

# PENGARUH FLUIDA KERJA CAMPURAN AIR – ASETON TERHADAP KINERJA PERPINDAHAN PANAS PADA PIPA KALOR

Utari Prayetno<sup>1</sup>, Rahmat Iman Mainil<sup>1</sup> dan Azridjal Aziz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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 adalah sebuah teknologi penghantaran panas dengan menggunakan pipa berukuran tertentu yang berisi cairan khusus sebagai penghantar panas dari ujung yang panas ke ujung lain sebagai fluida kerja. Kinerja perpindahan panas pipa kalor dengan panjang 400 mm dan diameter 9,5 mm menggunakan fluida kerja campuran air – aseton telah selesai di teliti. Fluida kerja yang digunakan adalah fluida campuran air – aseton dengan rasio koensentrasi 50% : 50% dan *filling ratio* sebanyak 10% dari total volume pipa kalor. Penelitian mengenai pipa kalor telah dilakukan dengan variasi sudut kemiringan 0°, 45°, dan 90°. Pemberian beban panas juga divariasikan dari 3 W, 4 W, 5 W dan 6 W untuk mempelajari pengaruhnya terhadap kinerja perpindahan panas pipa kalor. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi *heat input* dan sudut kemiringan, akan memberikan pengaruh semakin rendah hambatan termal dan semakin tinggi koefisien perpindahan panas pada pipa kalor. Pipa kalor dengan menggunakan fluida kerja campuran air – aseton dapat mereduksi temperatur evaporator rata – rata 63,68 °C, dengan hambatan termal rata - rata 6,71 °C/W, dan koefisien perpindahan panas tertinggi rata – rata 126,01 W/m<sup>2</sup>°C.

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

## ABSTRACT

*Heat pipe is a heat transfer technology using a particular size pipe containing a special fluid as a heat conductor from the hot end to the other end as a working fluid. In this paper, heat transfer performance of 400 mm length and 9.5 mm diameter heat pipe using mixture of water – acetone as working fluid was experimentally investigated. The working fluid will be water – acetone mixture in 50% : 50% by volume and filled by 10% of 400 mm length heat pipe. The experiment of heat pipe has done at variation of inclination angle of 0°, 45°, and 90°. Applied of heat input was also varied from 3 W, 4 W, 5 W and 6 W to study the effect on heat transfer performance of heat pipe. The experiment result: increasing the heat input and inclination angle, will decrease the thermal resistance and increase the heat transfer coefficient of heat pipe. Heat pipe using the mixing fluid of water – acetone can reduce the average temperature of evaporator is 63.68 °C, with average thermal resistances is 6.71 °C/W, and the higher of average heat transfer coefficient is 126.01 W/m<sup>2</sup>°C.*

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

## PENDAHULUAN

Suatu alat yang memungkinkan perpindahan sejumlah besar kalor melalui luas permukaan yang sangat kecil adalah pipa kalor (*heat pipe*). Pipa kalor adalah sebuah teknologi penghantaran panas

dengan menggunakan pipa berukuran tertentu yang berisi cairan khusus sebagai penghantar panas dari ujung yang panas ke ujung lain sebagai pendingin. Pipa tersebut biasanya terbuat dari bahan aluminium, tembaga atau tembaga berlapis nikel (Nata, 2011).

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. Perbandingan konduktivitas termal pipa kalor dengan tembaga pejal 188,57 kali lebih tinggi. Pada penelitian ini daya input yang diterapkan dalam pengujian konstan, sehingga tidak diketahui nilai sumber panas yang sesuai dengan kondisi kerja pipa kalor dan pemakaian fluida kerja di dalamnya. Selain itu, fluida kerja yang digunakan adalah air dan pada sisi evaporator pemanas menggunakan pemanas air, sedangkan untuk proses pada sisi kondensor hanya menggunakan debit aliran yang sama.

Penggunaan fluida air sebagai fluida kerja memiliki beberapa kelemahan diantaranya, air memiliki titik didih yang cukup tinggi ( $100^{\circ}\text{C}$ ) serta penggunaan air sebagai fluida kerja pipa kalor tidak efektif pada kondisi dengan temperatur rendah. Akan tetapi, pipa kalor dengan fluida kerja air memberikan kinerja perpindahan panas terbaik diantara fluida kerja lainnya (Vikram et al, 2016). Salah satu solusi permasalahan ini adalah dengan menggunakan fluida campuran.

Penggunaan fluida campuran sebagai fluida kerja pipa kalor juga telah banyak diteliti sebelumnya (Faddas dkk, 2015, Soedarmanto et al, 2011, dan Chaudari dkk, 2015). Salah satunya oleh Putra dkk, 2010, hasil penelitian menunjukkan penggunaan fluida campuran nano dapat meningkatkan kinerja pipa kalor dan mereduksi temperatur rata-rata evaporator sebesar  $30,9^{\circ}\text{C}$ . Hal ini mengindikasikan penggunaan fluida campuran dapat digunakan sebagai pengganti fluida kerja konvensional  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ .

Pramod R.P (2012) juga telah meneliti mengenai pengaruh penggunaan fluida murni dan fluida campuran terhadap kinerja pipa kalor tipe siklus tertutup. Hasil penelitian menunjukkan aseton murni memberikan kinerja terbaik dibanding fluida lainnya, dan tidak terlalu jauh berbeda perbandingan antara kinerja pipa kalor dengan fluida murni dan fluida campuran.

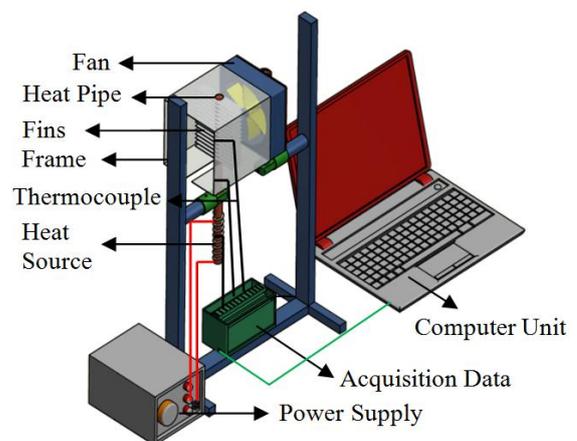
Dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan tadi, maka pada penelitian ini, membahas karakteristik kinerja pipa kalor menggunakan fluida kerja campuran air – aseton dengan variasi

*heat input* 3, 4, 5, 6 Watt dan sudut kemiringan  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$ .

## BAHAN DAN METODE

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari peralatan mekanisme penopang pipa kalor, pipa kalor, evaporator dan sistem kondensor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Iskandar, 2017). Pipa kalor dibuat dari pipa tembaga berdiameter 3/8 inchi, tebal 1 mm dan panjang 400 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah fluida campuran air – aseton dengan konsentrasi 50% : 50%, dan *filing ratio* fluida kerja sebanyak 10% dari total volume pipa kalor (1,8 ml). Struktur sumbu *wick* menggunakan jenis *screen mesh wick* dengan ukuran *mesh* 150 yang terbuat dari material *stainless steel* AISI 201.

Bagian evaporator dipasang pemanas dari kawat (*heater*) yang dihubungkan pada *voltage regulator* dimana *heat input* yang masuk divariasikan 3, 4, 5 dan 6 Watt. Bagian kondensor menggunakan media pendingin udara yang berasal dari *fan* AC dengan kecepatan udara 3,15 m/s.



Gambar 1. Rangkaian alat uji pipa kalor (Iskandar, 2017)

Pengambilan data temperatur menggunakan data akuisisi TC08 dengan tujuh buah pengukuran temperatur. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel yang dilekatkan pada permukaan pipa dengan posisi diukur dari ujung evaporator, yaitu 40 mm (evaporator,  $T_e$ ), 100 mm (adiabatik,  $T_{a1}$ ), 200 mm (adiabatik,  $T_{a2}$ ), 240 mm (kondensor,  $T_{c1}$ ) dan 360 mm (kondensor,  $T_{c2}$ ), juga pada udara pendingin yang masuk ( $T_{in}$ ) dan keluar selubung kondensor ( $T_{out}$ ).

Variasi pengujian menggunakan 3 variasi sudut kemiringan  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  dan 4 variasi *heat input* 3

watt, 4 watt, 5 watt dan 6 watt untuk melihat pengaruhnya pada kinerja pipa kalor. Pengujian pipa kalor dimulai dengan mengatur tegangan yang masuk pada elemen pemanas, dan tunggu hingga temperatur konstan. Pengambilan data dimulai ketika temperatur sudah konstan dan diambil selama 5 menit dengan selang data 30 detik.

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

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

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

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

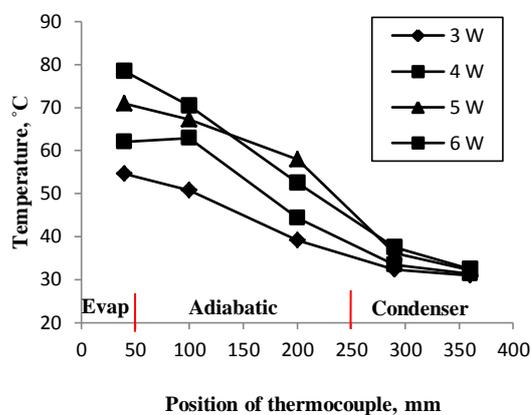
$$Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h (T_w - T_u) \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

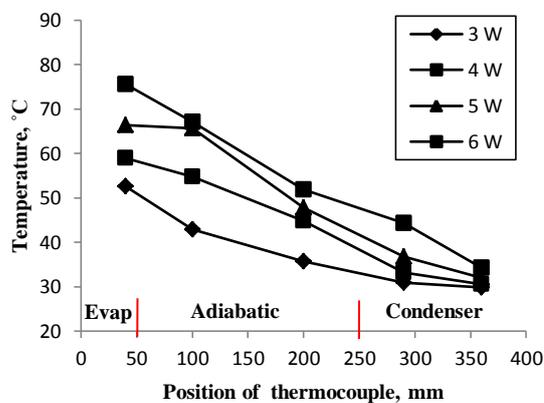
Dari pengujian pipa kalor melalui pengukuran pada beberapa titik di daerah evaporator, adiabatik dan kondensor didapatkan rata-rata temperatur pada titik-titik tersebut. Distribusi temperatur pipa kalor dengan fluida campuran air + aseton dapat dilihat dari Gambar 2, 3 dan 4, menunjukkan bahwa distribusi temperatur semakin menurun, yang diakibatkan proses pelepasan kalor di sisi kondensor. Ketika *heat input* dinaikkan, distribusi temperatur pun juga ikut meningkat. Hal ini dibuktikan pada pengujian pipa kalor dengan *heat*

*input* 5 watt pada sudut kemiringan  $90^\circ$ , temperatur disisi evaporator mencapai  $63,12^\circ\text{C}$  dan disisi kondensor mencapai  $32,87^\circ\text{C}$ . ketika *heat input* dinaikkan menjadi 6 watt, temperatur disisi evaporator mencapai  $73,37^\circ\text{C}$  dan disisi kondensor mencapai  $37,36^\circ\text{C}$ , terdapat selisih kenaikan temperatur evaporator sebesar  $10,25^\circ\text{C}$  dan  $4,49^\circ\text{C}$  di kondensor.

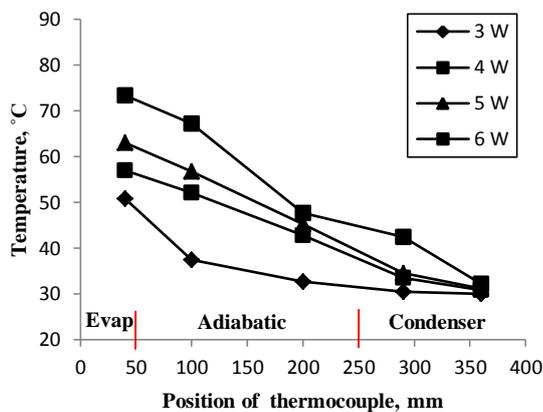
Hubungannya dengan sudut kemiringan pipa kalor, semakin meningkat kemiringan pipa kalor tersebut ( $0^\circ$  hingga  $90^\circ$ ), maka akan semakin menurun temperatur di evaporator. Hal ini dapat dilihat pada pengujian dengan *heat input* 6 watt, di sudut kemiringan horizontal ( $0^\circ$ ), temperatur evaporator mencapai  $78,49^\circ\text{C}$ , ketika sudut kemiringan dinaikkan hingga  $45^\circ$ , temperaturnya menurun menjadi  $75,62^\circ\text{C}$ , dan terus menurun menjadi  $73,37^\circ\text{C}$  di sudut kemiringan  $90^\circ$ . Hal ini juga terjadi pada pengaplikasian *heat input* 3, 4, dan 5 watt.



Gambar 2. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut  $0^\circ$



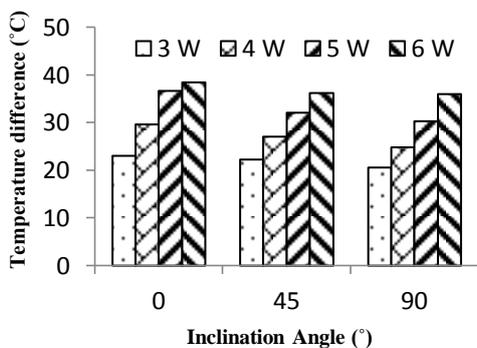
Gambar 3. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut  $45^\circ$



**Gambar 4. Distribusi temperatur pada pipa kalor dengan sudut 90°**

Salah satu karakteristik yang menunjukkan kinerja pipa kalor adalah *temperature difference* antara evaporator dan kondensor. Pengaruh fluida kerja campuran air - aseton terhadap *temperature difference* ( $\Delta T_{e-c}$ ) ditunjukkan pada Gambar 5, dari semua pengujian dengan variasi sudut kemiringan, semakin meningkatnya sudut kemiringan, maka semakin kecil pula *temperature difference* yang menunjukkan kinerja pipa kalor tersebut.

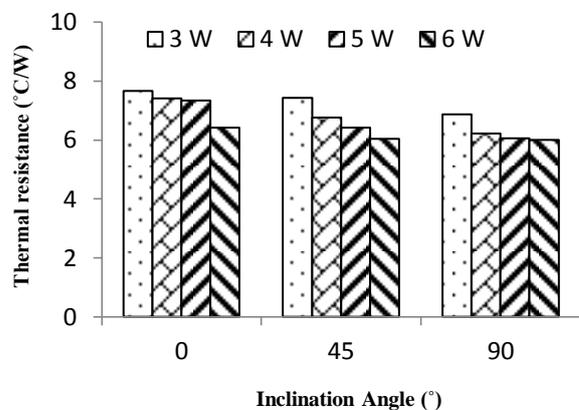
*Temperature difference* yang semakin kecil mengindikasikan kinerja termal pipa semakin baik, pada Gambar 5 menunjukkan kinerja terbaik pada pengujian pipa kalor dengan sudut kemiringan 90°. ketika *heat input* yang diberikan meningkat, maka *temperature difference* juga akan semakin meningkat. Perubahan sudut kemiringan yang semakin besar pada pipa kalor juga mempengaruhi nilai *temperature difference* yang semakin kecil.



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

Gambar 6 menunjukkan variasi nilai hambatan termal pipa kalor dengan menggunakan fluida

campuran air - aseton. pada *heat input* yang sama, ketika sudut kemiringan pipa kalor dan *heat input* meningkat maka nilai hambatan termal perlahan-lahan semakin rendah sehingga memberikan kinerja perpindahan panas terbaik. Hal ini terlihat pada sudut kemiringan 0° dengan *heat input* 3 watt mempunyai nilai tahanan termal 7,67 °C/W perlahan turun menjadi 7,43 °C/W pada sudut 45° dan 6,88 °C/W pada sudut 90°.

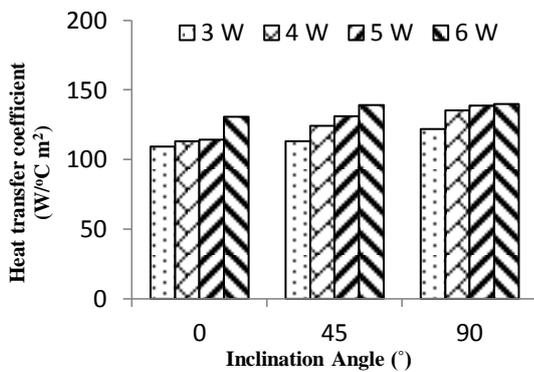


**Gambar 6. Variasi hambatan termal pipa kalor dengan fluida campuran air – aseton**

Hambatan termal yang lebih kecil menyebabkan reduksi panas pada bagian evaporator menjadi lebih besar. Ketika fluida kerja mencapai titik didihnya, akan menghasilkan gelembung uap yang dapat menghambat aliran fluida dan menghentikan proses perpindahan panas.

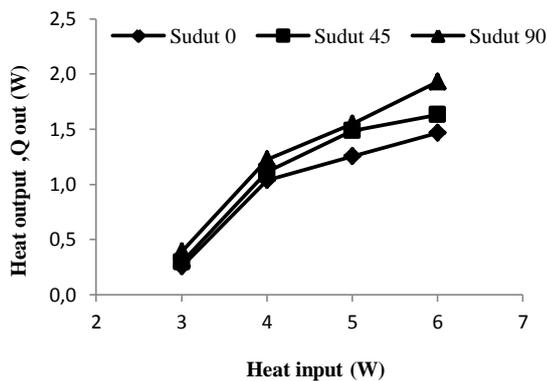
Namun, jika pipa kalor diaplikasikan pada sudut yang lebih tinggi, maka akan meningkatkan kemampuan kembalinya cairan dari kondensor ke evaporator menjadi lebih cepat dikarenakan efek kapilaritas dari *wick* dan efek gravitasi. Proses perpindahan fluida yang cepat diantara evaporator dan kondensor membuat reduksi panas pada evaporator menjadi lebih besar.

Pengaruh *heat input* dan sudut kemiringan terhadap koefisien perpindahan panas pada pipa kalor dengan fluida campuran air - aseton ditunjukkan pada gambar 7. Terlihat adanya kecenderungan kenaikan koefisien perpindahan panas terhadap kenaikan *heat input* dan sudut kemiringan. Koefisien perpindahan panas tertinggi diperoleh pada *heat input* 6 watt di sudut kemiringan 90° sebesar 140,011 W/m<sup>2</sup>°C, dengan *heat input* yang sama di sudut kemiringan 45° dan 0° terjadi penurunan koefisien perpindahan panas yaitu 139,046 W/m<sup>2</sup>°C dan 130,961 W/m<sup>2</sup>°C.



**Gambar 7. Perbandingan koefisien perpindahan panas pada pipa kalor dengan fluida campuran air – aseton**

Fenomena ini dipengaruhi oleh efek kapilaritas dan efek gravitasi pada proses pemindahan fluida kerja air – aseton dari daerah kondensor menuju ke daerah evaporator. Ketika sudut kemiringan pipa kalor horizontal, kecepatan pemindahan panas oleh fluida kerja akan dipengaruhi oleh efek kapilaritas dari sumbu *wick*. Namun, ketika sudut kemiringan pipa kalor bertambah, maka kecepatan pemindahan panas akan dipengaruhi oleh efek kapilaritas dan efek gravitasi, sehingga lebih cepat dibanding sudut kemiringan pipa kalor horizontal. Oleh karena kedua efek inilah yang membuat kinerja perpindahan panas pipa kalor semakin baik.



**Gambar 8. Hubungan heat input dan heat output**

Gambar 8 menunjukkan hubungan *heat input* dengan *heat output* pada pipa kalor dengan fluida kerja campuran air - aseton. Kurva grafik menunjukkan peningkatan ketika *heat input* dan sudut kemiringan meningkat, namun tidak sebanding dengan *heat input* yang diberikan. Pada pipa kalor dengan fluida kerja campuran air – aseton, *heat input* 3 W dan sudut 0°, laju perpindahan panas sisi kondensor ( $Q_{out}$ ) sebesar 0,26 W. Ketika *heat input* dinaikkan menjadi 4 W,

$Q_{out}$  menjadi 1,04 W dan terus naik hingga *heat input* 6 W. Begitu pula ketika sudut kemiringan pipa kalor diubah menjadi 45°, laju perpindahan panas ( $Q_{out}$ ) pada *heat input* 3 W meningkat menjadi 0,29 W, dan pada sudut 90° menjadi 0,39 W.

## KESIMPULAN

Pipa kalor tembaga dengan fluida kerja campuran air – aseton telah diteliti untuk mempelajari pengaruh fluida campuran terhadap karakteristik kinerja perpindahan panas pipa kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi *heat input* dan sudut kemiringan, akan memberikan pengaruh semakin rendah hambatan termal dan semakin tinggi koefisien perpindahan panas pada pipa kalor. Pipa kalor dengan menggunakan fluida kerja campuran air – aseton dapat mereduksi temperatur evaporator rata – rata 63,68 °C, dengan hambatan termal rata - rata 6,71 °C/W, dan koefisien perpindahan panas tertinggi rata – rata 126,01 W/m<sup>2</sup>°C.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

## 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.
- Chaudari, A and S Y Bhosale. 2015. Thermal Performance Evaluation of Heat Pipe using Nanofluid. *International Engineering Research Journal (IERJ) Vol 1 (5)*. PP: 199-203.
- Faddas N.A, and Mali K.V. 2015. Thermal Performance Of Thermosyphon Heat Pipe Charged With Binary Mixture. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) vol 4*. PP: 92 – 102.
- Iskandar, F.S. 2017. *Kaji Eksperimental Karakteristik Heat Pipe Menggunakan Fluida Kerja Aceton Dengan Variasi Filling Rasio Dan Sudut Kemiringan*. Skripsi. Jakarta: UI.
- Nata, W.S. 2011. *Aplikasi Nano Fluida pada Heat Pipe dengan Wick Screen Mesh dan Sintered Powder*. Tesis Master. Depok: Universitas Indonesia.

- 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*. Palembang, 2010. 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.
- Siregar, R. 2016. *Kaji Eksperimental Karakteristik Pipa Kalor Tembaga*. Skripsi. Pekanbaru: UNRI.
- Soedarmanto H, Teguh S dan Sigit M. 2011. Pengaruh Konsentrasi Campuran Aseton Dan Metanol Terhadap Unjuk Kerja Termal Revolving Heat Pipe Dengan Alur Memanjang. *Jurnal POROS TEKNIK, Volume 3, No. 1*. PP: 34 – 40.
- 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.
- Vikram D.G and Sachin V.M. 2016. Effect of mixture of ethanol – methanol as a working fluid on heat transfer characteristics of thermosyphon. *International journal of current engineering and technology*. PP: 441-445.