

# ANALISIS KINERJA TERMAL DARI STRAIGHT HEAT PIPE DENGAN SUMBU SCREEN MESH PADA SUDUT KEMIRINGAN YANG BERBEDA

Iwan Setyawan<sup>1</sup>, Riski Mekasyah Putra<sup>2</sup>, Ridwan<sup>3</sup>, Tri Mulyanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat

iwan\_s@staff.gunadarma.ac.id<sup>1</sup>, mekasyah@gmail.com<sup>2</sup>, ridwan@staff.gunadarma.ac.id<sup>3</sup>,

tri\_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id<sup>4</sup>

## Abstrak

Heat pipe, HP adalah salah satu alat pemindah kalor yang bekerja secara pasif. Dalam HP, tekanan kapiler dibuat di sumbu yang memompa cairan kondensat kembali ke bagian evaporator. Diantara parameter operasi yang mempengaruhi kinerja termal HP, adalah sudut kemiringan yang memiliki dampak yang cukup besar. Pada penelitian ini akan menginvestigasi kinerja termal straight heat pipe dengan sudut kemiringan yang berbeda. Pengujian dilakukan pada straight heat pipe dengan panjang 1500 mm menggunakan screen mesh 300 material stainless steel 2 layar. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan input beban kalor 10W, 25W, 50W, 100W, 175W, dan 275W dengan sudut kemiringan 0° (posisi horizontal), sudut kemiringan 45° dan sudut kemiringan 90° (posisi vertikal). Pengambilan data temperatur diambil menggunakan data acquisition Labjack U6 Pro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan beban kalor 10 W ~ 275 W, heat pipe berhasil start-up pada semua sudut kemiringan. Walaupun berhasil start-up, tetapi untuk beban kalor 10 W pada semua sudut kemiringan, temperature coolant-in berfluktuasi. Ini mengindikasikan beban kalor 10 W belum cukup untuk membangkitkan uap dengan tekanan yang memadai untuk mendorong uap ke kondensor. Nilai tahanan termal, Rth terbesar terjadi pada posisi sudut kemiringan 45° sebesar 0,05, sedangkan sudut kemiringan 90° dan sudut kemiringan 0° mempunyai Rth yang relative sama, yakni sekitar 0,02. Namun demikian, heat pipe dengan sudut kemiringan 0° mempunyai temperatur evaporator yang lebih kecil dibandingkan sudut 90°. Jadi, dapat disimpulkan bahwa heat pipe memiliki kinerja termal terbaik ketika sudut kemiringan 0° (posisi horizontal). Hasil ini pula menunjukkan bahwa heat pipe yang relative besar dengan panjang 1500 mm, relatif terpengaruh oleh gaya gravitasi. Dengan pengaruh gravitasi menyebabkan sudut kemiringan 90° (posisi vertikal) mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan sudut kemiringan 45°C.

**Kata Kunci:** Analisis, heat pipe, kinerja, screen mesh, termal.

## Abstract

Heat pipe, HP is a heat transfer device that works passively. In HP, capillary pressure is created in the wick which pumps the condensate liquid back into the evaporator section. Among the operating parameters that affect the HP's thermal performance, is the inclination angle which has a considerable impact. In this study, we will investigate the thermal performance of straight heat pipe with different inclination angle. Experiments were carried out on straight heat pipe with a length of 1500 mm using screen mesh 300 stainless steel material with two layers. Experiments were carried out by varying the input heat load of 10W, 25W, 50W, 100W, 175W, and 275W with a inclination angle of 0° (horizontal position), 45° tilt angle and 90° inclination angle (vertical position). Retrieval of temperature data was taken using data acquisition Labjack U6 Pro. The results showed that with a heat load of 10 W ~ 275 W, the heat pipe start-up was successful at all inclination angles. Even though the start-up was successful, for a heat load of 10 W at all inclination angles, the coolant-in temperature fluctuated. This indicates a heat load of 10 W is not enough to generate steam at sufficient pressure to drive steam into the condenser. The highest value of thermal resistance, Rth occurs at the 45°

*inclination angle of 0.05, while the 90o inclination angle and 0o inclination angle have relatively the same Rth, which is around 0.02. However, a heat pipe with a inclination angle of 0° has a lower evaporator temperature than an inclination angle of 90°. So, it can be concluded that the heat pipe has the best thermal performance when the inclination angle is 0° (horizontal position). These results also indicate that a relatively large heat pipe with a length of 1500 mm is relatively affected by gravity. With the influence of gravity, the inclination angle of 90° (vertical position) has better performance than the inclination angle of 45°C.*

**Keywords:** Analysis, heat pipe. performance, screen mesh, thermal..

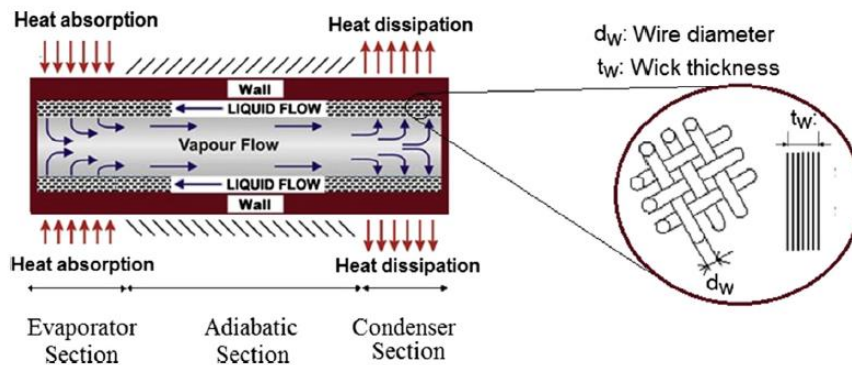
## PENDAHULUAN

*Heat pipe*, HP adalah perangkat pengubah fase secara pasif yang kinerja termalnya sangat tergantung pada penguapan dan kondensasi dalam sumbu mereka. Kebasahan permukaan memberikan pengaruh yang signifikan pada proses penguapan/pendidihan dan kondensasi [1]. *Heat pipe* biasanya terdiri dari kapsul, *wick*/sumbu dan fluida kerja yang merupakan sistem dua fase tertutup. *Heat pipe* sangat vakum yang mentransfer kalor dari sumber kalor ke *heat sink* dengan bantuan kalor laten selama penguapan dan kondensasi. Ketika kalor diterapkan ke evaporator, penguapan terjadi di meniskus pada antarmuka *wick-liquid* dan mengarah pada peningkatan tekanan uap, yang mendorong uap ke kondensor dimana kalor laten dilepaskan. Selanjutnya cairan kondensat disedot kembali ke evaporator melalui sumbu di bawah tekanan kapiler. Selain itu, cairan bersirkulasi tanpa henti selama tekanan kapiler cukup besar untuk mengatasi kehilangan tekanan total selama operasi *heat pipe* [2, 3].

Penggunaan energi telah menjadi perhatian penting dalam beberapa dekade

terakhir. Peningkatan efisiensi energi sangat penting dalam berbagai teknologi energi terbarukan yang berkelanjutan. Sebagian besar energi termal dalam berbagai aplikasi sistem konversi energi pada suhu operasi rendah hingga sedang (50–120°C). Bidang penerapan *heat pipe*, HP pada suhu operasi rendah hingga sedang cukup luas, termasuk, namun tidak terbatas, sistem pemanasan, ventilasi dan pendingin udara (HVAC). Selanjutnya pada sistem pendingin otomotif, sistem fotovoltaik/termal, sistem *power plant cooling tower*, pemanas air surya dan sistem penyimpanan energi termal. Keuntungan menggunakan HP dalam aplikasi penukar kalor mencakup banyak redundansi (setiap HP beroperasi secara mandiri sehingga unit tidak rentan terhadap kegagalan HP tunggal) [4].

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, komponen HP meliputi dinding pipa dan penutup ujung, struktur *wick* (sumbu) dan sedikit cairan kerja. Panjang HP dibagi menjadi tiga bagian: evaporator, adiabatik dan kondensor. Sebuah HP beroperasi ketika kalor secara eksternal diterapkan ke bagian evaporator, melakukan perpindahan kalor melalui dinding yang menyebabkan penguapan fluida kerja. Tekanan uap mendorong uap



**Gambar 1.** Tampilan skematis dari HP [4].

melalui bagian adiabatik ke kondensor, dan kemudian uap mengembun, melepaskan panas latennya ke *heat sink*. Dalam HP, tekanan kapiler dibuat di sumbu yang memompa cairan kondensat kembali ke evaporator. Ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi kinerja HP: fluida kerja, struktur sumbu, material, dimensi, orientasi, rasio pengisian, suhu pengoperasian dan masukan fluks kalor. Diameter dan panjang yang dibutuhkan dipertimbangkan untuk mendesain HP. Diameter HP lebih besar memungkinkan volume uap yang lebih tinggi untuk dipindahkan dari evaporator ke kondensor yang merupakan fungsi langsung dari keterbatasan HP, misalnya sonik dan entrainment.[4-6]

*Heat pipe* memanfaatkan sumbu kapiler yang terbuat dari media berpori untuk mensirkulasikan kondensat dari bagian kondensor menuju bagian *evaporator* dimana sirkulasi fluida akibat sistem pompa kapiler dari sumbu kapiler tersebut (atau lebih dikenal dengan sistem pasif). Adanya media berpori pada tube sangat berpengaruh

terhadap kecepatan transfer kalor dua fase pada media tersebut. Media berpori juga memberikan efek konveksi alami yang berbeda-beda serta karakteristik boiling fluida kerja yang berbeda-beda pula, tergantung dari struktur dan karakteristik dari media berpori, selain dipengaruhi juga oleh fluida kerja [7, 8].

Di antara parameter operasi yang mempengaruhi kinerja termal HP, sudut kemiringan memiliki dampak yang cukup besar dengan bantuan (bagian kondensor di atas bagian evaporator yang dibantu gravitasi) atau menekan (bagian evaporator di atas bagian kondensor yang melawan gravitasi) untuk kembalinya fluida kerja. Namun, kepekaan terhadap orientasi jauh berbeda untuk berbagai struktur sumbu [4]. Sejumlah investigasi telah menunjukkan bahwa kinerja termal HP sumbu tipe alur secara signifikan bergantung pada orientasi [9]. Sementara dampak yang jauh lebih kecil ditemukan pada HP sumbu sinter[4]. Beberapa peneliti lain menunjukkan bahwa kapasitas perpindahan kalor maksimum dari sumbu screen mesh berkurang dengan meningkatnya sudut

kemiringan sedangkan kinerja sumbu mesh sinter lebih baik daripada mesh layar karena konduktivitas termal efektif yang lebih tinggi[10].

Brautsch dan Kew [11] mempelajari proses perpindahan panas HP *mesh* stainless steel menggunakan air sebagai fluida kerja. Mereka menunjukkan bahwa peningkatan fluks kalor maksimum dengan ketebalan sumbu, juga menyebabkan peningkatan ketahanan termal. Kumaresan et al. [12] menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan HP sumbu sinter meningkatkan perpindahan kalor kondensasi HP sebesar 30% pada orientasi 45° dibandingkan posisi horizontal. Kempers et al. [13] menyelidiki efek dari ketebalan sumbu pada kinerja perpindahan kalor dari *screen mesh wick* HP menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Mereka mengamati bahwa ada peningkatan ketahanan termal yang kecil saat meningkatkan ketebalan sumbu, tetapi perpindahan kalor maksimum juga meningkat. Sadeghinezhad et al. [14] baru-baru ini menunjukkan orientasi sumbu sinter HP memiliki pengaruh besar pada efisiensi termal, di mana secara bertahap meningkat dengan sudut kemiringan dari horizontal hingga 60 dan kemudian menurun. Li dan Lv [15] belum menemukan pengaruh besar sudut kemiringan pada ketahanan termal HP datar dari 45° ke posisi vertikal, namun lebih rendah dari posisi horizontal.

Penelitian yang sudah dilakukan oleh

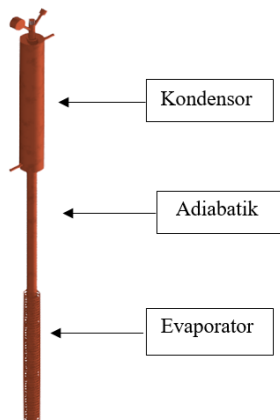
peneliti lain seperti yang diulas diatas, pada umumnya mereka menguji *heat pipe* ukuran relative lebih kecil dengan panjang dibawah 1000 mm. Berkaitan dengan hal tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian pada *straight heat pipe* dngan panjang 1500 mm. *Heat pipe* menggunakan *wick screen mesh* No. 300. Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh sudut kemiringan evaporator terhadap kinerja *heat pipe* yang menggunakan **wick screen mesh** no. 300 dengan material stainless steel.

## METODE PENELITIAN

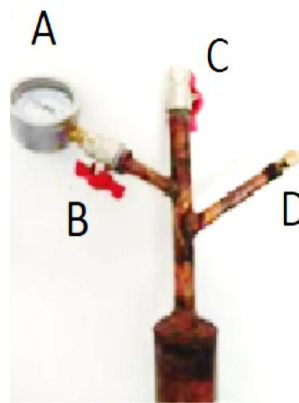
Pada penelitian ini alat pengujian yang digunakan adalah jenis *Straight Heat Pipe* yang menggunakan dua layar *wick screen mesh* no. 300. *Screen mesh* ini terbuat dari material stainless steel dengan ukuran pori 44 micron. *Heat pipe* terbagi tiga bagian utama, yaitu evaporator, adiabatik, dan kondensor seperti terlihat pada Gambar 2. Pada bagian kondensor terdapat komponen pendingin yaitu water jacket yang memiliki sebuah inlet dan sebuah outlet yang berfungsi untuk keluar masuknya fluida pendingin. Pada bagian atas container diberi jalur khusus untuk pengukuran tekanan internal dan sebagai jalur untuk melakukan pemakuman pada sistem seperti terlihat pada Gambar 3.

Spesifikasi lengkap dari *straight heat pipe* adalah sebagai berikut:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Diameter luar pipa, $d_o$ : 25.40 mm  | 5. Panjang kondensor, $l_c$ : 500 mm             |
| 2. Tebal dinding pipa, $t$ : 1 mm        | 6. Fluida kerja : Air deionisasi                 |
| 3. Panjang heat pipe, $l$ : 1500 mm      | 7. Rasio pengisian, $FR$ : 60 %                  |
| 4. Panjang evaporator, $l_{ev}$ : 500 mm | 8. Sumbu/wick : Screen mesh 300, stainless steel |



**Gambar 2.** Desain *Straight Heat Pipe*



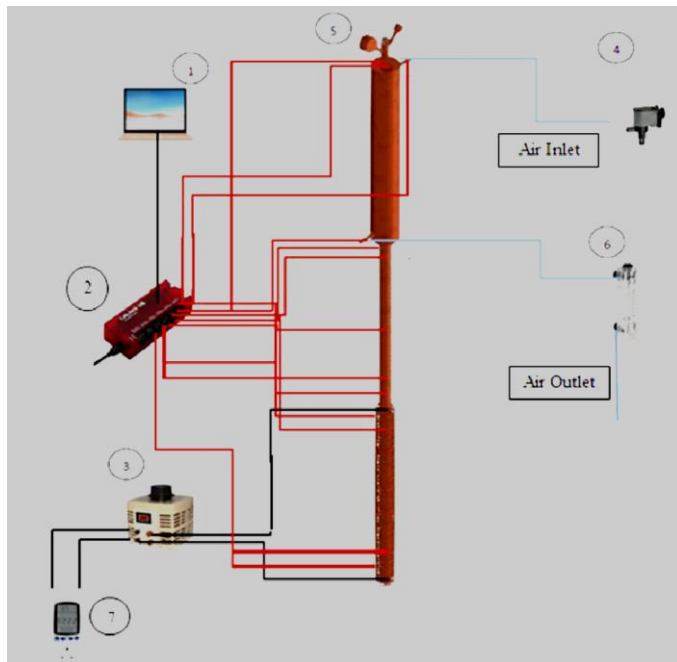
- Keterangan:  
A : *Pressure gauge compound*  
B : *On-off valve*  
C : *Valve untuk pengisian fluida kerja fluida*  
D : *Nipple digunakan untuk jalur vakum*

**Gambar 3** Detail Pressure Gauge dan Jalur Vacuum

### Skematik Pengujian

Skematik pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan input beban kalor 10W, 25W, 50W, 100W, 175W, dan 275W dengan sudut kemiringan yang berbeda  $0^\circ$  (horizontal),  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  (vertikal) seperti terlihat pada Gambar 5. Daya yang dimasukkan ke *heater* diatur oleh *voltage regulator AC* yang besarnya diukur dengan menggunakan *watt meter*. Kemudian *coolant* dari reservoir disirkulasikan pada kondensor dengan menggunakan pompa celup 6 Watt. *Coolant* dikondisikan pada temperatur ruangan dimana laju aliran coolant

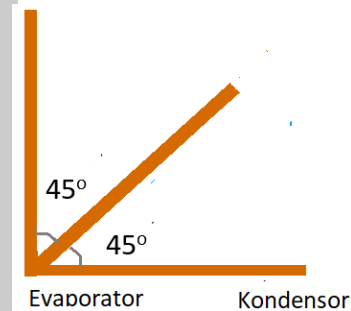
yang keluar dari selubung kondensor diatur oleh rotameter dengan laju aliran 150 ml/menit. Pengukuran temperatur bagian yang penting pada alat eksperimen ini, menggunakan data aquisisi Labjack u6 pro. Jumlah titik pengukuran adalah 14 dimana 4 buah titik digunakan untuk temperatur dinding kondenser, 4 buah di dinding evaporator, 3 buah di dinding adiabatik, 1 untuk ambient dan untuk coolant masing-masing 1 pada bagian inlet dan 1 buah pada bagian outlet. Selanjutnya, untuk mencegah terjadinya kebocoran kalor ke lingkungan, maka seluruh bagian heat pipe diisolasi menggunakan *Rockwool*.



**Gambar 4.** Skematik Pengujian

Keterangan:

1. Laptop
2. DAQ
3. AC voltage Regulator
4. Pompa Celup
5. Sistem Pengukur tekanan internal
6. Flow meter
7. Watt meter



**Gambar 5.** Sudut kemiringan straight heat pipe

#### Rumus yang digunakan untuk perhitungan

Ekspresi berikut berguna untuk menentukan kinerja dari *heat pipe*. Tahanan termal adalah indikator penting dari kemampuan transfer kalor dari *heat pipe*. Tahanan termal pada *heat pipe* didefinisikan sebagai [16, 17]:

$$R_{HP} = \frac{T_e - T_c}{Q_{in}}$$

Dimana  $Q_{in}$  adalah beban kalor yang diaplikasikan pada evaporator,  $T_e$  adalah temperatur dinding evaporator dan  $T_v$  adalah temperatur evaporator. Temperturnya dapat dihitung dengan pendekatan nilai rata-rata temperatur inlet evaporator  $T_{e.in}$  dan temperatur outlet kondensor  $T_{e.out}$

$$T_e = \frac{(T_{e.in} + T_{e.out})}{2}$$

$T_c$  adalah tempertur kondensor, yang dapat dihitung dengan pendekatan, nilai rata-rata temperatur inlet kondensor  $T_{c.in}$  dan temperatur outlet kondensor  $T_{c.out}$

$$T_c = \frac{(T_{c.in} + T_{c.out})}{2}$$

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

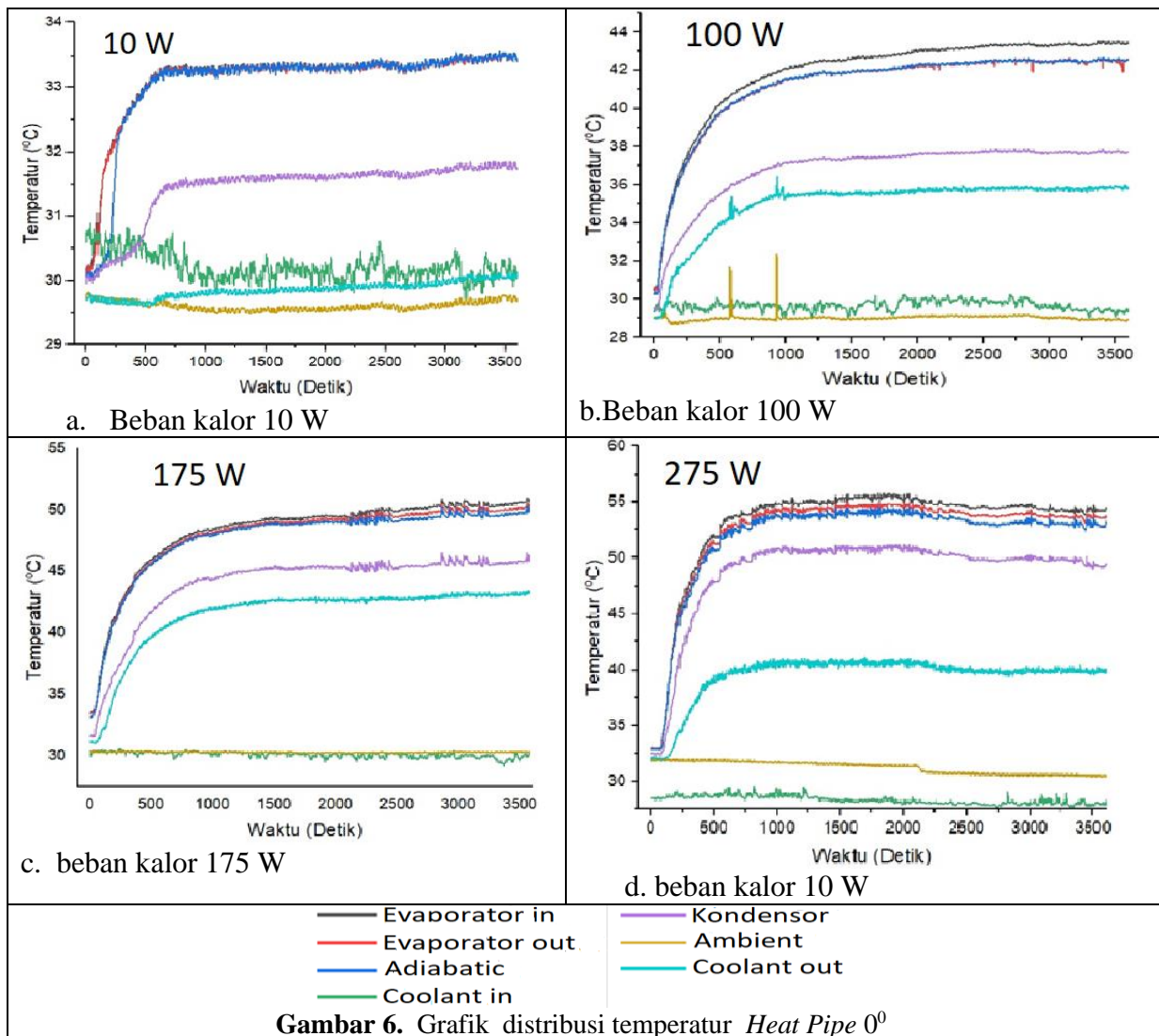
##### Pengujian start-up *Straight Heat pipe*

Pengujian start-up bertujuan untuk mengetahui kemampuan *heat pipe* untuk memulai operasinya [18]. Percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan beban kalor untuk mengevaluasi keandalan dan respons *heat pipe* di bawah berbagai kondisi kerja. Beban kalor secara bertahap diterapkan pada evaporator dari 10 W kemudian ditingkatkan ke 25 W, 50 W, 100

W, 175 W dan 275 W. Pada Gambar 6 terlihat grafik hubungan temperature dengan waktu. Pengambilan data temperature pada keseluruhan bagian heat pipe dilakukan dengan sudut kemiringan  $0^{\circ}$ .

Gambar 6.a, menunjukkan grafik untuk beban kalor 10 W yang diterapkan pada evaporator dengan sudut kemiringan  $0^{\circ}$ . Pada Grafik terlihat bahwa perlu waktu kurang 60 detik untuk terjadinya *start-up* yang diawali nukleasi, dimana *start-up*

ditunjukkan dengan adanya aliran dalam sistem, ditandai dengan tiba-tiba terjadinya perbedaan temperatur antara kondensor dengan evaporator [17, 18]. Pada Gambar 6.b di bawah beban kalor 100 W, waktu untuk terjadinya *star-tup* lebih cepat, begitu pula pada beban kalor 175 W dan 275 W seperti terlihat pada masing-masing Gambar 6.c dan 6.d. Ketika *heat pipe* berhasil *start-up*, maka perpindahan kalor sistem dua fasa menjadi dominan.

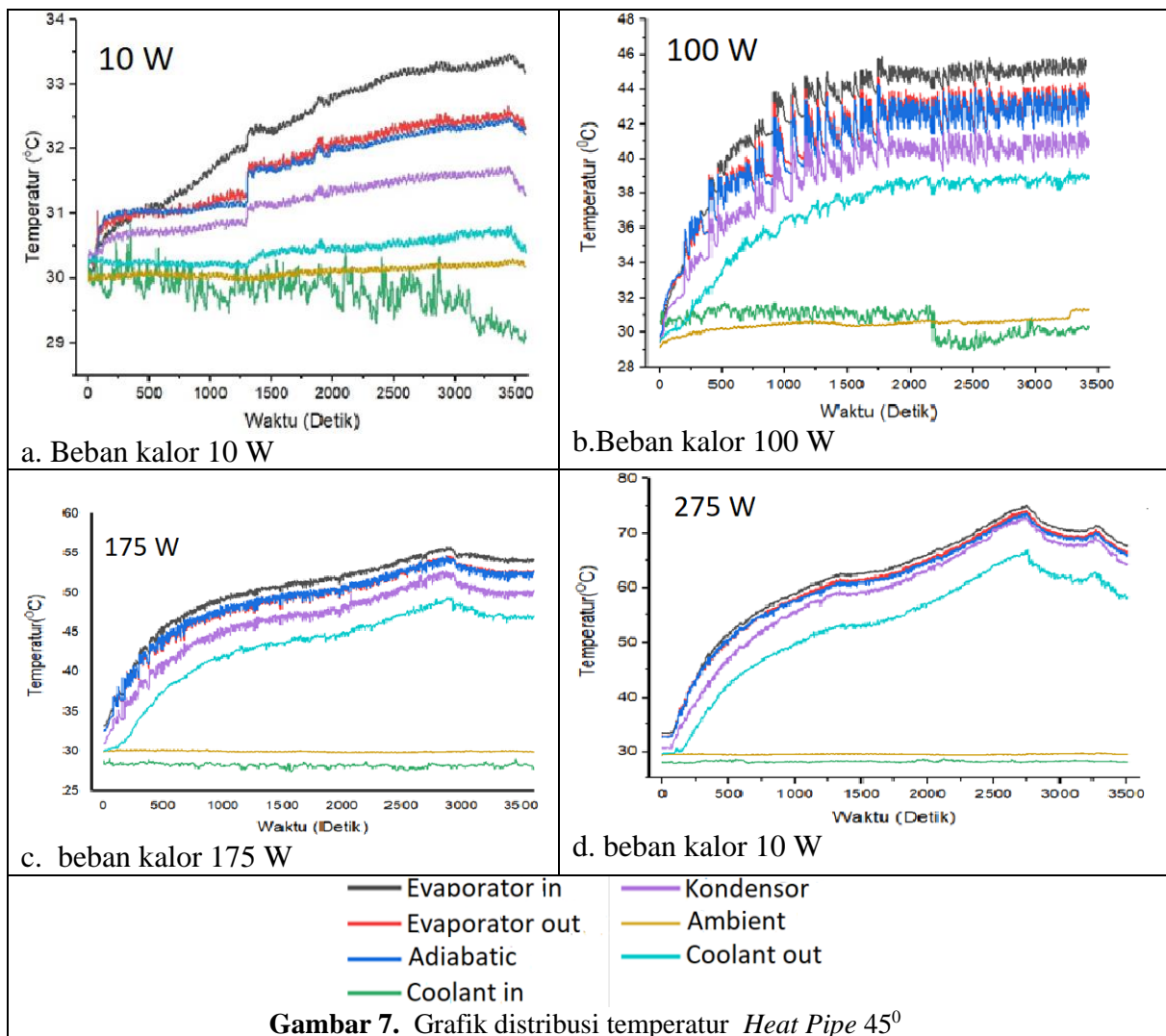




Selanjutnya pada semua grafik terlihat bahwa dengan naiknya beban kalor, akan menaikkan pula temperatur pada seluruh bagian heat pipe. Selain itu pada grafik terlihat bahwa untuk beban kalor 10 W temperature *coolant-in* berfluktuasi. Penomena ini terjadi karena adanya aliran uap dan cairan secara bergantian di dalam evaporator [17]. Di mana beban kalor 10 W belum cukup untuk mem-bangkitkan uap dengan tekanan yang memadai untuk mendorong uap ke kondensor.

Gambar 7 menunjukkan grafik variasi

beban kalor yang diterapkan pada evaporator dengan sudut kemiringan 45°. Sama dengan Gambar 4, pada Grafik terlihat bahwa heat pipe berhasil *start-up* untuk semua beban kalor. Pada Gambar 7a, untuk beban kalor 10W, terlihat fluktuasi temperatur pada seluruh bagian *heat pipe*. Gambar 7b untuk beban kalor 100, fluktuasi temperatur makin membesar pada seluruh bagian *heat pipe*. Selanjutnya fluktuasi temperature mengecil ketika beban kalor lebih besar yakni 175 W dan 275 W seperti terlihat pada Gambar 7c dan Gambar 7d.

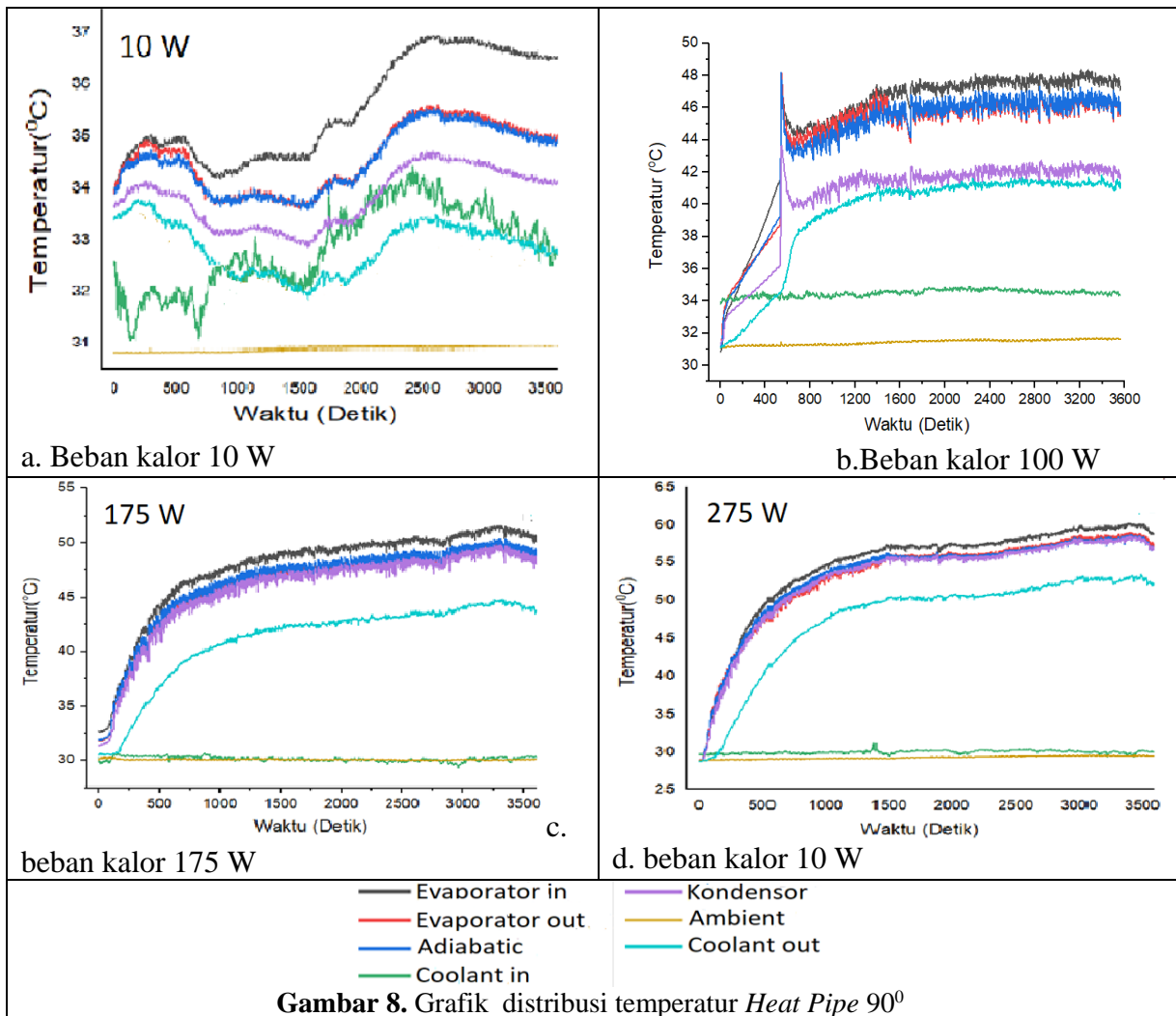




Gambar 8 menunjukkan grafik variasi beban kalor yang diterapkan pada evaporator dengan sudut kemiringan 90°. Sama seperti sudut kemiringan 0° dan 45°, *heat pipe* berhasil start-up untuk semua variasi beban kalor. Pada Gambar 8a dan 8b untuk range beban kalor 10 W ~ 100 W, fluktuasi temperatur evaporator lebih kecil dibandingkan dengan sudut 45° pada Gambar 7a dan 7b. Begitu pula untuk beban kalor 175 W ~ 275 W Gambar 8c dan 8d menunjukkan fluktuasi temperature yang lebih kecil dibandingkan

dengan sudut 45° pada Gambar 7c dan 7d.

Dengan membandingkan Gambar 6,7 dan 8 yang didapatkan dengan memvariasikan sudut kemiringan, bisa dikatakan bahwa sudut kemiringan 0° (posisi horiziotal) mengungguli sudut kemiringan 45° dan 90° (posisi vertikal). Selanjutnya, sudut kemiringan 90° lebih unggul dibandingkan sudut kemiringan 45°. Makin besar fluktuasi temperatur, makin besar pula ketidakstabilan operasi dari sistem. Dimana, ketidakstabilan ini disebabkan oleh suplai cairan kondensat di evaporator tidak lancar.



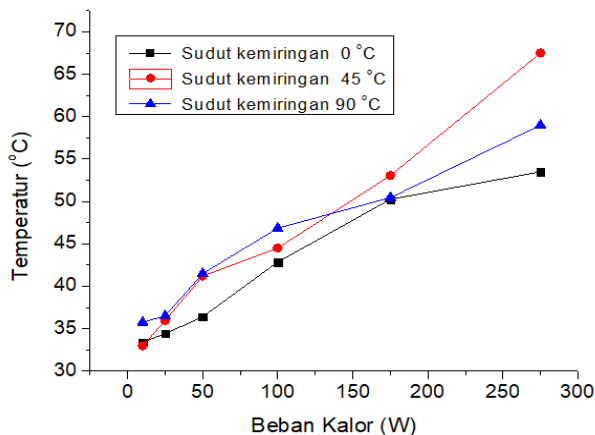
**Gambar 8.** Grafik distribusi temperatur *Heat Pipe* 90°

### Analisis Tahanan Termal *Straight Heat pipe*

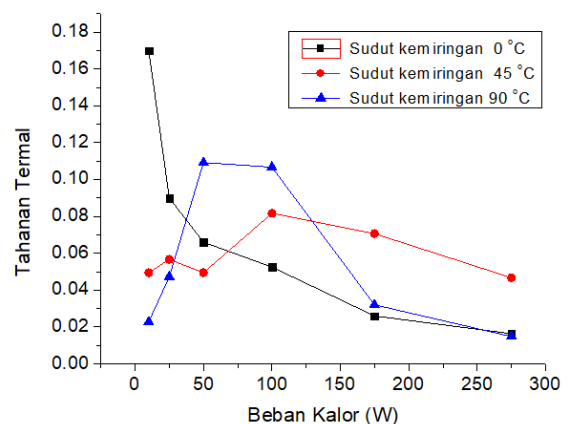
Tahanan termal merupakan salah satu parameter yang dapat mewakili kinerja termal dari sebuah *heat pipe*. Pada Gambar 9 dan Gambar 10, menunjukkan masing-masing grafik hubungan temperatur evaporator dan tahanan termal pada berbagai beban kalor 10 W ~ 275 W pada *heat pipe* dengan variasi sudut kemiringan dari 0°, 45°, dan 90°. Dapat dilihat pada Gambar 9, bahwa setiap kenaikan beban kalor, maka temperatur evaporator meningkat pula dengan berbagai variasi sudut kemiringan. Pada *range* beban kalor 10 W ~ 100 W, terlihat bahwa dengan menaikkan sudut kemiringan, akan menaikkan pula temperatur evaporator. Ini berarti, terjadi penurunan kapasitas kalor yang bisa diambil oleh *heat pipe*. Untuk beban kalor 175 W ~ 275 W, sudut kemiringan 45° menghasilkan kinerja termal yang paling rendah, bukannya sudut kemiringan 90°. Hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti lain [10] yang menunjukkan

bahwa kapasitas perpindahan kalor maksimum dari *heat pipe* sumbu screen mesh berkurang dengan menambah sudut kemiringan.

Sementara itu Gambar 10, dapat dilihat bahwa untuk sudut kemiringan 0° (posisi horizontal), dengan menaikkan beban kalor evaporator, maka nilai tahanan termal akan mengecil, dimana hasil ini sesuai dengan ciri khas dari *heat pipe* yaitu tahanan termal mengecil seiring kenaikan beban kalor yang diterapkan pada evaporator [17]. Adapun untuk sudut kemiringan 45° dan 90°, *heat pipe* mulai mengikuti *trend* ini ketika beban kalor pada *range* 100 W ~ 275 W. Selanjutnya Gambar 9, beban kalor pada *range* 175 W ~ 275 W menunjukkan temperatur evaporator paling tinggi ketika sudut evaporator 45°. Ini diperkuat pada Gambar 10, dimana pada *range* 175 W ~ 275 W, bukannya sudut kemiringan 90° (posisi vertikal) tetapi sudut kemiringan 45° yang memiliki tahanan termal yang paling besar.



Gambar 9. Temperatur Evaporator VS beban kalor



Gambar 10. Tahanan Termal VS beban kalor

Untuk beban kalor terbesar 275 W, didapatkan temperatur evaporator tertinggi pada sudut kemiringan 45° (67,5°C) disusul sudut kemiringan 90° (59°C) dan sudut kemiringan 0° (53°C). Selanjutnya tahanan termal, *Rth* terbesar pada sudut kemiringan 45° (0,05), sementara sudut kemiringan 90° dan sudut kemiringan 0° mempunyai *Rth* relative sama (0,02). Alasan yang mungkin dengan fenomena ini adalah ketika *heat pipe* ukuran relatif besar beroperasi normal, maka efek grafitasi relative berpengaruh. Dimana gaya grafitasi membantu pengembalian cairan kondensat ke evaporator, membuat temperatur evaporator dan tahanan termal pada sudut 90° lebih kecil dibandingkan dengan sudut kemiringan 45°.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, digunakan sebuah *straight heat pipe* dengan panjang 1500 mm yang menggunakan screen mesh 300 material stainless steel. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja termal *heat pipe* pada sudut kemiringan yang berbeda yaitu 0° (posisi horizontal), 45° dan 90° (posisi vertikal). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan beban kalor 10 W ~ 275 W, *heat pipe* berhasil *start-up* pada semua sudut kemiringan. Dari hasil distribusi temperature diketahui bahwa *heat pipe* beroperasi dengan baik yang dicirikan dengan fluktuasi temperatur yang kecil pada sudut kemiringan 0° disusul 90° dan 45°. Ketika *heat pipe* diberikan beban kalor

terbesar, 275 W didapatkan salah satu gambaran kinerja termal dari *heat pipe*. Dimana, temperatur evaporator tertinggi terjadi pada posisi sudut kemiringan 45° sebesar 67,5°C disusul sudut kemiringan 90° sebesar 59°C dan terendah pada sudut kemiringan 0° sebesar 53°C. Demikian pula nilai tahanan termal, *Rth* terbesar terjadi pada posisi sudut kemiringan 45° sebesar 0,05, sedangkan sudut kemiringan 90° dan sudut kemiringan 0° mempunyai *Rth* yang relative sama, yakni sekitar 0,02. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *heat pipe* memiliki kinerja termal terbaik ketika posisi horizontal. Hasil ini menunjukkan pula bahwa *heat pipe* yang relatif besar dengan panjang 1500 mm, relatif terpenpengaruh oleh gaya grafitasi. Dimana, menyebabkan sudut kemiringan 90° mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan sudut kemiringan 45°C.

Pada penelitian berikutnya disarankan variasi beban kalor dinaikkan sampai didapatkan kemampuan maksimal dari *straight heat pipe*. Dengan demikian diharapkan adanya fenomena *dry out* pada *straight heat pipe* tersebut. Selain itu dapat pula ditambahkan alat uji, dimana panjang *straight heat pipe* divariasikan dengan panjang yang lebih kecil dan lebih lebih besar dibandingkan dengan alat uji pada penelitian ini. Variasi ini untuk mengetahui sejauh mana pengaruh grafitasi terhadap panjang *straight heat pipe* dan sudut kemiringan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. P. Carey, *Liquid-vapor phase-change phenomena: an introduction to the thermophysics of vaporization and condensation processes in heat transfer equipment*. CRC Press, 2020.
- [2] H. Tang, L. Lian, J. Zhang, and Y. Liu, "Heat transfer performance of cylindrical heat pipes with axially graded wick at anti-gravity orientations," *Applied Thermal Engineering*, vol. 163, p. 114413, 2019.
- [3] B. ChNookaraju, P. KurmaRao, and S. N. Sarada, "Thermal analysis of gravity effected sintered wick heat pipe," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, no. 4-5, hal. 2179-2187, 2015.
- [4] D. Jafari, H. Shamsi, S. Filippeschi, P. Di Marco, and A. Franco, "An experimental investigation and optimization of screen mesh heat pipes for low-mid temperature applications," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 84, hal. 120-133, 2017.
- [5] S.-C. Wong, H.-S. Cheng, and C.-W. Tu, "Visualization experiments on the performance of mesh-wick heat pipes with differing wick wettability," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 114, hal. 1045-1053, 2017.
- [6] B. Zohuri, *Heat pipe design and technology: Modern applications for practical thermal management*. Springer, 2016.
- [7] L. L. Vasiliev, "Heat pipes in modern heat exchangers," *Applied thermal engineering*, vol. 25, no. 1, hal. 1-19, 2005.
- [8] J. A. Weibel, S. V. Garimella, and M. T. North, "Characterization of evaporation and boiling from sintered powder wicks fed by capillary action," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, no. 19, hal. 4204-4215, 2010.
- [9] M. Russel, C. Young, J. Cotton, and C. Ching, "The effect of orientation on U-shaped grooved and sintered wick heat pipes," *Applied thermal engineering*, vol. 31, no. 1, hal. 69-76, 2011.
- [10] Y. Wang and G. P. Peterson, "Investigation of a Novel Flat Heat Pipe," *Journal of Heat Transfer*, vol. 127, no. 2, hal. 165-170, 2005, doi: 10.1115/1.1842789.
- [11] A. Brautsch and P. A. Kew, "Examination and visualisation of heat transfer processes during evaporation in capillary porous structures," *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, no. 7, hal. 815-824, 2002.
- [12] G. Kumaresan, S. Venkatachalapathy, and L. G. Asirvatham, "Experimental investigation on enhancement in thermal characteristics of sintered wick heat pipe using CuO nanofluids,"

- International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 72, hal. 507-516, 2014.
- [13] R. Kempers, D. Ewing, and C. Ching, "Effect of number of mesh layers and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes," *Applied thermal engineering*, vol. 26, no. 5-6, hal. 589-595, 2006.
- [14] E. Sadeghinezhad *et al.*, "Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance," *Applied Thermal Engineering*, vol. 100, hal. 775-787, 2016.
- [15] J. Li and L. Lv, "Experimental studies on a novel thin flat heat pipe heat spreader," *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, hal. 139-146, 2016.
- [16] J. Huang *et al.*, "Development of novel flexible heat pipe with multistage design inspired by structure of human spine," *Applied Thermal Engineering*, vol. 175, p. 115392, 2020.
- [17] I. Setyawan, N. Putra, I. I. Hakim, and R. Irwansyah, "Development of hybrid loop heat pipe using pump assistance for cooling application on high heat flux device," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 33, no. 8, hal. 3685-3694, 2019.
- [18] I. Setyawan, N. Putra, and I. I. Hakim, "Experimental investigation of the operating characteristics of a hybrid loop heat pipe using pump assistance," *Applied thermal engineering*, vol. 130, hal. 10-16, 2018.