

# KARAKTERISTIK PIPA KALOR DENGAN FLUIDA KERJA ASETON, *FILLING RATIO* 60% PADA POSISI HORIZONTAL, KEMIRINGAN 45° DAN VERTIKAL

Ferly Septian Iskandar, Rahmat Iman Mainil dan Azridjal Aziz

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,  
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail : rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

## ABSTRAK

Pipa kalor merupakan alat sederhana yang mempunyai konduktivitas termal yang sangat tinggi. Pada jumlah yang besar pipa kalor dapat mentransfer panas secara efisien dalam berbagai macam variasi suhu tanpa memerlukan energi tambahan. Dalam penelitian ini pipa kalor terbuat dari pipa tembaga berukuran 9,525 mm dan panjang 400 mm menggunakan fluida kerja aseton. *Screen mesh wick* yang digunakan adalah *screen 150 mesh*. Metode eksperimental dilakukan untuk mendapatkan karakteristik pipa kalor berupa distribusi temperatur, hambatan termal dan koefisien perpindahan panas pipa kalor dengan *filling ratio* 60 % (dari volume evaporator) pada orientasi yang berbeda. Hambatan termal terendah dan koefisien perpindahan panas tertinggi terjadi pada posisi vertikal sebesar 4.30 °C/Watt dan 195.50 W/m<sup>2</sup> °C. Dari ketiga orientasi pipa kalor, posisi vertikal menunjukkan perbedaan temperatur antara evaporator dan kondensor terendah dan tahanan termal terkecil pada semua input panas.

Kata Kunci : *pipa kalor, fluida kerja, filling ratio, screen mesh.*

## ABSTRACT

*Heat pipe is a simple equipment which has a very high thermal conductivity. In a large capacity of heat pipes can transfer the heat efficiently in a wide variety of temperatures without additional energy. The experiment is used copper pipe with a length of 400 mm and diameter 9.525 mm using acetone as working fluid. Screen mesh wick was used by screen 150 mesh. The experimental method is carried out to obtain the characteristics of heat pipe in form of axial temperature distribution, thermal resistance and heat transfer coefficient with filling ratio 60% (of the evaporator volume) at different orientations. The lowest thermal resistance and the highest heat transfer coefficient was occurred in a vertical position at 4.30 °C/Watt and 195.50 W/m<sup>2</sup>°C respectively. From the three orientations of heat pipes, vertical position indicated the decrease due to temperature difference between evaporator and condensor and the smallest thermal resistance in all heat input.*

*Keywords : heat pipe, working fluid, filling ratio, screen mesh.*

## PENDAHULUAN

Pada dekade terakhir ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya dalam bidang elektronik. Dimana teknologi menjadi suatu kebutuhan yang mendasar untuk menunjang kinerja kehidupan manusia seluruh dunia. Dengan adanya teknologi, hampir semua kalangan masyarakat menggunakannya baik

untuk interaksi, proses komunikasi, proses produksi, layanan bahkan penjualan barang produksi. Perkembangan teknologi juga menjadi salah satu faktor terhadap tingginya permintaan masyarakat terhadap kebutuhan barang-barang elektronik dan mesin yang terus bertambah, seiring semakin beragamnya kebutuhan dan kemudahan yang ditawarkan.

Barang elektronik yang digunakan pada waktu yang lama akan mengalami beberapa masalah, salah satunya meningkatnya fluks panas yang dihasilkan oleh peralatan itu sendiri dan jika terus dibiarkan akan mengalami *overheating*. Tidak hanya pada peralatan elektronik pada proses pemrosesan juga membutuhkan pendinginan untuk menjaga kinerjanya. Salah satu alat yang digunakan dalam mereduksi temperatur kerja peralatan tersebut adalah pipa kalor. Pipa kalor merupakan suatu alat penghantaran panas dengan menggunakan pipa berukuran tertentu yang berisi cairan khusus sebagai penghantar panas dari ujung yang panas (evaporator) ke ujung lain sebagai pendingin (kondensor). Terdapat berbagai macam pengaplikasian pipa kalor sebagai alat pendingin salah satunya dapat dijumpai pada komponen laptop atau komputer yaitu sebagai pendingin *processor*, *hardisk* dan *VGA*. Pipa kalor juga dapat digunakan sebagai pendingin motor listrik, dengan meletakkan pipa kalor pada rotor, diluar pusat putaran (*centerline*), sehingga pipa kalor berputar secara revolusi atau disebut *revolving heat pipe* (Soedarmanto dkk, 2011)

Pada sistem pengkondisian udara pipa kalor juga digunakan sebagai pendinginan awal (*precooling*) dan sebagai penurun kelembaban yaitu dengan meletakkan pipa kalor pada saluran masuk udara dengan variasi tekanan dan jenis fluida kerja yang digunakan (Wahyuadi, 2012).

Penggunaan pipa kalor untuk pendinginan menjadi salah satu solusi alternatif guna menyerap kalor yang dihasilkan. Salah satu faktor untuk meningkatkan kinerja pipa kalor adalah fluida kerja (Putra dkk, 2010, Senthilkumar dkk, 2011, Kole, 2013).

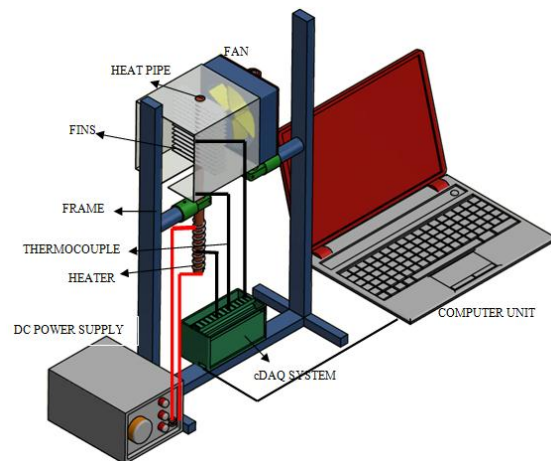
Penelitian terdahulu (Siregar, 2016) mengkaji karakteristik pipa kalor jenis tembaga, diperoleh nilai perpindahan panas pipa kalor dengan *wick* lebih tinggi dari pipa kalor tanpa menggunakan *wick*. Fluida kerja yang digunakan dalam pengujian adalah air dan pada sisi pemanasan dan pendinginan juga menggunakan media air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pipa kalor tembaga menggunakan fluida kerja aseton. Daya masukan yang akan di terima dan posisi pipa kalor divariasikan pada tiga orientasi yaitu horizontal, kemiringan 45° dan vertikal. Sedangkan untuk memvariasikan daya masukan digunakan *heater* yang dihubungkan dengan *power supply DC* sebesar

(3, 4, 5, 6) W. Pendinginan pada sisi kondensor menggunakan media udara.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental dilakukan untuk pengujian pipa kalor menggunakan fluida kerja aseton pada variasi *heat input* dengan orientasi berbeda.

Adapun komponen yang diperlukan untuk melakukan pengujian pipa kalor terdiri dari beberapa bagian. Komponen tersebut meliputi: rangka, fan, dudukan fan, dudukan pipa kalor, saluran udara pendingin (*duct*), *heater* dan alat ukur. Rangkaian alat uji ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat uji pipa kalor

Pengujian dilakukan dengan pendinginan konveksi paksa menggunakan media udara. Sumber panas berasal dari kawat *heater* dengan panjang 800 mm yang dililitkan pada sisi evaporator. Variabel pengujian adalah orientasi pipa kalor yaitu horizontal, 45° dan vertikal, dengan evaporator selalu dibawah kondensor. Perbandingan volume fluida cair terhadap volume pipa kalor (*filling ratio*) pada 60% dari volume evaporator. Data temperatur diambil dengan menggunakan termokopel yang ditempelkan pada permukaan luar pipa kalor menggunakan data akuisisi TC 08.

Pipa kalor yang diuji menggunakan fluida kerja aseton dengan *filling ratio* 60% (1,32 ml) dari volume evaporator. Bagian evaporator pada pipa kalor akan dipasang pemanas (*heater*) dari kawat nikelin yang akan dihubungkan dengan

power supply, dimana daya yang masuk akan divariasikan sebesar (3, 4, 5, 6) W. Pemasangan termokopel pada permukaan pipa kalor sesuai dengan jarak yang telah ditentukan. Dimana T1 pada dinding evaporator ( $T_e$ ), T2 dan T3 pada sisi adiabatik ( $T_a$ ), T4 dan T5 pada sisi kondensor ( $T_k$ ), T6 dan T7 pada sisi masuk dan keluar udara pendingin ( $T_f$ ). Setelah semua termokopel terpasang dengan baik selanjutnya dilakukan pengisolasian pada bagian adiabatik pipa kalor. Pengambilan data pada interval 30 detik selama 5 menit setelah temperatur konstan.

Adapun persamaan yang digunakan dalam pengolahan data pengujian ditunjukkan pada Pers. (1-5) :

Daya input ( $Q_{in}$ ), beda temperatur dan tahanan termal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Prمود, 2013):

$$Q_{in} = V \times I \quad (1)$$

Beda temperatur evaporator dan kondensor ( $\Delta T_{e-c}$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta T_{e-c} = \Delta T_e - \Delta T_c \quad (2)$$

Secara teori tahanan termal ( $R_{th}$ ) pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_{th} = \frac{T_e - T_c}{Q_{in}} \quad (3)$$

Nilai koefisien perpindahan panas pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan (Aloke dkk, 2011) sebagai berikut :

$$h = \frac{Q_{in}}{A(\Delta T_{e-c})} \quad (4)$$

Kalor yang keluar melalui kondensor dapat dihitung sebagai berikut :

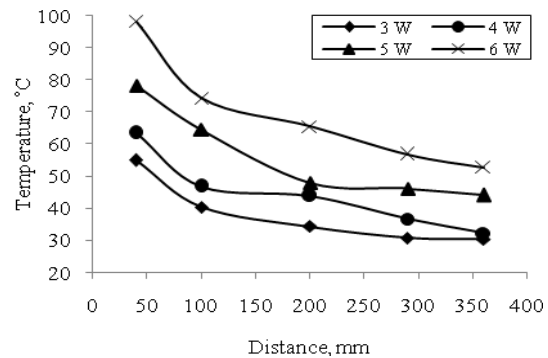
$$Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h (T_w - T_u) \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

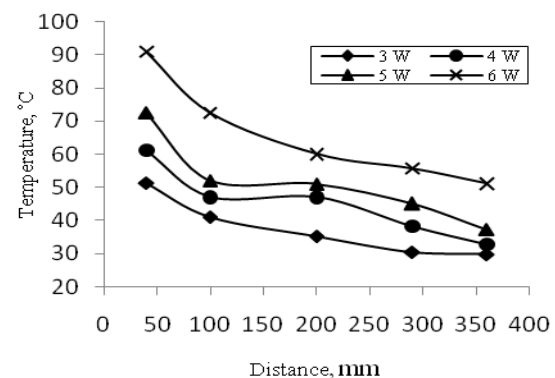
Data hasil pengujian menunjukkan distribusi temperatur pipa kalor disetiap variasi *heat input* dan orientasi berbeda. Temperatur tertinggi merupakan sisi evaporator dan terendah

merupakan sisi kondensor, baik itu pada posisi horizontal, kemiringan 45° dan vertikal.

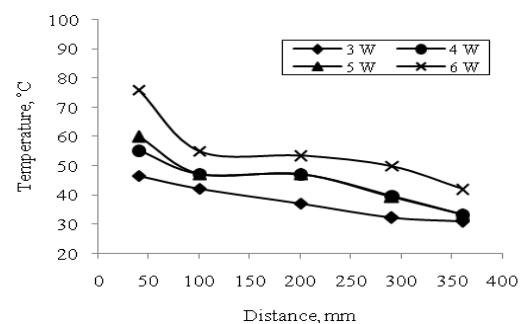
Distribusi temperatur pipa kalor berdasarkan titik pengukuran disetiap permukaan pipa kalor. Telah dijelaskan pada prosedur pengujian, bahwa titik pengukuran diletakkan pada sisi evaporator, adiabatik dan kondensor.



Gambar 2. Distribusi temperatur pipa kalor pada posisi horizontal



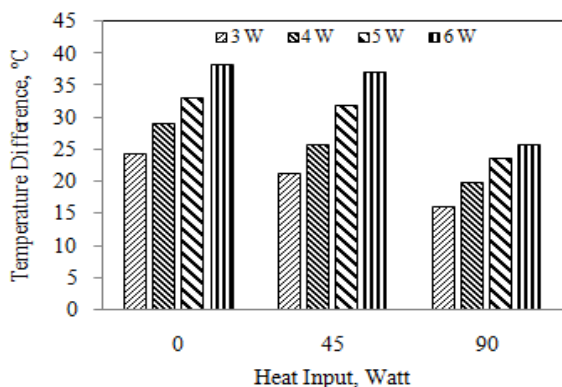
Gambar 3. Distribusi temperatur pipa kalor pada posisi 45°



Gambar 4. Distribusi temperatur pipa kalor pada posisi vertical

Terlihat dari Gambar 2, 3 dan 4 grafik distribusi temperatur pipa kalor menurun sampai pada sisi kondensor, hal ini disebabkan terjadinya konduksi dari sisi evaporator. Temperatur pipa kalor pada posisi vertikal memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan posisi horizontal dan 45°.

Pemberian kalor ( $Q$ ) pada sisi evaporator juga mempengaruhi distribusi temperatur pada pipa kalor. Pemberian *heat input* sebesar 3 Watt, 4 Watt, 5 Watt dan 6 Watt menyebabkan sisi evaporator mengalami peningkatan temperatur untuk semua variasi sudut. Akan tetapi pada posisi vertikal nilai temperaturnya lebih rendah dibandingkan yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa uap yang telah terkondensasi ke fasa cair lebih cepat kembali ke evaporator melalui struktur sumbu (*wick*) yang di pengaruhi oleh gaya grafitasi. Dimana nantinya menghasilkan tahanan thermal yang kecil dan koefisien perpindahan panas yang besar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Peyghambarzadeh dkk, 2013) pada pipa kalor yang menggunakan fluida air dengan membandingkan sudut kemiringan 0°, 5°, 10°. Dari pengujian tersebut diperoleh hasil bahwa sudut kemiringan 10° memiliki hambatan thermal lebih kecil.



**Gambar 5. Pengaruh *heat input* terhadap *temperature difference***

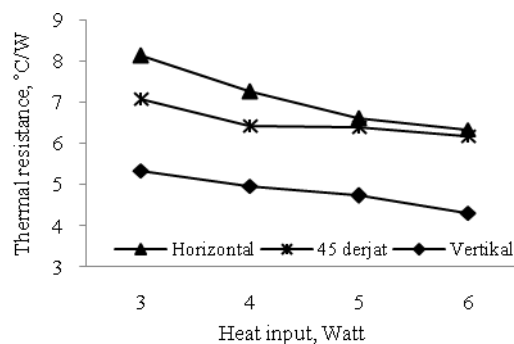
Kinerja pipa kalor salah satunya dilihat dari perbedaan temperatur pada sisi evaporator dan kondensor, jika *temperature difference* yang dihasilkan rendah maka kinerja pipa kalor baik dan jika *temperature difference* sangat tinggi maka pipa kalor mengalami *dry out*. *Dry out* terjadi karena evaporator mengalami kekeringan dimana semua fluida kerja didalam pipa telah menjadi uap dan tidak terjadi sirkulasi didalam pipa kalor. Dari Gambar 5 terlihat bahwa posisi

vertikal merupakan kinerja terbaik dari pipa kalor.

Hambatan termal pipa kalor dilihat dari perbedaan temperatur antara evaporator dan kondensor terhadap daya inputnya. Pada Gambar 6 menunjukkan pengaruh *heat input* terhadap hambatan termal pipa kalor.

Tahanan termal tertinggi terjadi pada daya input yang rendah dan semakin bertambahnya *heat input* tahanan termal pipa kalor juga akan mengalami penurunan. Hambatan termal tertinggi terjadi pada posisi horizontal sebesar 8,12 °C/Watt dan terendah terjadi pada posisi vertikal sebesar 4,29 °C/Watt. Perbedaan temperatur yang tinggi pada sisi evaporator dan kondensor menyebabkan hambatan termal pada pipa kalor meningkat, ini diakibatkan karena perpindahan panas dari sisi evaporator ke kondensor sangat kecil.

Terlihat juga bahwa semakin tinggi daya masukan yang diberikan maka hambatan termal akan turun. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian dari (Richardson dkk, 2015) terhadap pipa kalor dengan panjang 1000 mm dengan daya masukan 20, 40, 60, 80 dan 100 Watt dengan variasi sudut 0°, 30° dan 60°, dihasilkan bahwa daya masukan 100 Watt memiliki tahanan termal paling kecil dengan efisiensi terbaik dan kinerja pipa kalor maksimum terjadi pada sudut 60°.

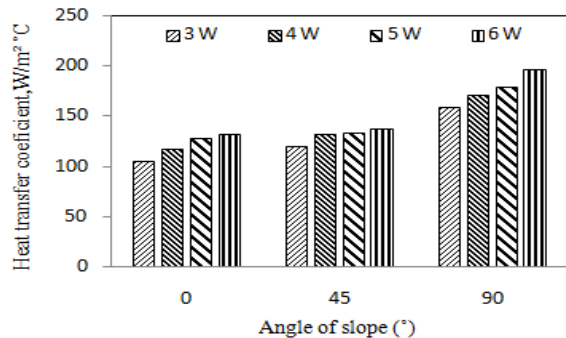


**Gambar 6. Pengaruh *heat input* terhadap hambatan termal pipa kalor**

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 7 terdapat perbedaan nilai koefisien perpindahan panas untuk setiap orientasi pipa kalor. Pada *filling ratio* 60% ini koefisien perpindahan panas maksimum terjadi pada sudut 90° sebesar

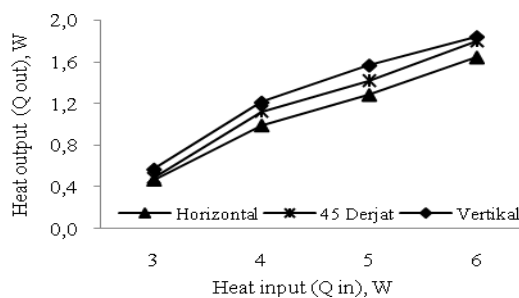
195,5 W/m<sup>2</sup> °C. Sedangkan koefisien perpindahan panas terendah terjadi pada sudut 0° sebesar 103,53 W/m<sup>2</sup> °C.

Nilai koefisien perpindahan panas pada pipa kalor meningkat seiring dengan meningkatnya *heat input* yang diberikan pada evaporator. Hal ini menunjukkan bahwa fluida kerja menyerap kalor pada sisi evaporator dan mengalami penguapan. Karena tekanan uap pada sisi evaporator tinggi maka uap mengalir ke sisi kondensator.



**Gambar 7. Perbandingan nilai koefisien perpindahan terhadap orientasi pipa kalor**

Data yang didapat dari pengujian diolah untuk mendapatkan nilai laju perpindahan panas pada sisi kondensator. Dapat dilihat pada Gambar 8 nilai laju perpindahan panas yang keluar dari kondensator terhadap *heat input* yang diberikan pada sisi evaporator.



**Gambar 8. Kurva perbandingan Qin dan Qout pada pipa kalor**

*Heat input* yang ditambahkan pada sisi evaporator membuat laju perpindahan panas ke sisi kondensator mengalami peningkatan. Namun kalor yang keluar dari kondensator tidak sebanding dengan kalor yang masuk evaporator. Faktor yang dapat mempengaruhi kalor yang keluar lebih kecil pada sisi kondensator adalah

terjadinya *heat loss* pada sisi adiabatik, yang seharusnya tidak ada kalor yang masuk maupun keluar sistem. Laju perpindahan panas terendah sebesar 0,470 W terjadi pada sudut 0° dan tertinggi 1,836 W terjadi pada sudut 90°.

## KESIMPULAN

Pipa kalor pada penelitian ini memiliki dimensi dengan panjang 400 mm dan diameter 9,525 mm. Struktur sumbu yang dipakai pada pipa kalor menggunakan tipe *screen mesh wick* menggunakan fluida kerja aseton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya *heat input* maka distribusi temperatur pada pipa kalor juga akan mengalami peningkatan dan perbedaan temperatur pada evaporator dan kondensator juga meningkat. Sudut kemiringan memiliki pengaruh terhadap pipa kalor, dimana semakin besar sudut maka hambatan termalnya akan semakin rendah dan koefisien perpindahan panas akan naik. Hambatan termal terendah dan koefisien perpindahan panas tertinggi terjadi pada posisi vertikal sebesar 4,29 °C/Watt dan 195,50 W/m<sup>2</sup> °C.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aloke K.M, M.S Hasib C, dan A Fahad A., 2011. Characteristics of heat transfer for heat pipe and its correlation. *International Scholarly Research Network Mechanical Engineering* 2011, pp. 1-7.
- Kole, M., 2013. Thermal performance of screen mesh wick heat pipes using water-based copper nanofluids. *Applied Thermal Engineering Elsevier*, pp.763-770.
- Peyghambarzadeh, S .M., Shahpouri, S., Aslanzadeh, N. dan Rahimnejad, M., 2013. Thermal performance of different working fluids in a dual diameter circular heat pipe. *Ain Shams Engineering Journal*, pp. 855-861.
- Pramod, R.P and Arshish M.M., 2013. Effect of pure and binary fluids on closed loop pulsating heat pipe thermal performance. *Procedia engineering, Elsevier*, pp. 624-629.

- Putra, N, Wayan Nata, S, dan H, Rahman., 2010. Efek Konsentrasi Nano Fluida  $Al_2O_3-H_2O$  dan  $Al_2O_3-C_2H_6O_2$  Terhadap Kinerja *Heat Pipe*. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*, pp. 85-92.
- Richardson, A. V., Kumar, D. A., & Suthagar, S. 2015. Thermal Performance Enhancement Of Heat Pipe Using  $TiO_2$  Nanofluid. *International Journal of Multidisciplinary Research and Modern Education (IJMRME)*, pp. 2454 – 6119.
- Soedarmanto H, Teguh S dan Sigit M., 2011. Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Termal Revolving Heat Pipe Alur Memanjang Dengan Fluida Kerja Metanol. *Jurnal INTEKNA*, pp. 51-57.
- Senthilkumar, R., Vaidyanathan, S., Sivaraman, B. 2011. Effect of Inclination Angle in Heat Pipe Performance Using Copper Nanofluid. *Procedia Engineering*. Elsevier, pp. 3715 – 3721.
- Siregar, R. 2016. *Kaji Eksperimental Karakteristik Pipa Kalor Tembaga*. Skripsi. Pekanbaru, Universitas Riau.
- Wahyuadi, T. 2012. *Pengaruh Tekanan Refrigerant Pada Heat Pipe R134a Dan R22 Terhadap Pengkondisian Udara*. Skripsi, Depok, Universitas Indonesia.