminium ditambah *heat sink* mempunyai kelemahan yaitu pendinginan jenis ini tidak bisa memindahkan panas yang relatif lebih besar dan mempunyai tahanan termal yang tinggi sehingga komponen bisa semakin meningkat temperaturnya. Pendinginan dengan menggunakan kipas bisa memindahkan panas yang relatif lebih besar mempunyai beberapa kelemahan digunakan dalam hal ini diantaranya yaitu harus menggunakan energi dari luar, yaitu untuk menggerakkan kipas. Kipas dihembuskan ke alat pendingin berupa sirip sirip dari aluminium. Pendinginan ini membutuhkan ruang yang besar untuk kipas dan *heatsink* dengan suara kipas yang mengganggu. Pendinginan ini memerlukan energi dari luar sehingga kurang efisien dan *lifetime* kipas juga terbatas.

Alat pendingin yang memungkinkan lebih efektif dalam memindahkan panas dalam hal ini adalah *closed thermosyphon*, merupakan alat pendingin yang berupa pipa yang terdiri dari 3 bagian utama yaitu : evaporator, adiabatik dan kondensor. Bagian evaporator merupakan bagian yang menerima panas dan menyerapnya untuk di bawa ke bagian kondensor, yaitu bagian yang melepas

panas ke lingkungan. Di bagian ini dipasang *heat sink* untuk mempercepat proses pelepasan kalor. Diantara evaporator dan kondensor ada bagian yang memisahkan, yaitu bagian adiabatik sebagai bagian yang terisolasi sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Didalam pipa itu terdapat fluida kerja yang berfungsi membawa panas dari evaporator dan melepaskannya di kondensor.

Aplikasi *closed thermosyphon* sebagai pendingin antara lain dapat dijumpai pada komponen komputer yaitu sebagai pendingin processor, hardisk dan VGA. *Closed thermosyphon* juga dapat digunakan sebagai pendingin motor listrik, yaitu dengan meletakkan heat pipe pada rotor, didalam pusat putaran (centerline), sehingga *closed thermosyphon* berputar secara rotasi atau disebut *rotating closed thermosyphon*.

Bagian bagian dari *closed thermosyphon* bisa dilihat gambar 1 :



Gambar 1. *Thermoshypon*

Sumber : Sathaye N (2000 : 18)

Cara kerja dari alat pendingin ini adalah sebagai berikut, jika sejumlah panas diberikan pada bagian evaporator, 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 yang dipindahkan dari evaporator ke kondensor lebih banyak berbentuk panas laten penguapan.

Thermosyphon sebenarnya merupakan *heat pipe* tetapi tanpa struktur kapiler (wick) (Sabharwall P, 2009). Menurut Meyer A, Dobson, R T (2006) *thermosyphon* merupakan *heat pipe* tetapi tanpa struktur kapiler (wick), sehingga 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, sedangkan *heat pipe* 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. Hasil penelitian menunjukkan 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. Hasil penelitian menyimpulkan efektivitas Efektivitas perpindahan panas tertinggi dicapai pada kecepatan udara terendah dan pada temperatur tertinggi.

Secara teori tahanan termal (R_{th} *closed thermosyphon*) dapat dihitung dengan persamaan (Hopkin et al., 19⁹⁹)

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{k1}}{Q_{out}}$$

Semakin rendah harga tahanan termal maka kinerja *closed 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 sebagai berikut (Holman, 1994 : 60):

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Lk}$$

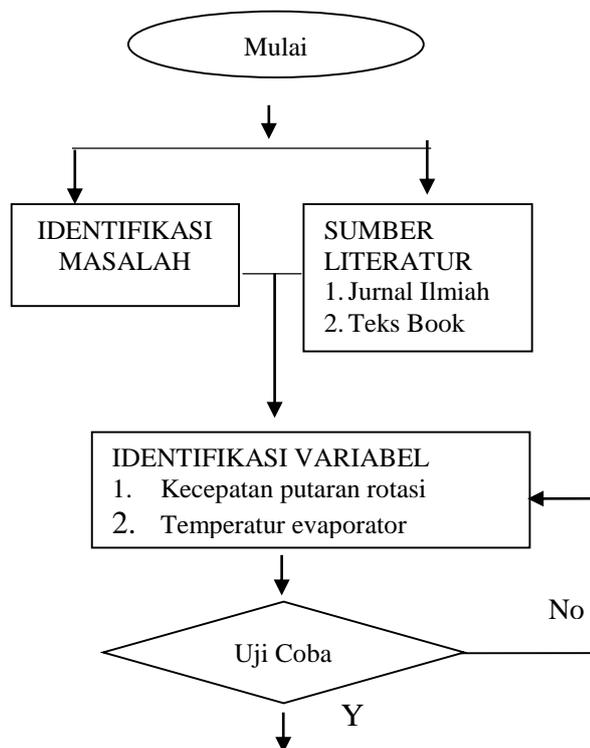
Angka Nusselt diperoleh dari (Holman 1994: 252) :

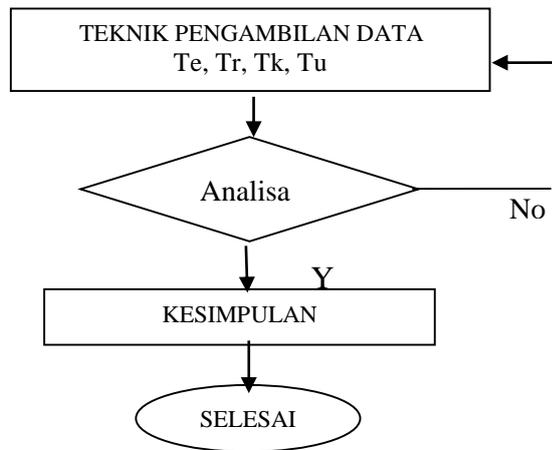
$$Nu_d = 0,023 Re_d^{0,8} Pr^n$$

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pengujian ini ditujukan pada masalah kinerja termal rotating *Closed thermosyphon* dengan variasi kecepatan putaran.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimen di laboratorium Politeknik Negeri Malang dengan bagan alir pada gambar 2 :





Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah pipa dari tembaga berdiameter 9,52 mm dan panjang 400 mm. Sumber panas berupa lilitan nikelin (heater) diletakkan pada bagian Evaporator. Peralatan yang digunakan adalah *Infrared Temperature Gauge Digital* sebagai alat ukur dan Avo Meter untuk mengukur daya input yang masuk.

Instalasi percobaan dan alat yang digunakan untuk mendapatkan data percobaan yang terdiri dari mengukur temperatur evaporator, temperatur kondensor, temperatur lingkungan, dan mengukur daya listrik untuk menghasilkan panas.

Pengujian dilakukan dengan memvariasi kecepatan putaran yaitu : 100 Rpm, 200 Rpm, 300 Rpm, 400 Rpm, 500 Rpm dan 600 Rpm.

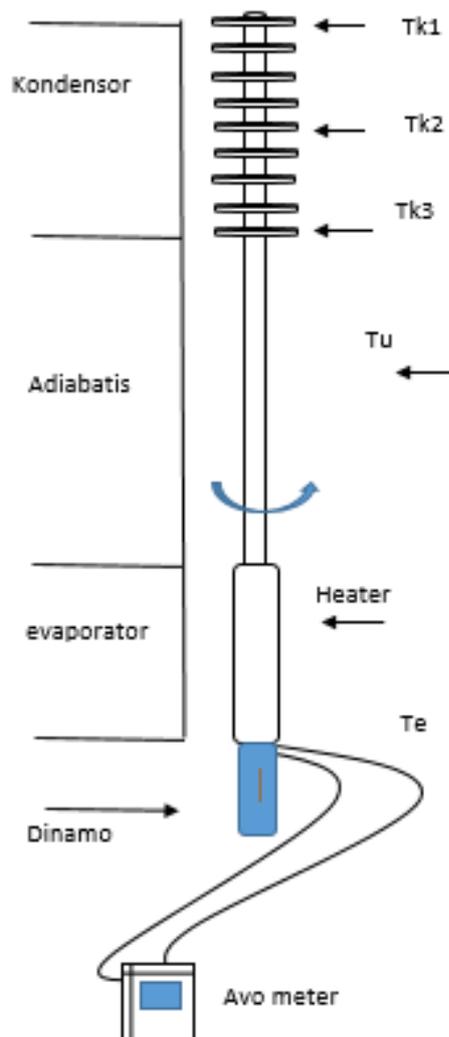
Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel terikat. Untuk variabel bebas adalah: kecepatan putaran rotasi *Closed thermosyphon*(Rpm) dan Temperatur Evaporator ($^{\circ}\text{C}$) sedangkan Variabel terikat : Q_{out} (W), Fluks Kalor (W/m^2).

Pengambilan data pada pengujian ini dilakukan secara langsung, yaitu semua variabel diukur langsung saat melakukan pengujian. Tahap – tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mengisi fluida pada alat uji dan menutup sistem.

2. Memasang *heater* pada evaporator dilengkapi alat pengatur arus.
3. Menjalankan alat uji sampai *thermosyphon* berfungsi normal dengan memutar alat uji sesuai dengan variasi putaran dan memberi daya input untuk memanaskan heater pada evaporator.
4. Mencatat tegangan dan arus yang masuk ke *heater* (V dan I) dengan multimeter.
5. Mencatat temperatur yang ditunjukkan oleh pengukur temperatur.
6. Mengulangi pengujian sampai beberapa kali dengan alat uji dengan kecepatan putaran dan daya input yang berbeda.

Susunan alat uji heat pipe adalah sebagai berikut pada gambar 3:



Gambar 3. Susunan Alat Uji *Close Thermosyphon*

Spesifikasi Closed thermosyphon

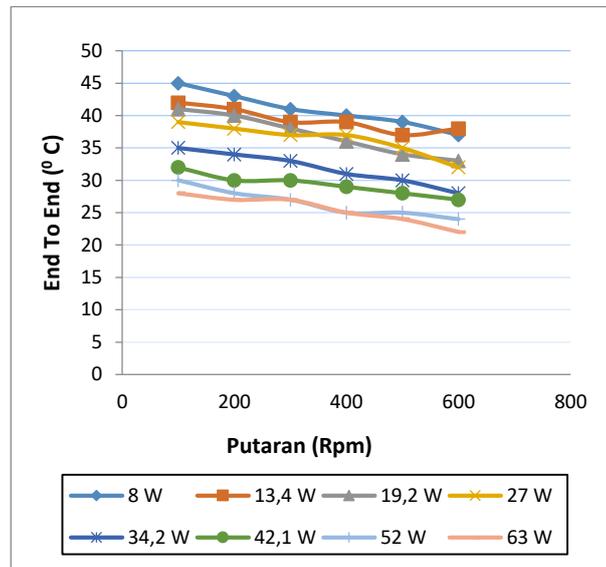
SPESIFIKASI	KET
Panjang total (mm)	400
Panjang kondensor (mm)	144
Panjang adiabatik (mm)	168
Panjang Evaporator (mm)	88
Diameter Pipa (mm)	9,52
Tebal Pipa (mm)	0,5
Fluida kerja	Air
Jumlah sirip	18
Diameter sirip (mm)	38
Bahan Pipa	Cu

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

$$Q_{in} = V \cdot I$$

Pengambilan data temperatur adalah pada bagian, evaporator (T_e), kondensor (T_{k1} , T_{k2} , T_{k3}), dan temperatur ruangan/udara (T_u). Pengambilan data dilakukan setelah kondisi kerja *heat pipe* stabil, yaitu kurang lebih 30 menit setelah *heat pipe* 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 putaran yang berbeda, diberikan 5 variasi daya input dan untuk kecepatan putaran berikutnya diulang dari awal seperti sebelumnya. Hasil penelitian ini digambarkan dalam suatu grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisa Grafik****1. Hubungan Putaran dengan *End to end*. ΔT**

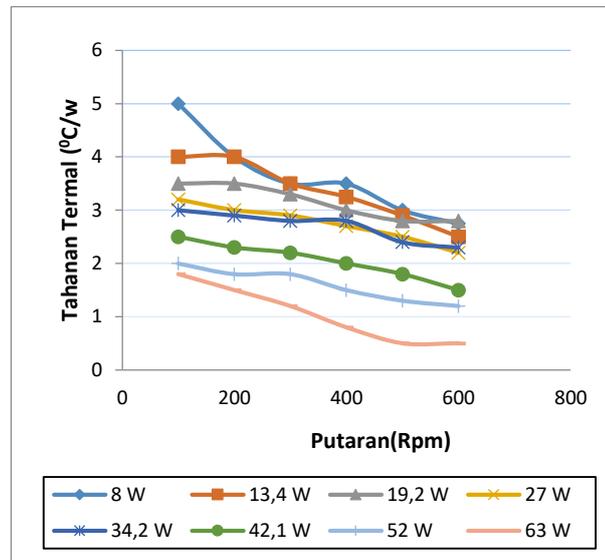


Gambar 4. Hubungan Putaran dengan *End to end*. ΔT

Pada gambar 4 terlihat bahwa pada kecepatan putaran yang sama pada daya input yang rendah harga *end to end* ΔT cukup tinggi dan semakin besar daya input nilainya semakin kecil. Untuk kecepatan putaran 100 rpm pada semua daya input mempunyai *harga end to end* ΔT terbesar dan pada kecepatan putaran 600 Rpm mempunyai harga *end to end* ΔT terkecil. Untuk kecepatan putaran 100 Rpm, nilainya tertinggi pada daya 8W yaitu 45⁰C dan selanjutnya mengalami penurunan yang pada kecepatan putaran 600 yaitu 37⁰C. Untuk kecepatan putaran 100 Rpm, nilainya tertinggi pada daya 63W yaitu 28C dan selanjutnya mengalami penurunan yang pada kecepatan putaran 600 Rpm yaitu 22⁰C.

Pengaruh kenaikan daya input akan mengakibatkan kenaikan pada temperatur evaporator, dan kenaikan ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan temperatur kondensor. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme perpindahan panas, dimana pada daerah evaporator bagian dasar, tidak berperan aktif dalam perpindahan kalor. Dalam hal ini yang terjadi adalah perpindahan panas konduksi melalui dinding, konduksi melalui lapisan cairan pada meniscus dan proses penguapan pada interface cairan uap. Sedangkan pada daerah kondensor terjadi aliran panas dan alur secara aktif, yaitu pembentukan lapisan film pada alur. Semakin besar daya input maka semakin tipis lapisan film.

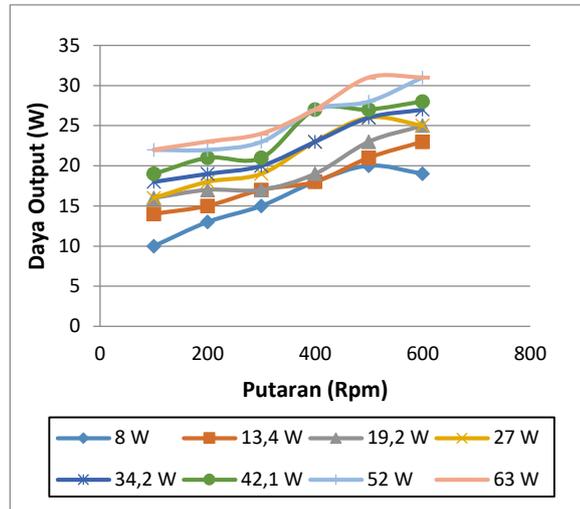
2. Hubungan Putaran terhadap tahanan Thermal



Gambar 5. Hubungan Putaran terhadap tahanan Thermal

Pada gambar 5 hubungan antara kecepatan putaran dengan tahanan thermal terlihat bahwa semakin besar kecepatan putaran pada daya input yang sama yang sama akan menyebabkan tahanan thermal turun. Hal ini terlihat pada kecepatan putaran 100 Rpm dengan daya input 8 W mempunyai tahanan thermal $5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ kemudian semakin turun pada kecepatan putaran 600 Rpm yaitu dengan nilai tahanan thermal $2,75^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Hal ini disebabkan semakin besar kecepatan putaran daya kapilaritas dan kemampuan mengembalikan cairan dari kondensor ke evaporator semakin meningkat. Distribusi temperatur fluida ketika berada di evaporator akan semakin merata sehingga menyebabkan tahanan thermal turun seiring pertambahan kecepatan putaran.

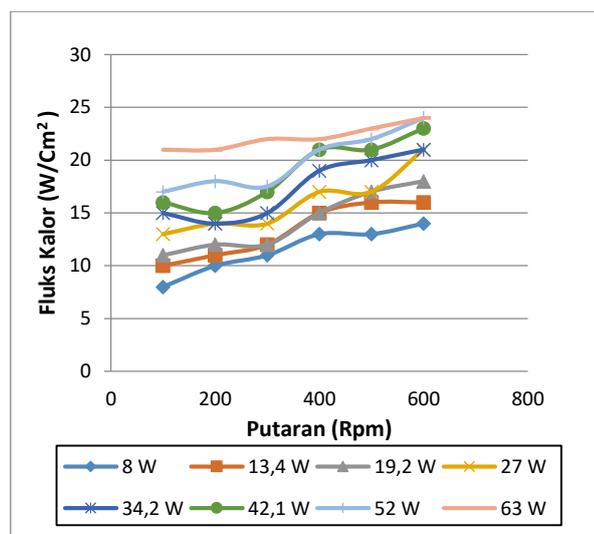
3. Hubungan Putaran dengan Daya Output (Qout)



Gambar 6. Hubungan Putaran dengan Daya Output (Qout)

Gambar 6 menunjukkan bahwa kecepatan putaran pada daya input yang sama yang sama akan meningkatkan daya output. Pada daya input 63 W pada putaran 100 Rpm diperoleh daya output 22 W sedang pada putaran 600 Rpm diperoleh daya output 21 W. Fenomena ini disebabkan dengan semakin besar kecepatan putaran maka tahanan thermal semakin kecil sehingga daya output akan semakin besar.

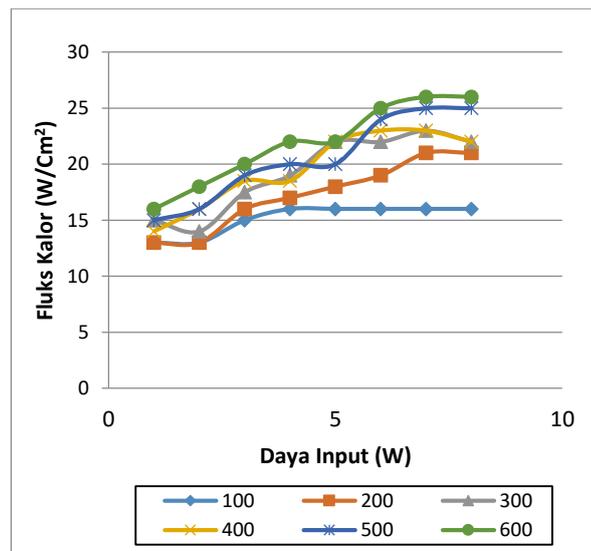
4. Hubungan Putaran dengan Fluks Kalor.



Gambar 7. Hubungan Putaran dengan Fluks Kalor.

Gambar 7 terlihat bahwa untuk semua variasi kecepatan putaran, kapasitas perpindahan perpindahan kalor persatuan luas melintang pipa (fluks kalor) meningkat seiring dengan semakin besar daya. Hal ini ditunjukkan bahwa pada putaran 100 Rpm pada daya input 8W mempunyai fluks kalor 8 W/cm² sedangkan pada daya input 63W mempunyai fluks kalor 21 W/Cm². Gambar diatas juga menunjukkan bahwa semakin besar putaran semakin besar fluk kalor. Hal ini dipegaruhi oleh kemampuan kondensor mengeluarkan panas dengan bertambahnya putaran akan semakin meningkat, karena heat sink yang berada diluar kondensor akan bekerja lebih efektif dengan putaran semakin tinggi, yaitu perpindahan panas konveksi paksa..Hal ini menyebabkan fluks kalor semakin tinggi.

5. Hubungan Daya Input dengan Fluks Kalor



Gambar 8. Hubungan Daya Input dengan Fluks Kalor

Pada gambar.8 menunjukkan bahwa pada semua kecepatan putaran, semakin besar daya input maka fluks kalor juga akan bertambah besar. Pada daya input yang sama, fluks kalor terkecil adalah pada kecepatan putaran terkecil, 100 Rpm dengan daya input 8W yaitu 13 W/⁰C, dan meningkat mencapai fluks kalor terbesar pada kecepatan putaran 600 Rpm dengan daya input 63 W (26 W/⁰C). Hal ini dikarenakan pada kecepatan putaran 600 Rpm distribusi temperatur fluida pada kondensor lebih merata dan perpindahan panas akan berjalan lebih baik karena

semua panas yang mengenai evaporator dapat terpindahkan secara keseluruhan ke bagian kondensor. Pada kondensor, panas yang dibuang ke lingkungan juga menjadi lebih efektif dengan bertambahnya putaran dan daya input sehingga kecepatan putaran 600 Rpm lebih efektif dibandingkan putaran yang kurang dari 600 Rpm.

4. KESIMPULAN

1. Semakin besar kecepatan putaran untuk semua daya input, *end to end* ΔT akan semakin kecil. *End to end* ΔT tertinggi pada kecepatan putaran terendah, 100 Rpm dan daya input terendah 8W (45⁰C) dan *End to end* ΔT terkecil pada temperatur daya input 63W dan kecepatan putaran 600 Rpm (22⁰C)
2. Pada semua temperatur, semakin besar kecepatan putaran maka tahanan thermal akan menurun. Tahanan thermal tertinggi pada kecepatan putaran 100 Rpm pada daya input 8W (5 ⁰C/W) dan terendah pada kecepatan putaran 600 Rpm pada daya input 63 W(0,5 ⁰C/W)
3. Pada semua temperatur, semakin besar kecepatan putaran maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada kecepatan putaran yang sama, semakin tinggi daya input, maka semakin besar fluks kalor dan daya output. Fluks kalor terendah terjadi pada saat kecepatan putaran terendah, 100Rpm dan daya input terendah, 8W (13 W/cm²). Fluks kalor tertinggi pada kecepatan putaran tertinggi, 600 Rpm dengan daya input tertinggi, 63W (26 W/cm²). Proses pada eksperiment ini paling efisien pada kecepatan putaran tertinggi (600 Rpm) dan pada daya input tertinggi (63 W)

DAFTAR PUSTAKA

- Dunn, P.D. and D.A. Ready, 1994. *Heat pipe*, Fourth edition, Pergamon press, Elsevier Science Ltd
- Faghri A. 1995. *Heat Pipe science and technology*, Taylor and Francis
- Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer Mc Graw Hill, Ltd* (Penerjemah). 1994. *Perpindahan Kalor*. Edisi keempat. Erlangga Jakarta

- Hopkin, R., Faghri, A. and Krustalev, D. (1999). Flat Miniatur Heat Pipe With Micro Capillary Grooves, *Journal of Heat Transfer*, Vol 121 No102, pp102 – 109,
- 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.
- Sathaye, N. D. 2000. *Incorporation of heat pipe Into Engine Air Pre Cooling*, Master Thesis, B.E, University of Pune
- Xie, M, et al. (1995). Thermal Solution of Pentium Processor in TCP in Note Books and Sub-notebooks. Dipresentasikan ETC ke 45, Las Vegas Nevada.