

Analisis Kinerja Pipa Kalor Dengan Variasi Diameter Bertingkat Menggunakan Fluida Kerja Air

Wahyu Diono¹,

¹*Universitas Akprind Indonesia

E-mail: ¹*wahyu.805.diono@gmail.com

Abstrak – Pipa kalor merupakan salah satu bentuk teknologi yang diaplikasikan pada peralatan yang berhubungan dengan proses perpindahan panas. Parameter yang mempengaruhi kinerja pipa kalor diantaranya sumber kalor, wick structures, fluida kerja dan bentuk atau desain pipa kalor. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan kinerja pipa kalor dengan memvariasikan diameter bertingkat pada bagian adiabatik dan kondensor, dengan variasi 1 Ø10 mm - Ø12 mm - Ø14 mm, variasi 2 Ø10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm, variasi 3 Ø10 mm - Ø16 mm - Ø18 mm. Pada penelitian ini, pipa kalor dibuat dari pipa tembaga yang didalamnya terdapat wick screen mesh sebagai sumbu kapilaritas. Thermocouple tipe K diintegrasikan dengan modul NI-9211 dan c-DAQ 9271 untuk mengukur distribusi temperatur dengan sumber kalor dari DC power supply sebesar 30 W, 40 W dan 50 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perbedaan distribusi temperatur Fluida dan fluks kalor terhadap koefisien perpindahan kalor. Dimana nilai koefisien panas tertinggi dihasilkan pada pengujian pipa kalor diameter bertingkat Ø10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm dengan Daya Input 30 W sebesar 205,95 W/m²°C. Variasi tersebut menghasilkan proses fluida yang baik, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja pipa kalor bekerja lebih optimal.

Kata Kunci — Pipa Kalor Diameter Bertingkat, Daya Input, Kinerja Pipa Kalor

Abstract – Heat pipe is one form of technology that is applied to equipment related to the heat transfer process. Parameters that affect the performance of the heat pipe include heat sources, wick structures, working fluid and the shape or design of the heat pipe. The purpose of this study was to compare the performance of the heat pipe by varying the stratified diameter on the adiabatic and condenser sections, with variations 1 10 mm - 12 mm - Ø14 mm, variations 2 10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm, variations 3 10 mm - Ø16 mm - 18 mm. In this study, the heat pipe is made of copper pipe in which there is a wick screen mesh as the capillary axis. Type K thermocouple is integrated with the NI-9211 and c-DAQ 9271 modules to measure temperature distribution with a heat source from a DC power supply of 30 W, 40 W and 50 W. The results showed that there was a difference in the distribution of boiling temperature and heat flux on the heat transfer coefficient. Where the highest heat coefficient value is produced in the stratified diameter heat pipe test Ø 10mm - Ø 14mm - Ø 16mm with 30 W Daya Input of 205.95 W/m²°C. These variations result in a good boiling process, so it can be said that the performance of the heat pipe works more optimally.

Keywords — Multilevel Diameter Heat Pipe, Daya Input, Heat pipe Performance

1. PENDAHULUAN

Teknologi pipa kalor merupakan salah satu bentuk teknologi yang banyak digunakan dalam aplikasi tentang perpindahan kalor, salah satunya untuk mendinginkan perangkat elektronik atau *Central Processing Unit* (CPU) dari sebuah komputer.

Pipa kalor menggunakan prinsip perpindahan kalor dua fase dengan transportasi fluida cair menggunakan gravitasi. Prinsip perpindahan kalor pertama kali digunakan oleh Angier March Perkins dalam perangkat yang dikenal sebagai *Perkins Tube* di pertengahan abad kesembilan belas. Penemuan Perkins ini dikenal sebagai *Thermosiphon*. Sedangkan perpindahan kalor dua fase pertama kali diperkenalkan oleh Gaugler pada tahun 1942 [1] dengan nama *Heat pipe* (Pipa Kalor) yang terus berkembang hingga saat ini.

Pipa kalor terdiri dari pipa yang tertutup rapat dimana didalamnya terdapat fluida kerja. Pemanasan terjadi pada salah satu ujung (bagian evaporator) dari pipa dan pendinginan pada ujung lainnya (bagian *condensor*) yang menyebabkan fluida kerja menguap. Uap mengalir melalui bagian adiabatik ke bagian kondensor yang mengembun menjadi cairan dan kembali ke bagian penguapan melalui gaya gravitasi atau gaya lain dan kemudian menguap lagi. Hal ini akan menciptakan sirkulasi alami dari media kerja yang terkait dengan perpindahan kalor.

Banyak parameter yang mempengaruhi kinerja dari pipa kalor, diantaranya adalah beban kalor atau sumber kalor, wick structures, fluida kerja dan bentuk atau desain pipa kalor. Banyak penelitian yang telah dilakukan

terhadap pipa kalor, seperti [2] merancang pipa kalor lurus bertingkat yang mampu melakukan pendinginan dengan lebih baik tanpa menggunakan energi listrik. Berdasarkan hal tersebut maka penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter bertingkat pipa kalor sehingga dapat diketahui perbedaan kinerja pipa kalor yang terjadi pada pipa kalor.

[3] meneliti performa pipa kalor bertingkat yang menggunakan *wick* jenis *screen mesh* sebagai pendingin CPU. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan suhu pada bagian kondensor agar panas yang dilepaskan ke lingkungan sekitar CPU berkurang. Pipa kalor bertingkat tersebut dibuat dari bahan tembaga dengan panjang keseluruhan 80 mm, memiliki diameter pipa besar 25,4 mm serta diameter pipa kecil 19,05 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pipa kalor bertingkat mampu menurunkan suhu kondensor hingga mencapai 40,56°C.

[2] melakukan studi mengenai proses perpindahan panas pada pipa kalor bertingkat. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang pipa kalor lurus bertingkat yang mampu melakukan pendinginan secara optimal tanpa memanfaatkan energi listrik. Metode penelitian dilakukan dengan memberikan beban panas pada *heat pipe* sebesar 10 W, 20 W, 30 W, dan 40 W. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan perangkat NI-DAQ, kemudian hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung nilai hambatan termal. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang diperoleh, nilai hambatan termal pada setiap variasi beban panas berturut-turut adalah 0,97 K/W, 0,69 K/W, 0,65 K/W, dan 0,79 K/W.

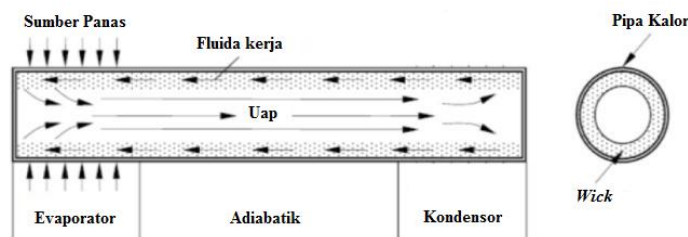
[4] melakukan penelitian dengan judul “Kinerja Termal Pipa Kalor Tembaga Pada Fluida Kerja Air”. Kinerja termal pipa kalor dapat ditentukan dari nilai hambatan panas. Ketika hambatan panas bernilai kecil, maka laju perpindahan kalor meningkat begitu pula sebaliknya. Pengujian kinerja termal pipa kalor tembaga pada fluida kerja air telah dilakukan. Kinerja termal dapat diamati dari hasil pengambilan data temperatur dan pengolahan data. Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbedaan temperatur antara temperatur pemanas dan temperatur fluida terus meningkat dengan kenaikan laju perpindahan kalor dari variasi beban pemanasan 70 Volt, 90 Volt, 110 Volt, 130 Volt, dan 150 Volt.

[5] melaksanakan penelitian berjudul “Analisis kinerja alat penukar kalor *heat pipe* dengan variasi diameter pipa dan daya *input*”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan analisis terhadap perbedaan suhu antara bagian evaporator dan kondensor (*end to end* ΔT), menghitung tahanan termal, fluks panas, serta daya yang ditransfer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter pipa *heat pipe* dan daya *input* menyebabkan penurunan nilai *end to end* ΔT serta tahanan termal, sementara nilai fluks panas dan daya keluaran meningkat. Nilai *end to end* ΔT terkecil sebesar 35°C dan tahanan termal terendah 0,47°C/W diperoleh pada diameter pipa terbesar, yaitu 30 mm dengan daya *input* 80 W. Adapun fluks panas tertinggi sebesar 48 W/cm² dan daya keluaran terbesar juga terjadi pada diameter pipa 30 mm dengan daya *input* 80 W.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pipa Kalor

Pipa kalor adalah sebuah alat yang memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yang digunakan untuk memindahkan kalor, dimana jumlah kalor yang dipindahkan jauh lebih besar daripada kenaikan temperaturnya yang kecil antara permukaan panas dan dingin. Pipa kalor dapat digunakan pada keadaan dimana sumber panas dan pelepas panas diharuskan terpisah, untuk membantu konduksi atau menyebarkan panas pada bidang. Tidak seperti pendinginan pada termoelektrik, pipa kalor tidak mengkonsumsi energi maupun menghasilkan panas sendiri. Skema pipa kalor ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:



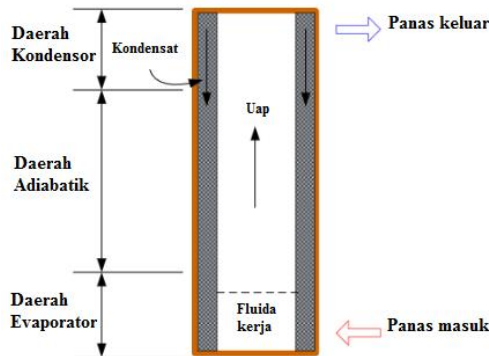
Gambar 1. Skematik Kerja Pipa Kalor [6]

Cara kerja *heat pipe* adalah dengan cara menyerap kalor latent untuk penguapan liquid dari working fluida pada evaporator. Perbedaan tekanan antara evaporator dan kondensor menyebabkan uap hasil penguapan bergerak menuju sisi kondensor yang memiliki temperatur lebih rendah. Pada sisi kondensor uap melepaskan kalor latent sehingga uap terkondensasi membentuk fasa liquid. Liquid dialirkan melalui *wick* dengan gaya kapilaritas sehingga terbentuk sirkulasi terus menerus. Secara umum *heat pipe* dibagi menjadi 3 bagian, sisi evaporator yaitu salah satu sisi *heat pipe* yang menyerap kalor latent sehingga terjadi penguapan, sisi adiabatic merupakan sisi dipertengahan antara sisi evaporator dan sisi kondensor dimana pada sisi ini tidak terjadi perpindahan kalor dan

atau perpindahan kalor sangat kecil sehingga dapat diabaikan, yang terakhir sisi kondensor disini terjadi pelepasan panas latent dan tempat kondensasi fluida kerja. [7]

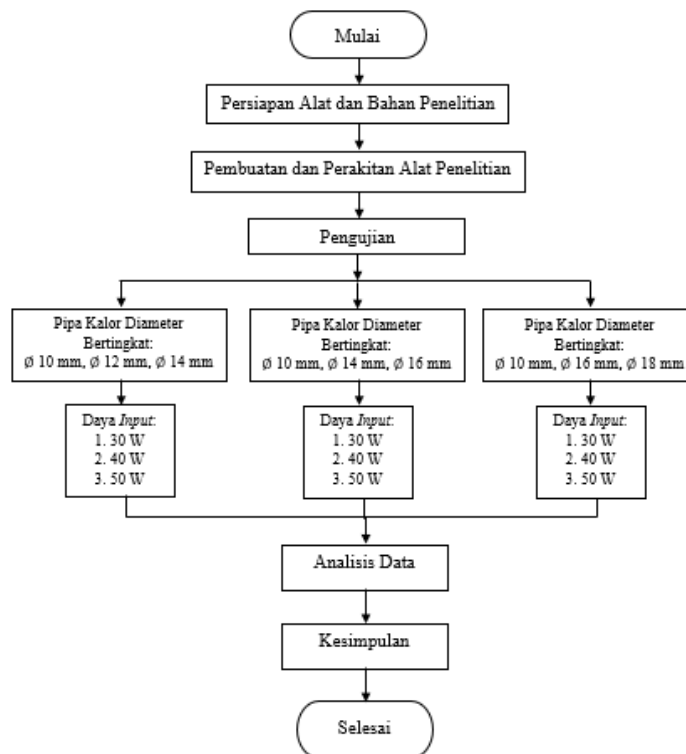
2.2 Proses Perpindahan Kalor Pipa Kalor

Panas yang masuk didalam pipa kalor pada evaporator melalui Daya *Input* dari power supply ke container terjadi secara konduksi yang disebabkan oleh energi kinetik molekul pada permukaan pipa yang meningkat sehingga temperatur pipa akan meningkat. Energi panas akan terus disalurkan kedalam pipa kalor dan panas mengalir ke sumbu kapiler dan fluida kerja. Perpindahan kalor pada fluida kerja terjadi secara konveksi didalam pipa kalor yang menyebabkan fluida kerja menjadi panas. Panas menyebabkan fluida kerja menguap menuju kondensor melalui ruang vakum, didalam kondensor uap akan mengembun sehingga berubah menjadi cairan, cairan tersebut akan bergerak lagi menuju evaporator melalui sumbu kapiler yang menerapkan prinsip kapilaritas. Kemudian panas berpindah secara konduksi dari sisi luar container kedalam container sehingga akan memanaskan fluida kerja di dalam pipa kalor.



Gambar 2. Proses Perpindahan kalor Pipa Kalor [8]

2.3 Diagram Alir Penelitian

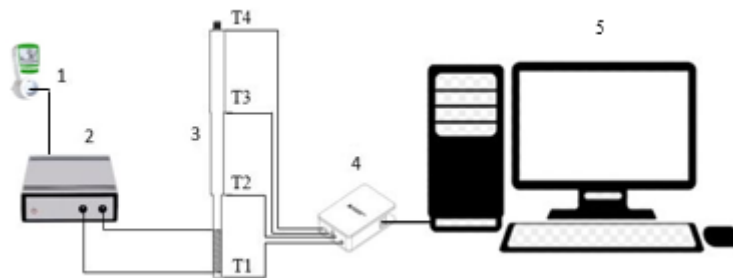


Gambar 3. Diagram Alir

2.4 Bahan dan Alat Penelitian

1. Pipa Tembaga.
2. Wick Screen Stainless Steel dengan ukuran 100 *mesh*.
3. Fluida Kerja.
4. Isolator mika fleksibel dengan ketebalan 0,18 mm.
5. Kawat nikelin dengan diameter 0,5 mm.
6. Insulasi pipa tembaga.

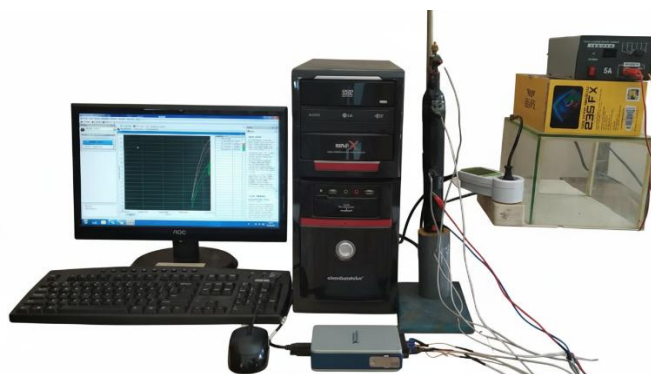
2.5 Skema Penelitian



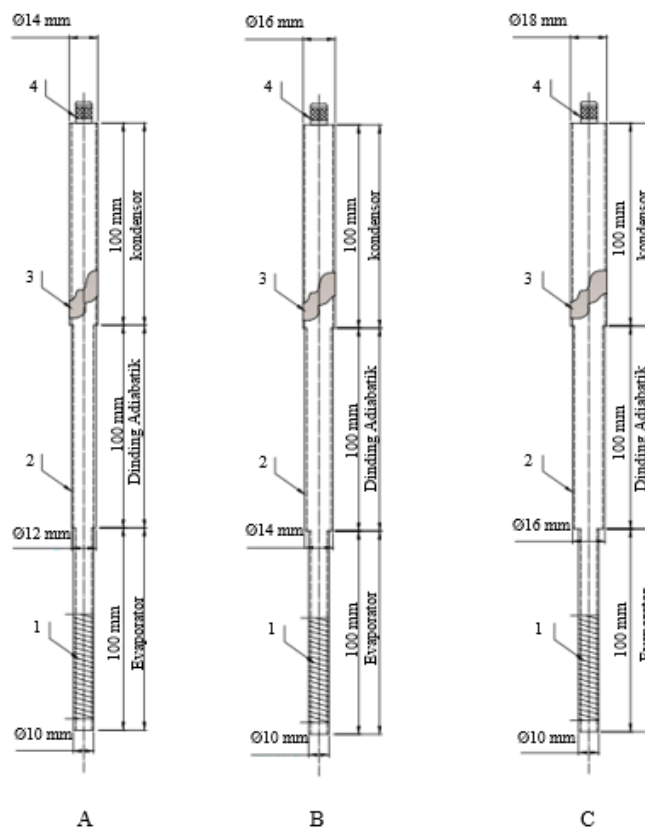
Gambar 4. Skema Penelitian Pembebanan Pada Pipa Kalor Bertingkat

Keterangan:

- 1 : *Digital Power Meter*
- 2 : *DC Power Supply*
- 3 : Pipa Kalor
- 4 : Data akuisisi C-DAQ 9171
- 5 : Unit komputer
- T1 : Temperatur Evaporator
- T2 : Temperatur Dinding Adiabatik
- T3 : Temperatur Dinding Adiabatik
- T4 : Temperatur Kondensor



Gambar 5. Pengujian Pembebanan Pada Pipa Kalor Diameter Bertingkat



Gambar 6. (A) Dimensi Pipa Kalor Bertingkat Ø10 mm-12 mm-14 mm, (B) Dimensi Pipa Kalor Bertingkat Ø10 mm-14 mm-16 mm, (C) Dimensi Pipa Kalor Bertingkat Ø10 mm-16 mm-18 mm

Keterangan:

- 1 : Kawat nikelin (sebagai sumber kalor)
- 2 : Pipa tembaga (Pipa Kalor)
- 3 : Wick screen 100 mesh
- 4 : charging valve (sebagai saluran pengisian fluida)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Proses pengambilan data pada pipa kalor variasi diameter bertingkat dilakukan dengan memasukkan termocouple pada pipa kalor sebanyak 4 titik, yaitu 1 ujung evaporator , 2 sisi adiabatik, dan 1 ujung kondensor. Beda temperatur dan kondensor dapat dihitung dengan persamaan [9].

$$\Delta T = \Delta T_e - \Delta T_c \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{T_3 + T_4}{2} \quad (^\circ\text{C})$$

Dimana,

ΔT_e = Perbedaan temperatur pada *evaporator*

ΔT_c = Perbedaan temperatur pada kondensor

T1 = Termokopel di sisi *evaporator*

T2 = Termokopel di sisi *evaporator* – adiabatik

T3 = Termokopel di sisi adiabatik – kondensor

T4 = Termokopel di sisi kondensor

Selanjutnya nilai koefisien perpindahan kalor pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan [10].

$$h = \frac{Q}{A(\Delta T_{e-c})} \quad (2)$$

Dimana,

h = Koefisien Perpindahan Kalor ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

Q = Panas yang masuk (Watt)

A = Luas Permukaan panas pipa kalor (m^2)

Rumus yang digunakan untuk menghitung luas permukaan pada pipa kalor adalah:

$$A = \pi r^2 + \pi r^2 + 2\pi r t \quad (3)$$

Hasil perhitungan luas permukaan pada pipa kalor adalah:

a. Variasi Diameter bertingkat $\varnothing 10 \text{ mm} - \varnothing 12 \text{ mm} - \varnothing 14 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}^2$

b. Variasi Diameter bertingkat $\varnothing 10 \text{ mm} - \varnothing 14 \text{ mm} - \varnothing 16 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}^2$

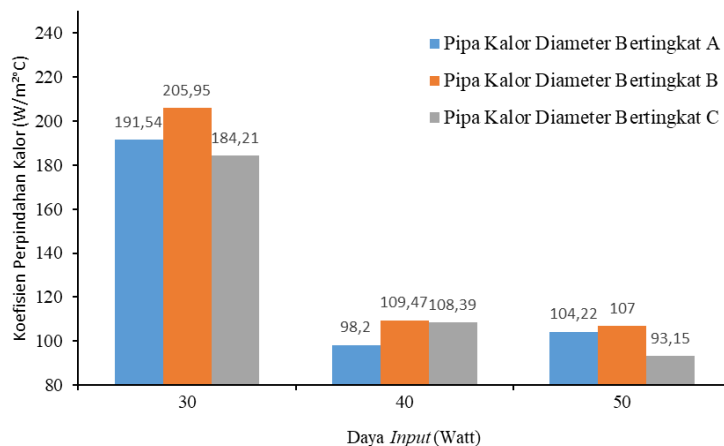
c. Variasi Diameter bertingkat $\varnothing 10 \text{ mm} - \varnothing 16 \text{ mm} - \varnothing 18 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}^2$

Pengambilan data dilakukan per 30 detik. Hasil pengambilan data kemudian diolah menggunakan program *Microsoft Excel*. Hasil perhitungan disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 1. Temperatur pada 4 titik pipa kalor dan Nilai (h)

Daya Input	Titik Temperatur	Panjang Pipa Kalor (mm)	Pipa Kalor Diameter Bertingkat A	Pipa Kalor Diameter Bertingkat B	Pipa Kalor Diameter Bertingkat C	Satuan
30 Watt	T1	0	60,4	54,7	53,6	°C
	T2	100	55,1	51,0	49,0	°C
	T3	200	46,4	43,4	41,8	°C
	T4	300	42,9	39,9	39,1	°C
	Te		57,7	52,9	51,3	°C
	Tc		44,7	41,7	40,4	°C
	$\Delta T (Te - Tc)$		13,1	11,2	10,9	°C
	h		191,54	205,95	184,21	$\text{W/m}^2\text{°C}$
40 Watt	T1	0	86,1	78,8	77,1	°C
	T2	100	77,4	74,5	68,2	°C
	T3	200	59,9	58,8	58,1	°C
	T4	300	52,6	52,3	50,3	°C
	Te		81,7	76,6	72,7	°C
	Tc		56,3	55,6	54,2	°C
	$\Delta T (Te - Tc)$		25,5	21,1	18,5	°C
	h		98,2	109,47	108,39	$\text{W/m}^2\text{°C}$
50 Watt	T1	0	95,1	95,4	97,0	°C
	T2	100	93,6	93,0	93,1	°C
	T3	200	77,5	79,6	80,4	°C
	T4	300	63,2	65,6	66,8	°C
	Te		94,3	94,2	95,1	°C
	Tc		70,4	72,6	73,6	°C
	$\Delta T (Te - Tc)$		24,0	21,6	21,5	°C
	h		104,22	107,0	93,15	$\text{W/m}^2\text{°C}$

Dari tabel 1. diperoleh nilai koefisien perpindahan kalor (h) untuk masing-masing pipa kalor variasi diameter bertingkat dan daya *input*, dan selanjutnya disajikan kedalam bentuk diagram seperti pada gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Diagram Koefisien Perpindahan Kalor Pada Pipa Kalor Terhadap Variasi Diameter Bertingkat Pipa Kalor dan Daya *Input*

Pada gambar 7 menunjukkan bahwa hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor dan diketahui terdapat perbedaan nilai koefisien perpindahan kalor. Pada pengujian pipa kalor dengan variasi diameter bertingkat B menghasilkan nilai koefisien yang tertinggi dengan Daya *Input* 30 W yaitu sebesar 205,95 W/m²°C, nilai koefisien perpindahan kalor terendah dihasilkan pada pengujian pipa kalor diameter bertingkat C dengan Daya *Input* 50 W yaitu sebesar 93,15 W/m²°C. Dengan nilai koefisien perpindahan kalor yang tinggi menandakan fluida kerja yang menyerap kalor pada sisi evaporator mengalami penguapan dengan baik.

3.2 Pembahasan

Dari hasil pengujian diperoleh data distribusi temperatur fluida pada pipa kalor dengan berbagai variasi diameter bertingkat dan daya *input*. Diketahui dengan daya *input* 30 Watt temperatur evaporator stabil pada variasi diameter bertingkat A sebesar 60,4°C, pada variasi diameter bertingkat B sebesar 54,7°C, dan variasi diameter bertingkat C sebesar 53,6°C. Selanjutnya dengan daya *input* 40 Watt temperatur evaporator stabil pada variasi diameter bertingkat A sebesar 52,6°C, pada variasi diameter bertingkat B sebesar 78,8°C, dan variasi diameter bertingkat C sebesar 50,3°C. Kemudian dengan daya *input* 50 Watt temperatur evaporator stabil pada variasi diameter bertingkat A sebesar 95,1°C, pada variasi diameter bertingkat B sebesar 95,4°C, dan variasi diameter bertingkat C sebesar 97,0°C.

Perbedaan koefisien perpindahan kalor dipengaruhi oleh fluida kerja yang mengalami proses Fluida dan menguap ke sisi kondensor. Pada pengujian ini pipa kalor dengan variasi diameter bertingkat B menghasilkan nilai koefisien yang tertinggi disetiap pembenanan Daya *Input*, menandakan fluida kerja yang menyerap kalor pada sisi evaporator mengalami penguapan yang lebih baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pipa kalor dengan ukuran pipa kalor dengan variasi diameter bertingkat B (Ø10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm) terjadi proses Fluida lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perbedaan Daya *Input* mempengaruhi distribusi temperatur Fluida pada pipa kalor terhadap waktu. Terjadi penurunan koefisien perpindahan kalor akibat perbedaan diameter bertingkat pipa kalor dan Daya *Input*.
2. Pipa kalor dengan diameter bertingkat berpengaruh terhadap distribusi temperatur Fluida pada pipa kalor, nilai koefisien perpindahan kalor tertinggi dihasilkan pada pengujian pipa kalor diameter bertingkat B (Ø10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm) dengan Daya *Input* 30 W sebesar 205,95 W/m²°C.

Sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor terendah dihasilkan pada pipa kalor diameter bertingkat C sebesar 184,21 W/m²°C.

3. Dengan semakin bertambah daya *input* menurunkan nilai koefisien perpindahan kalor, dimana nilai terendah dihasilkan pada daya *input* 50 W dengan variasi diameter bertingkat C sebesar 93,15 W/m²°C, sedangkan nilai tertinggi dihasilkan pada daya *input* 30 W dengan variasi diameter bertingkat B sebesar 205,95 W/m²°C.
4. Dengan adanya perbedaan temperatur dari pembebanan Daya *Input* akan mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor, dimana koefisien panas tertinggi dihasilkan pipa kalor diameter bertingkat B (Ø10 mm - Ø14 mm - Ø16 mm) disetiap pembebanannya. Dengan hasil proses Fluida yang baik, menandakan bahwa kinerja pipa kalor dengan diameter bertingkat B bekerja lebih optimal.

5. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memvariasikan ukuran diameter pipa yang berbeda dengan *screen mesh* yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gaugler, R.S., Heat Transfer Device, US Patent No. 2350348, Appl. 21 December 1942, Published 6 June, 1944.
- [2] Ula, W.A.W. 2019. Analisis Perpindahan kalor Pada Pipa Kalor Bertingkat. Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Udayana. Bali.
- [3] Septiadi, W.N. 2015. Karakteristik Kinerja Pipa Kalor Bertingkat dengan *Wick Screen mesh* untuk Pendingin CPU. Teknik Mesin. Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran. Badung-Bali.
- [4] Febraldo, D. 2019. Kinerja Termal Pipa Kalor Tembaga Pada Fluida Kerja Air. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Udayana. Bali.
- [5] Fachrudin, A.R. 2020. Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor *Heat pipe* Dengan Variasi Diameter Pipa dan Daya *Input*. Teknik Mesin. Politeknik Negeri Malang.
- [6] Richardson, A.V. 2015. "Thermal Performance Enhancement Of *Heat pipe* Using TiO₂ Nanofluid". International Journal of Multidisciplinary Research and Modern Education (IJMRME). PP 2454-6119.
- [7] Nemec. P. 2018. Gravity in *Heat pipe* Technology. Licensee InTech.
- [8] Dunn, P., and Reay, D.A. 1982. Heat Pipes, Third Edition, Pergamon Press, Oxford United Kingdom
- [9] 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.
- [10] 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.