

PENGARUH PERBANDINGAN VOLUME FLUIDA KERJA PADA EVAPORATOR TERHADAP KINERJA THERMAL *AXIAL GROOVE HEAT PIPE*

Arif R. Fachrudin
Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta 9 Malang
Contact Person:
rasya_fachrudin@yahoo.com

Abstrak

Heat pipe adalah sebuah tabung tertutup yang didalamnya terdapat fluida kerja, terdiri dari tiga bagian yaitu evaporator, adiabatik dan kondensor. Ketika beroperasi fluida kerja pada sisi evaporator teruap dengan menyerap panas lingkungan dan kembali terkondensasi dengan melepas panas pada sisi kondensor. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh perbandingan volume fluida kerja (working fluid) dengan volume evaporator terhadap kinerja thermal axial groove heat pipe.

Heat pipe dibuat dari tembaga dengan diameter 12,7 mm dan panjang 500 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 heat pipe ke lingkungan. Variasi Volume working fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosentase dari volume bagian evaporator, yaitu 10%, 25%, 40%, 55%, 70%, 85% dan 100%. Data yang diperlukan adalah temperatur pada evaporator (T_e), temperature bagian kondensor (T_{k1}, T_{k2}, T_{k3}) dan temperature udara (T_u)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, semakin besar perbandingan volume fluida dengan volume evaporator (100%) untuk semua temperatur, maka akan semakin kecil tahanan thermalnya. Pada semua volume fluida, pada temperatur terendah mempunyai tahanan thermal tertinggi dan semakin mengecil nilainya sampai pada saat temperatur terbesar. Kapasitas terbesar dan daya output terbesar adalah pada saat temperatur terbesar.

Kata kunci : heat pipe, pipa kalor, working fluid

1. PENDAHULUAN

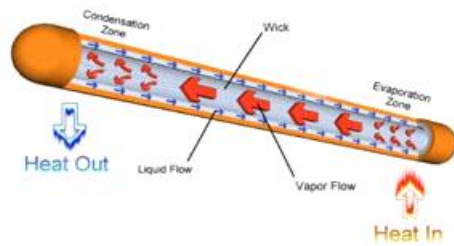
Pada komponen mesin dan elektronika, peran penukar kalor untuk pendinginan sangatlah penting. Pendinginan ini bertujuan untuk menjaga performansi dari komponen-komponen tersebut dan untuk menghindari kerusakan karena beban panas yang berlebihan (*over heating*).

Alat pendingin yang biasa digunakan adalah berupa sirip dari aluminium dan diatasnya diberi kipas. Pendinginan ini bias 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.

Salah satu solusi penukar kalor untuk alat pendinginan yang memungkinkan memindahkan kapasitas panas yang besar dengan permukaan yang kecil adalah dengan menggunakan pipa kalor (*heat pipe*). *Heat pipe* terdiri dari tiga bagian, yaitu evaporator, adiabatik dan kondensor. Evaporator berfungsi sebagai penyerap panas, adiabatik sebagai bagian yang terisolasi sehingga tidak ada pertukaran panas dengan lingkungan, dan bagian kondensor berfungsi sebagai pelepas kalor. Kedalam pipa itu diberi fluida kerja yang berfungsi membawa panas dari evaporator dan melepaskannya di kondensor.

Cara kerja dari heat pipe dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Operasi *heat pipe*
Sumber : Dunn, P.D (1994)

Jika pada evaporator diberikan sejumlah panas, fluida kerja akan menguap melalui inti tengah. Uap yang dibangkitkan mempunyai tekanan yang besar melebihi tekanan cairan sehingga uap berjalan menuju ke bagian kondensor. Selanjutnya, pada bagian kondensor, fluida kerja yang berupa uap dikondensasikan dengan mengeluarkan kalor dan fluida yang telah terkondensasi kembali ke bagian evaporator melalui dinding wick. Proses ini berjalan secara terus menerus, panas dipindahkan dari evaporator ke kondensor dalam bentuk panas laten penguapan.

Berbagai aplikasi dari *heat pipe* yang berfungsi sebagai penukar kalor, diantaranya sebagai pendingin komponen elektronik seperti pendingin IC, Proccecor dll.

Heat pipe juga bisa diaplikasikan pada motor listrik. *Life time* dari motor listrik sangat ditentukan oleh panas, jika berlebihan akan menjadi pendek. Motor listrik dengan memakai inverter seringkali dalam putaran rendah, pendinginan tidak efektif jika menggunakan *fan* karena putaran *fan* mengikuti putaran yang dihasilkan motor listrik. Untuk itu *heat pipe* bisa digunakan dengan efektif pada motor listrik ini.

Banyak penelitian dilakukan tentang *heat pipe* untuk memperoleh peningkatan kinerja thermalnya dengan cara memodifikasi dinding wick, fluida, putaran, kemiringan, dimensi dan lain- lain.

Beberapa penelitian mengenai fluida dilakukan A. K. Mozumder, A. F. Akon, M. S.

H. Chowdhury dan S. C. Banik (2010). Mereka melakukan penelitian dengan memvariasi volume fluida pada *heat pipe* dan menyimpulkan bahwa prosentase volume fluida pada kondensor sangat mempengaruhi kinerja thermal *heat pipe*, yaitu semakin besar prosentase volume fluida kerja maka kinerja thermal akan naik. Pada penelitian ini dilakukan dengan dimensi *heat pipe* yang kecil, yaitu panjang keseluruhan 15 cm. Pada penelitian ini belum ada informasi bagaimana fenomena pada *heat pipe* dengan dimensi yang lain dan dengan fluida selain yang digunakan peneliti ini. Temperatur maksimal pada penelitiannya maksimal 80⁰ C. Dalam penelitian tersebut juga tidak dijelaskan kondisi dinding wick yang digunakan, apakah dengan alur (*groove*) apa tidak

Untuk itu permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh prosentase volume fluida kerja pada kondensor terhadap kinerja *heat pipe* dengan *groove* berbentuk *axial* (memanjang), dengan menggunakan fluida Flutec PP2 dan dimensi *heat pipe* yang besar, yaitu panjang 500 mm serta temperatur kerja sampai 120⁰ C.

Heat pipe adalah alat penukar kalor yang mempunyai dimensi yang relative kecil, *Heat pipe* merupakan tabung tertutup yang didalamnya terdapat fluida kerja. Kegunaan dari *heat pipe* adalah sebagai pemindah kalor, yaitu memindahkan kalor dari sumber kalor kemudian melepaskan kalor ke lingkungan. Dalam proses kerjanya, *heat pipe* lebih banyak menggunakan panas sensible dari pada menggunakan panas laten, sehingga mempunyai konduktivitas thermal yang tinggi.

Heat pipe merupakan pipa tertutup yang didalamnya diinjeksikan fluida yang *condensable*, sebagai fluida kerjanya. Pada dinding dalam pipa (wick) biasanya terdapat *groove* yang berfungsi untuk membantu jalan kembali fluida dari kondensor. *Heat pipe* terdiri dari tiga bagian dari panjangnya, yaitu evaporator, adiabatik, dan kondensor. Evaporator merupakan bagian yang menerima panas dari sumber kalor. Adiabatik, merupakan bagian ditengah tengah antara evaporator dan kondensor. Sepanjang adiabatik diisolasi penuh sehingga tidak ada pertukaran panas

dengan lingkungan. Kondensor adalah bagian yang berfungsi melepaskan kalor ke lingkungan. Pada kondensor dilengkapi dengan sirip-sirip untuk meningkatkan percepatan perpindahan panas.

Proses kerja dari *heat pipe* diawali dengan fluida yang terletak pada evaporator mendapat panas dari sumber panas sehingga fluida kerja yang ada didalamnya menguap menuju kearah kondensor melalui adiabatik. Uap berada di kondensor, panasnya dilepas ke lingkungan dengan bantuan sirip-sirip (*heat sink*) sehingga fluida terkondensasi menjadi cair dan kembali ke evaporator melalui dinding yang biasa dilengkapi dengan *groove*.

Ada tiga hal yang penting pada *heat pipe*, yaitu tabung pipa, fluida kerja dan dinding kapiler (*wick*). Tabung berfungsi sebagai tempat fluida kerja sehingga fluida terisolasi dengan lingkungan. Pemilihan fluida kerja harus disesuaikan dengan kondisi kerja yang diinginkan, karena berhubungan dengan temperatur, energi kalor, dan tekanan yang dibutuhkan untuk mengubah fase fluida kerja (Dunn, P D, 1993). *Wick* atau struktur kapiler pada *heat pipe* mempunyai fungsi memindahkan fluida dari kondensor ke evaporator, dengan tekanan kapiler yang dibangkitkannya (Sathaye, 2000).

Beberapa penelitian terdahulu mengenai volume fluida dilakukan oleh A. K. Mozumder dkk. (2010) Mereka melakukan penelitian dengan memvariasi volume fluida pada *heat pipe* dan menunjukkan bahwa semakin besar prosentase volume fluida kerja maka kinerja thermal akan naik.

Kinerja thermal pada *heat pipe*, tergantung pada beberapa hal, antara lain fluida kerja, struktur dinding pipa (*wick*), bahan pipa, bentuk, panjang *heat pipe* dan lain-lain. Hal pokok kinerja thermal adalah ditentukan dari beda temperatur antara evaporator dan kondensor (*end to end*), tahanan thermal, kapasitas perpindahan panas, dan daya output.

Tahanan thermal bisa dihitung dengan perumusan :

$$R_{t=} = \frac{T_e - T_k1}{Q_{out}}$$

Untuk harga tahanan yang semakin rendah, maka kinerja *heat pipe* semakin baik dan sebaliknya, semakin tinggi tahanan thermal maka kinerja thermal semakin turun.

Untuk kondisi ideal, kalor yang masuk harus sama dengan kalor yang keluar, karena pada kondisi stedi kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan fluida kerja sama dengan kalor yang dilepaskan pada saat kondensasi uap di daerah kondensor. Kalor yang keluar melalui kondensor dapat dihitung sebagai berikut :

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

Fluks kalor (Kapasitas panas) didapatkan dari kalor yang keluar (Q_{out}) persatuan luas. Koefisien perpindahan kalor konveksi (h) dapat diperoleh dengan rumus empiris. Untuk konveksi paksa dengan aliran turbulen dinyatakan dalam bentuk fungsi sebagai berikut (Holman, 1994 : 60)

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

Angka Nusselt diperoleh dari (Holman, 1994 : 252)

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

2. METODE PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimen di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Malang selama tiga bulan yaitu bulan Maret sampai Mei tahun 2014.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu untuk menguji secara eksperimen pengaruh perbandingan (prosentase) volume fluida dengan volume evaporator terhadap kinerja thermal *heat pipe* beralur memanjang (*axial groove heat pipe*)

Langkah langkah dalam dalam penelitian ini *heat pipe* diisi fluida dengan variasi perbandingan (prosentase) volume terhadap volume evaporator. Kemudian *heat*

pipe dipanaskan oleh heater dari sumber arus melalui transmisi pemanas pada bagian evaporator. Temperatur pada evaporator divariasikan sesuai temperatur yang diinginkan. Kemudian diukur temperatur di beberapa bagian yaitu bagian evaporator (T_e), dan bagian kondensator pada tiga titik (T_{k1} , T_{k2} dan T_{k3}) serta temperatur lingkungan (T_u) sekitar.

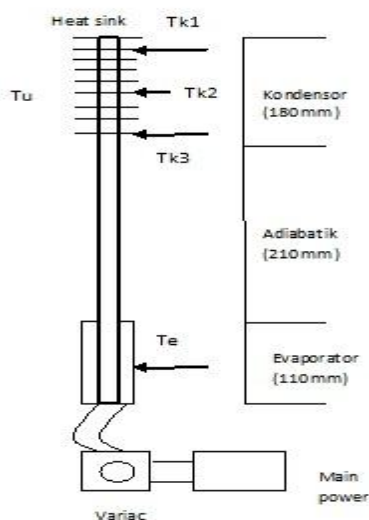
Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Thermokople untuk mengukur temperatur.
2. Multimeter digital, untuk mengukur daya input yang menghasilkan panas pada evaporator.
3. Gelas ukur, untuk mengukur volume fluida kerja yang digunakan.

Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah flutec PP2, dengan pertimbangan bahwa flutec PP2 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- *melting point* : -50°C
- *Boilling point* at atmosfer : 76°C
- *Useful range* 10°C sampai 160°C

Dengan spesifikasi tersebut, mulai temperatur 76°C *heat pipe* sudah bekerja penuh melepaskan kalor pada kondensator dan *heat pipe* mampu menerima panas maksimal, yaitu dengan temperatur 160°C , sehingga aplikasinya menjadi lebih luas mengingat range kerja fluida yang panjang.



Gambar 2. Susunan Alat Uji Heat Pipe

Spesifikasi Heat Pipe

Tabel 1. Spesifikasi Heat Pipe

SPESIFIKASI	KET
Panjang total (mm)	500
Panjang kondensator (mm)	180
Panjang adiabatik (mm)	210
Panjang Evaporator (mm)	110
Diameter Pipa (mm)	12,7
Tebal Pipa (mm)	0,5
Lebar <i>Groove</i> (mm)	1
Jumlah <i>Groove</i>	18
Kedalaman <i>Groove</i>	0,5
Fluida kerja	Flutec PP2
Jumlah sirip	23
Diameter sirip	48
Bahan Pipa	Cu

Prosedur pengambilan Data

Pada eksperimen ini ada 7 Variasi perbandingan (prosentase) fluida dengan volume evaporator, yaitu : 10%, 25%, 40%, 55%, 70%, 85%, 100% dan temperatur yang diberikan adalah 60°C , 75°C , 90°C , 105°C , 120°C . Volume evaporator adalah : $V = \pi r^2 \times t = 3,14 \times 5,85^2 \times 110 = 11820,45 \text{ mm}^3 = 11,82 \text{ cm}^3 = 11,82 \text{ ml}$, sehingga bisa dihitung untuk prosentase volume :

- 10% = 1,182 ml
- 25% = 2,955 ml
- 40% = 4,73 ml
- 55% = 6,50 ml
- 70% = 8,27 ml
- 85% = 10,047 ml
- 100% = 11,28 ml

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

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

Data temperatur yang diambil adalah pada bagian, evaporator (T_e), kondensator (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 temperature memperoleh 30 data.

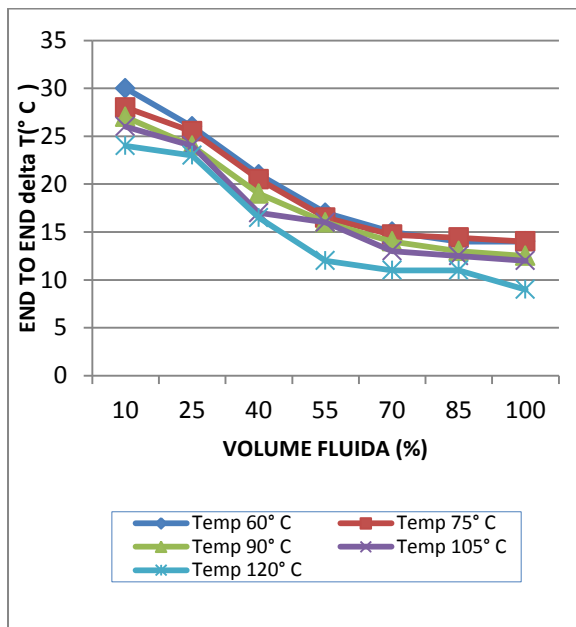
Untuk setiap prosentase volume fluida , diberikan 5 variasi temperatur dan untuk prosentase fluida berikutnya diulang dari awal seperti sebelumnya. Hasil penelitian ini digambarkan dalam suatu grafik.

Analisa data dilakukan dengan langkah awal yaitu pengambilan data dan dihitung dengan rumus rumus yang ada. Data data itu kemudian dihitung *end to end ΔT* , tahanan thermal, daya output dan fluks kalor. Selanjutnya data data tersebut diolah dengan software Microsoft Excel dan dibuat grafik untuk mengetahui hubungan antar variabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Grafik

1. Hubungan Perbandingan Volume Fluida kerja dengan *end to end. ΔT*



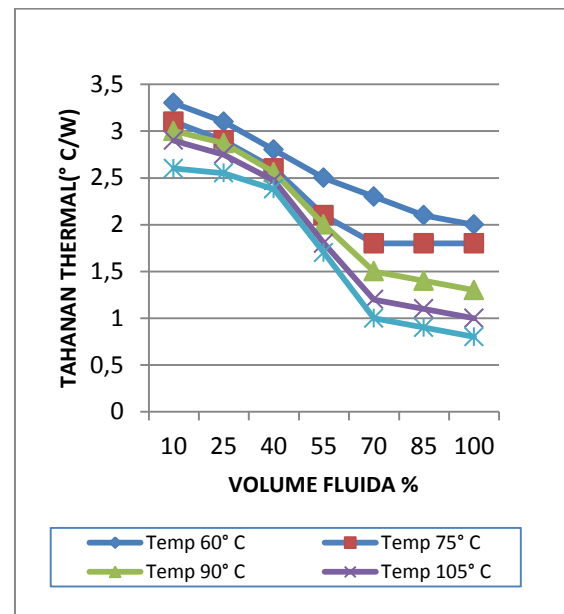
Gambar 3

Berdasarkan gambar 3 bahwa perbedaan temperatur (*end to end ΔT*) dibagian evaporator dan kondensor pada semua kondisi volume fluida pada temperatur rendah harga *end to end ΔT* nya cukup tinggi, dan semakin tinggi temperatur maka semakin kecil. Untuk volume 10% pada semua temperatur mempunyai harga *end to end ΔT*

terbesar. Sebaliknya untuk volume 100% mempunyai *end to end ΔT* yang terkecil. Untuk volume 10% pada temperatur 60 mempunyai *end to end ΔT* tertinggi yaitu 30°C dan mengalami penurunan pada volume fluida 100%, yaitu 14°C Dengan volume fluida 100% mempunyai *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 volume fluida kerja 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 Perbandingan Volume Fluida kerja terhadap tahanan Thermal



Gambar.4

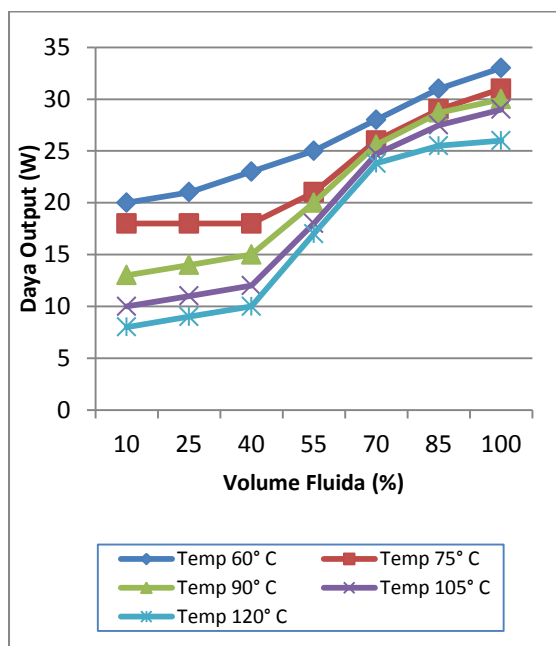
Pada gambar 4, hubungan antara perbandingan volume fluida dengan tahanan thermal terlihat bahwa semakin besar perbandingan volume volume fluida pada temperatur yang sama akan menyebabkan tahanan thermal turun. Hal ini terlihat pada volume 10% dengan temperatur 60°C mempunyai tahanan thermal 3,3 °C/W

kemudian semakin turun pada volume fluida 100% yaitu dengan nilai tahanan thermal 2 °C/W

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

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian dari Mozumder dkk dimana dalam penelitian itu menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar volume fluida pada evaporator maka tahanan thermal akan semakin turun. Dibandingkan dengan penelitian ini, penelitian terdahulu menggunakan heat pipe 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 Perbandingan Volume Fluida Kerja dengan Daya Output (Qout)

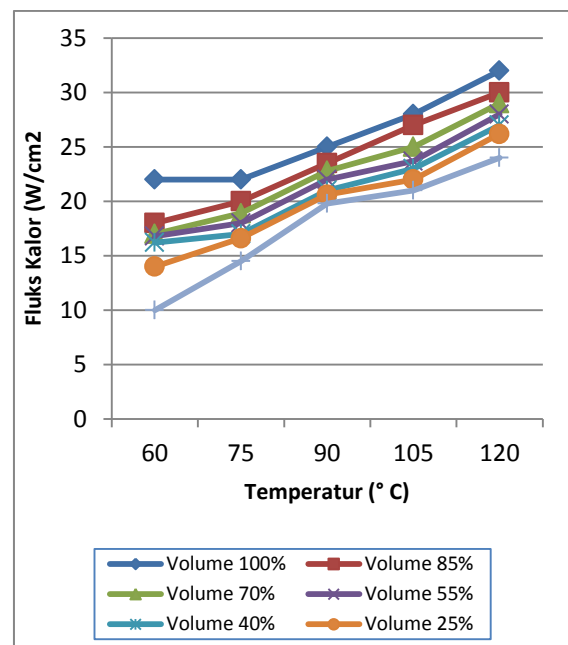


Gambar 5

Gambar 5 menunjukkan bahwa bertambahnya volume fluida dengan temperatur yang sama akan meningkatkan daya output. Pada temperatur 60° C pada volume fluida 10% diperoleh daya output 20 W sedang pada volume 100% diperoleh daya output 33 W. Hal ini disebabkan dengan semakin besar volume fluida maka tahanan thermal semakin kecil sehingga daya output akan semakin besar.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian A. K. Mozumder dkk mengenai volume fluida. Hasil penelitiannya...menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan volume fluida semakin besar daya output. Perbedaan dengan penelitian A. K. Mozumder dkk, pada penelitiannya menggunakan fluida dan input temperatur yang berbeda.

4. Hubungan Temperatur dengan Fluks Kalor.

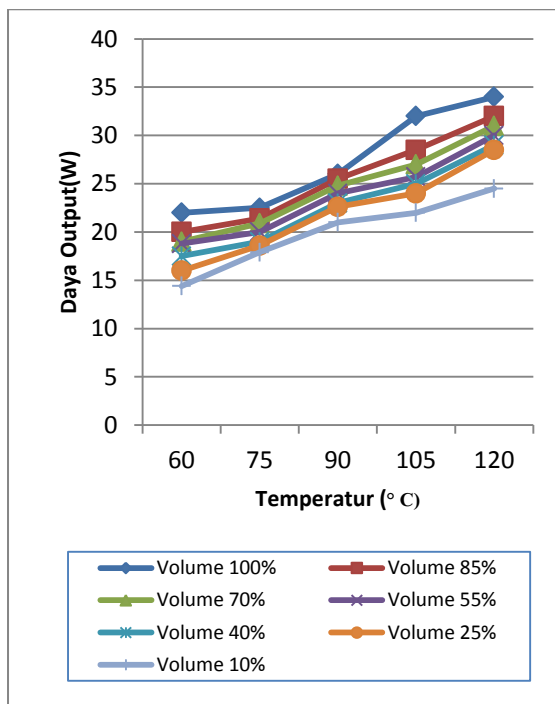


Gambar 6

Pada gambar 6 terlihat bahwa untuk semua variasi volume fluida, kapasitas perpindahan perpindahan kalor persatuan luas melintang pipa (fluks kalor) meningkat seiring dengan semakin besar daya. Hal ini ditunjukkan bahwa pada volume 10% pada temperatur 60° C mempunyai fluks kalor 22 W/cm² sedangkan pada temperatur 120°C mempunyai fluks kalor 32 W/cm². Gambar

diatas juga menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan volume fluida semakin besar fluks kalor. Hal ini ditunjukkan pada temperatur yang sama, fluks kalor terbesar pada volume 100% dan semakin menurun pada volume fluida yang semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh volume spesifik uap dan kandungan panas laten dari fluida kerja, maka dengan volume fluida semakin besar, maka mempunyai kandungan panas laten yang tinggi dan komposisi uap akan semakin banyak, sehingga mekanisme proses transfer panas semakin besar. Hal ini menyebabkan fluks kalor semakin tinggi.

5.. Hubungan Temperatur dengan Daya Output



Gambar 7

Pada gambar.7 menunjukkan bahwa pada semua perbandingan volume fluida, semakin besar temperatur maka daya output juga akan bertambah besar. Pada temperatur yang sama, daya output terkecil adalah pada volume fluida yang terkecil, 10% pada temperature 60°C(14,4 W), dan meningkat mencapai daya input terbesar pada volume fluida 100% temperature 120°C (34 W). Hal ini dikarenakan pada volume fluida 100%, perpindahan panas akan berjalan lebih baik karena semua panas yang mengenai evaporator

dapat terpindahkan secara keseluruhan ke bagian kondensor, sehingga volume fluida 100% lebih efektif dibandingkan dengan volume yang kurang 100%.

4. PENUTUP

1. Semakin besar perbandingan (prosentase) volume fluida pada evaporator untuk semua temperatur, *end to end* ΔT akan semakin kecil. *End to end* ΔT tertinggi pada volume fluida 20% dan volume fluida 10% (30°C) dan semakin turun pada temperatur 120°C dan volume fluida 100% (9°C)
2. Pada semua temperatur, semakin besar prosentase volume fluida pada evaporator maka tahanan thermal akan menurun. Tahanan thermal tertinggi pada volume fluida 10% terhadap evaporator pada temperature 60°C (3.3°C/W) dan terendah pada volume fluida 100% pada temperature 120°C (0,8°C/W)
3. Pada semua temperatur, semakin besar prosentase volume fluida pada evaporator maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada volume yang sama semakin tinggi temperatur, maka semakin besar fluks kalor dan daya output. Proses pada eksperimen ini paling efisien pada volume tertinggi (100%) dan pada temperatur tertinggi (120°C)

5.PUSTAKA

- [1] Dunn, P.D. and D.A. Ready, 1994. Heat pipe, Fourth edition, Pergamon press, Elsevier Science Ltd
- [2] Faghri A. 1995. Heat Pipe science and technology, Taylor and Francis
- [3] Holman, J.P. 1986. Heat Transfer McGraw Hill, Ltd. (Penerjemah). 1994. Perpindahan Kalor. Edisi keempat. Erlangga Jakarta
- [4] 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

- [5] Sathaye,N.D.2000.Incorporation of heat pipe Into Engine Air Pre Cooling,Master Thesis, B.E, University of Pune