

KARAKTERISTIK KINERJA PIPA KALOR MENGGUNAKAN STRUKTUR *WICK SCREEN 100 MESH* DENGAN FLUIDA KERJA AIR

Wandi Wahyudi¹, Rahmat Iman Mainil¹, Azridjal Aziz¹ dan Afdhal Kurniawan Mainil²

¹Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Jl. WR Supratman Kandang Limun, Bengkulu 38371A

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

ABSTRAK

Pipa kalor merupakan alat penukar kalor dengan dimensi yang kecil tetapi dapat memindahkan kalor yang besar. Banyak penelitian mengenai pipa kalor, guna memperoleh peningkatan kinerja termalnya dengan memodifikasi fluida, orientasi, kecepatan putar dan struktur *wick*. Dalam penelitian ini pipa kalor dibuat dari pipa tembaga berdiameter 9,525 mm, tebal 1 mm dan panjang 400 mm menggunakan *screen 100 mesh* sebagai struktur *wick* dengan air sebagai fluida kerja. Variasi pengujian menggunakan 3 variasi sudut kemiringan 0°, 45°, 90° dan 4 variasi *heat input* 3 watt, 4 watt, 5 watt dan 6 watt untuk melihat pengaruhnya pada kinerja pipa kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan terhadap *heat input*, maka semakin kecil nilai hambatan termalnya. Hambatan termal terendah terjadi pada sudut 90° dengan *heat input* 6 Watt sebesar 8,60°C/Watt. Koefisien perpindahan panas terbesar dan *temperature difference* terkecil terjadi pada sudut kemiringan 90° dengan nilai 97,70W/°C m² dan 31,8°C.

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

ABSTRACT

The heat pipe is a heat exchanger with small dimensions that can transfer the high heat. Many research on the heat pipes was used to improved performance by modifying its thermal fluid, orientation, and wick structure. In this study, the heat pipes was made of copper tube 9.525 mm of diameter, 1 mm of thickness and 400 mm of length using a 100 mesh screen as a wick structure which used water as the working fluid. Variation testing using 3 variations of the angle of 0°, 45°, 90° and 4 variations of heat input 3 watt, 4 watt, 5 watt and 6 watts to see the effects on the performance of heat pipes. The results showed that the larger the angle of inclination of the heat input, the smaller the thermal resistance values. The lowest thermal resistance occurred at an angle of 90 ° with a heat input of 6 Watts of 8.60°C / Watt. The highest heat transfer coefficient and the lowest temperature difference occurred at the angle of 90° to the value of 97.70 W / m² ° C and 31.8 ° C.

Keywords : *heat pipe, working fluid, screen mesh wick*.

PENDAHULUAN

Saat ini pipa kalor merupakan produk yang banyak diaplikasikan dalam system pendingin elektronik sebagai *heat dissipation* pada *microprocessor*. Seiring kapasitas *microprocessor* bertambah, maka bertambah juga panas yang dihasilkan, sehingga memacu variasi *heat sink* yang digunakan sebagai

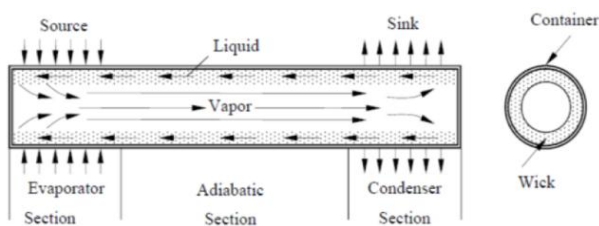
pendingin. Selain kemampuan pipa kalor dalam menyerap *fluks* panas tinggi, karakter lain dari pipa kalor adalah tidak membutuhkan daya dari luar dan tidak ada bagian mekanis yang bergerak. Pipa kalor adalah sebuah alat yang memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yang digunakan untuk memindahkan kalor, dimana jumlah kalor yang dipindahkan jauh lebih besar dari pada kenaikan

temperaturnya yang kecil antara permukaan panas dan dingin. (Okta, 2012 dan Manimaran, et al., 2012).

Dalam perkembangannya, alat pendingin yang sering digunakan adalah sirip yang terbuat dari aluminium (*extruded heat sink*) dan di atasnya diberi kipas (*heat sink fan*). Pendingin jenis ini dapat dipakai bila panas yang diserap atau dibuang oleh pendingin tersebut relative kecil. Untuk daya yang besar dengan densitas panas (*heat flux*) yang tinggi. (Soedarmanto dkk., 2011)

Mekanisme penghantaran panas pada *heat pipe* seperti terlihat pada Gambar 1, dilakukan melalui tiga daerah hantaran yaitu, *evaporator*, *adiabatic area* dan *condenser* sertas truktur *wick* dimana cairan diuapkan oleh daerah *evaporator* pada keadaan *vapour* melewati daerah *adiabatic* mencapai daerah kondensor. Uap dilepaskan pada daerah kondensor sehingga uap mengalamai kondensasi dan cairan mengalir menuju daerah *evaporator* kembali melalui daya kapilaritas *wick*.

Walaupun *heat pipe* dapat secara berkesinambungan menghantarkan panas kedaerah kondensor, proses ini akan berlanjut selama ada tekanan kapiler yang cukup untuk membawa cairan kembali kedaerah *evaporator*. (Putra dkk, 2010 dan Kumaresan et al., 2012)



Gambar 1. Mekanisme penghantaran panas (Richardson, A. V, 2015)

Pada penelitian terdahulu Siregar, 2016 kaji eksperimental karakteristik pipa kalor jenis tembaga, diperoleh nilai perpindahan panas pipa kalor dengan *wick* lebih tinggi dari pipa kalor tanpa menggunakan *wick* yaitu sebesar 10,71 W dan 8,376 W. Pada penelitian ini daya input yang diterapkan dalam pengujian konstan, sehingga tidak diketahui nilai sumber panas yang sesuai dengan kondisi kerja pipa kalor. Fluida kerja yang digunakan dalam pengujian adalah air dan pada sisi pemanasan dan pendinginan juga menggunakan media air.

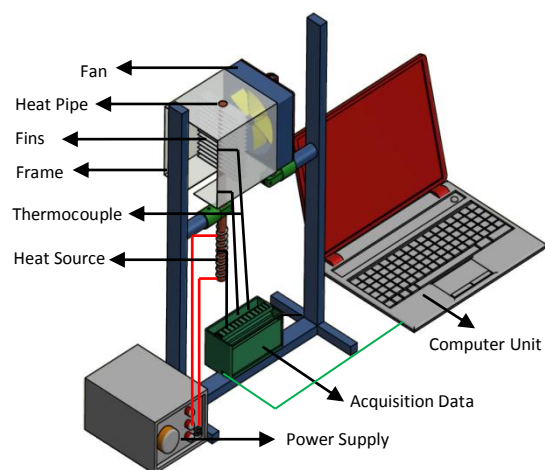
Selanjutnya Sudarmant dkk., 2011 melakukan penelitian pengaruh sudut kemiringan terhadap

kinerja *termal revolving heat pipe*. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa semakin besar sudut kemiringan (terhadap horisontal) untuk semua daya input, maka semakin kecil nilai tahanan termal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pipa kalor tembaga menggunakan *screen 100 mesh* sebagai struktur sumbu dengan fluida kerja air. Variasi pengujian menggunakan 3 variasi sudut kemiringan 0°, 45°, 90° dan 4 variasi *heat input* 3 watt, 4 watt, 5 watt dan 6 watt untuk melihat pengaruhnya pada kinerja pipa kalor.

BAHAN DAN METODE

Adapun komponen yang diperlukan untuk melakukan pengujian pipa kalor terdiri dari beberapa bagian. Adapun Skematik alat uji dapat dilihat pada Gambar 2. Komponen tersebut meliputi : *frame* (1), *fin* (2), saluran udara pendingin (*duct*) (3), *fan* (4), busur derajat (5), *voltage regulator* (6), multimeter (7), *acquisition data* (8), *computer unit* (9), *heat source* (10) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pipa kalor dibuat dari pipa tembaga berdiameter 9.525 mm, tebal 1 mm dan panjang 400 mm. Struktur *wick* yang digunakan yaitu *screen 100 mesh* dari material *stainless steel* AISI 201, dan *filing ratio* fluida kerja sebanyak 10% dari total volume pipa kalor (1,8 ml). Bagian evaporator dipasang pemanas dari kawat (*heater*) yang dihubungkan pada *voltage regulator* dimana *heat input* yang masuk divariasikan 3, 4, 5 dan 6 Watt.



Gambar 2. Rangkaian alat uji pipa kalor, (Iskandar, 2017)

Bagian kondensor menggunakan media pendingin udara yang berasal dari *fan* AC dengan kecepatan

udara 3,15 m/s. Pengambilan data temperatur menggunakan data akuisisi TC08 dengan tujuh buah pengukuran temperatur.



Gambar 3. Peralatan pada pengujian pipa kalor (Iskandar, 2017)

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.

Spesifikasi pipa kalor yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pipa kalor

| Spesifikasi Pipa Kalor | Spesifikasi |
|--------------------------|-----------------------------|
| Diameter Pipa | 9,525 mm |
| Panjang Total Pipa Kalor | 400 mm |
| Panjang Sisi Evaporator | 50 mm |
| Panjang Sisi Adiabatik | 230 mm |
| Panjang Sisi Kondensator | 120 mm |
| Screen Mesh Wick | Stainless Steel AISI 201 |
| Fluida Kerja | Air |
| Material Pipa | Tembaga |

Kriteria pokok dari kinerja termal ditentukan dari beda temperatur evaporator dan kondensor (ΔT_{e-c}), tahanan termal, dan nilai koefisien perpindahan panas pipa kalor.

Daya input (Q_{in}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Pramod et al, 2013):

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

Beda temperatur evaporator dan kondensor (ΔT_{e-c}) dapat dihitung dengan persamaan (Pramod et al, 2013):

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

Secara teori tahanan termal (R_{th}) pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan (Pramod et al, 2013):

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

Selanjutnya nilai koefisien perpindahan panas pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan (Aloke et al, 2011):

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

Kalor yang keluar melalui kondensor dapat dihitung sebagai berikut (Soedarmanto dkk, 2011):

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

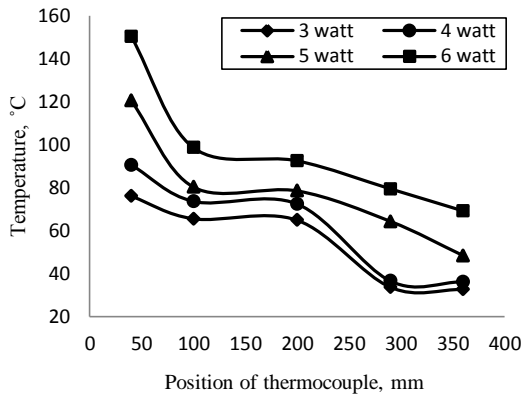
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan distribusi temperatur pipa kalor disetiap variasi *heat input* dan orientasi berbeda. Distribusi temperatur pipa kalor dengan *screen 100 mesh* dapat dilihat dari Gambar 3, 4 dan 5.

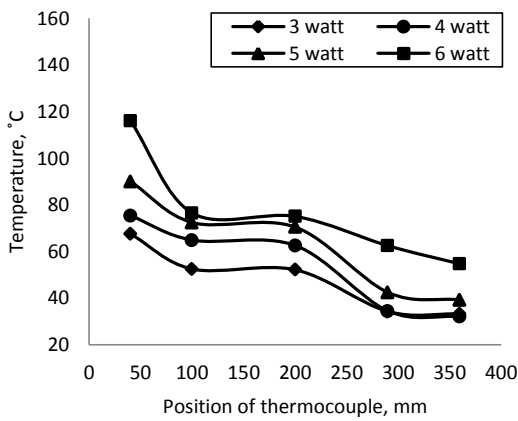
Distribusi temperatur pipa kalor menurun sampai pada sisi kondensor, hal ini disebabkan terjadinya konduksi dari sisi evaporator. Temperatur pipa kalor pada sudut 90° memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan sudut 0° dan 45°.

Pada saat *heat input* dinaikkan maka kalor yang diserap pipa kalor juga meningkat, dan ketika sudut kemiringan semakin vertikal, maka proses perpindahan panas akan semakin cepat karena gaya gravitasi dan sifat kapilaritas dari *wick*.

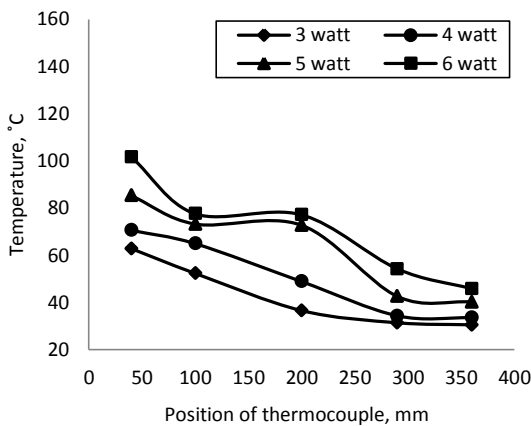
Hal ini dapat dilihat, pada sudut kemiringan 0° *heat input* 6 watt, temperatur rata-rata evaporator yang semulanya 150.30 °C, menurun menjadi 116.09 °C pada sudut kemiringan 45°, begitu pula pada sudut 90° sebesar 101.64 °C. Seterusnya pada *heat input* 4, 5, dan 6 watt.



Gambar 4. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut 0°



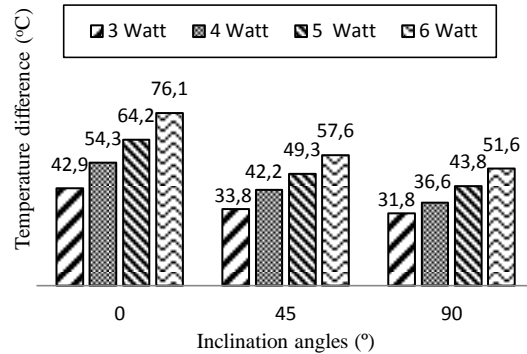
Gambar 5. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut 45°



Gambar 6. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut 90°

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui karakteristik orientasi pipa kalor. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada setiap *heat input* menunjukkan perbedaan temperatur pada sisi

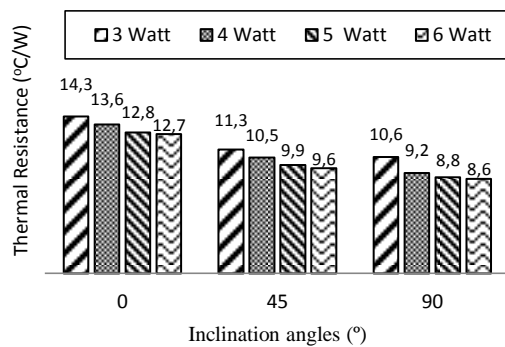
evaporator dan kondensor pipa kalor. Selisih temperature tersebut membesar jumlahnya bersama dengan beban panas yang diberikan pada evaporator. Pipa kalor dengan sudut 90° mempunyai *temperature difference* lebih kecil dibandingkan dengan sudut 0°.



Gambar 7. Hubungan antara sudut kemiringan dengan *temperature difference*

Hambatan termal pada pipa kalor dihitung berdasarkan kondisi temperature pada bagian evaporator dengan temperature pada daerah kondensor dan evaporator-adiabatik terhadap pembebanan yang diberikan.

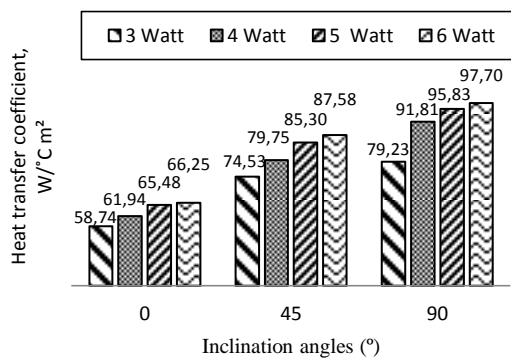
Material penyusun *wick* mempengaruhi hambatan termal pipa kalor. Pada *screen 100 mesh wick*, material penyusun adalah *stainless steel AISI 201*, selain itu *heat input* dan kapilaritas yang mempengaruhi hambatan termal pada pipa kalor. Dari Gambar 8 menunjukkan, Hambatan termal tertinggi terjadi pada heat input 3 Watt dengan sudut 0° sebesar 14,3°C/Watt dan terendah terjadi pada heat input 6 Watt dengan sudut 90° sebesar 8,6°C/Wa tt.



Gambar 8. Hubungan *heat input* dengan Hambatan termal

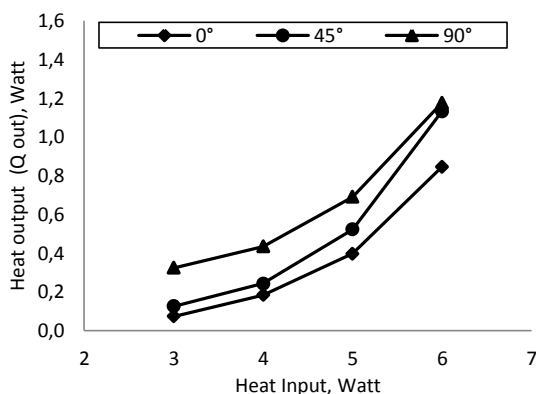
Nilai koefisien perpindahan panas pada pipa kalor meningkat seiring dengan meningkatnya *heat input* yang diberikan pada evaporator. Hal ini menunjukkan bahwa fluida kerja yang menyerap kalor pada sisi evaporator mengalami penguapan. Karena tekanan uap pada sisi evaporator tinggi maka uap mengalir ke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

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 9 terdapat perbedaan nilai koefisien perpindahan panas pada tiap-tiap *heat input*, koefisien perpindahan panas maksimum terjadi pada sudut 90° dan *heat input* 6 Watt sebesar $97.70 \text{ W}^\circ\text{C m}^2$. Sedangkan nilai koefisien perpindahan panas terus turun pada sudut dan *heat input* pada pipa kalor. Koefisien perpindahan panas minimum terjadi pada sudut 0° dan *heat input* 3 Watt sebesar $58.74 \text{ W}^\circ\text{C m}^2$.



Gambar 9. Hubungan *heat input* dengan koefisien perpindahan panas

Kalor yang dilepas pada sisi kondensor bervariasi sesuai dengan perbedaan temperatur udara masuk dan keluar. Dari Gambar 10 terlihat bahwa untuk semua variasi sudut kemiringan, *heat output* meningkat seiring dengan kenaikan *heat input*.



Gambar 10. Pengaruh *Heat Input* Terhadap *Heat Output* (Q out)

Hal ini terlihat pada sudut kemiringan 90° dengan *heat input* 5 Watt akan memperoleh *heat output* 0,960 Watt dan pada *heat input* 6 Watt akan memperoleh *heat output* 1,175 Watt. Namun kenaikan *heat input* tidak sepadan dengan kenaikan *heat output* yang dihasilkan. Sistem pada penelitian ini tidak menggunakan isolasi penuh pada daerah evaporator dan adiabatic sehingga memungkinkan adanya kebocoran kalor pada kedua daerah tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perbandingan yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan terhadap *heat input*, maka semakin kecil nilai hambatan termalnya. Hambatan termal terendah terjadi pada sudut 90° dengan *heat input* 6 Watt sebesar 8.60°C/Watt . Koefisien perpindahan panas terbesar dan *temperature difference* terkecil terjadi pada sudut kemiringan 90° dengan nilai $97.70 \text{ W}^\circ\text{C m}^2$ dan 31.8°C .

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau yang menyediakan fasilitas pendukung sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aloke K.M, M.S Hasib C, and A Fahad A. 2011. Characteristics of heat transfer for heat pipe and its correlation. *International Scholarly Research Network Mechanical Engineering vol 2011*. PP: 1-7.
- Iskandar, F. S. 2017. kaji eksperimental karakteristik pipa kalor menggunakan fluida kerja *acetone* dengan variasi *filling ratio* dan sudut kemiringan. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Kumaresan, G., and Venkatachalapathy, S. 2012. *A Review On Heat Transfer Enhancement Studies Of Heat Pipes Using Nanofluid*. Department Of Mechanical Engineering, National Institute Of Technology, India
- Manimaran, R., Palamiradja, K., Alagumurthi, N., and Hussain, J. 2012. *Factor Affecting The Thermal Performance Of Heat Pipe-A Review*. *Journal Of Engineering Research And Studies*. Vol III. PP 20-24.
- Okta, Ashar. 2012. Pengaruh Penggunaan Sumbu Kapiler Bioterial dan Fluida Kerja $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AIR}$ Terhadap Pipa Kalor Melingkar. *Skripsi*. Fakultas Teknik Departemen Teknik Mesin, Depok.

- 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
- 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.
- Richardson, A. V., Kumar, D. A., & Suthagar, S. 2015 “*Thermal Performance Enhancement Of Heat Pipe Using Tio2 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.
- Siregar, R. 2016. Kaji Eksperimental Karakteristik Pipa Kalor Tembaga. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru