Inovasi Mekanikal dan Aplikasi Teknik Mesin
Volume 1 Nomor 2 Juli 2025
e-ISSN: 3089-5022; p-ISSN: 3089-5170, Hal 91-105
DOI: 10.63891/impak.v1i2.73
Available online at: https://journal.iset.or.id/index.php/IMPAK/article/view/73/version/77

Kajian *Phenomena Startup Loop Heat Pipe* pada Beban Kalor Rendah dengan Memvariasikan Jumlah Lapisan Screen Mesh Stainless Stell 300 sebagai Sumbunya

Chandika Heldiansyah[1], Iwan Setyawan[2], Ridwan[3]

[1,2,3] Teknik Mesin, Univeritas Gunadarma, Indonesia

Jl. Margonda Raya No.100, Pd. Cina, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia
Korespondensi penulis: chandhuts200202@gmail.com

Abstract.

LHP is a highly efficient two-phase heat transfer device, in which the axis structure plays a crucial role in generating capillary pressure to flow the working fluid. In this study, shaft configurations with 2, 4, and 6 layers were used to evaluate the initial performance of the thermal system (start-up phase). The objective of this research is to investigate the start-up phenomenon in a Loop Heat Pipe (LHP) system operating at low heat loads, with a focus on the influence of the number of layers of 300 series stainless steel mesh as the capillary wick. The testing methodology was conducted experimentally using a copper-based loop heat pipe, with circulating water as the cooling medium at a temperature of 24–28°C. The cooling water flow rate was 40 ml/minute, and the working fluid filling ratio was set at 60%. Temperature data were collected from various points using type K thermocouples and analyzed using a LabVIEW-based data acquisition system. The test results showed that variations in the number of wick layers significantly affected temperature distribution, evaporation efficiency, and overall thermal system stability. The 2-layer wick configuration showed the best performance, with the lowest evaporator temperature of 56°C, a stable temperature rise rate, and high heat release efficiency. Conversely, the 4-layer configuration resulted in the highest evaporator temperature of 63°C, indicating heat accumulation due to high flow resistance. The 6-layer configuration showed moderate performance, with a final temperature of around 60°C and a tendency toward stagnation due to increased capillary resistance.

***Keywords**: Evaporator, Loop Heat Pipe, Screen Mesh ,Start -Up, Wick , layer variation.*

Abstrak.

LHP merupakan perangkat perpindahan panas dua fase yang sangat efisien, di mana struktur sumbu berperan krusial dalam membangkitkan tekanan kapiler untuk mengalirkan fluida kerja. Dalam studi ini, digunakan konfigurasi sumbu dengan 2, 4, dan 6 lapisan untuk menilai kinerja awal sistem termal (fase start-up). Bertujuan untuk mengkaji fenomena start-up pada sistem Loop Heat Pipe (LHP) yang beroperasi pada beban kalor rendah, dengan fokus pada pengaruh jumlah lapisan screen mesh stainless steel 300 sebagai sumbu kapiler (*wick*). Metodologi pengujian dilakukan secara eksperimental loop heat pipe berbasis pipa tembaga, dengan media pendingin berupa air bersirkulasi pada suhu 24–28°C. Laju alir air pendingin pada 40 ml/menit, dan rasio pengisian fluida kerja ditetapkan sebesar 60%. Data temperatur dikumpulkan dari berbagai titik menggunakan termokopel tipe K, serta dianalisis menggunakan sistem akuisisi data berbasis LabVIEW. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi jumlah lapisan sumbu berpengaruh signifikan terhadap distribusi suhu, efisiensi penguapan, serta kestabilan sistem termal secara keseluruhan. Konfigurasi sumbu 2 lapis menunjukkan performa terbaik, dengan temperatur evaporator terendah 56 °C, laju kenaikan suhu yang stabil, dan efisiensi pelepasan panas yang tinggi. Sebaliknya, konfigurasi 4 lapis menghasilkan suhu evaporator tertinggi 63 °C, menandakan akumulasi panas akibat

Received: Juli 25, 2025; Revised: Juli 28, 2025; Accepted: August 28, 2025; Online Available: Juli 29, 2025; Published: Juli 29, 2025;
*Corresponding author, chandhuts200202@gmail.com

resistansi aliran yang tinggi. Konfigurasi 6 lapis menunjukkan performa sedang, dengan suhu akhir sekitar 60 °C dan adanya kecenderungan stagnasi akibat peningkatan hambatan kapiler.
***Kata kunci**: Evaporator, Loop Heat Pipe, Screen Mesh ,Start -Up, Sumbu ,Variasi Lapisan.*

LATAR BELAKANG

Salah satu cara mengatur termal adalah penggunaan Loop heat pipe dimana jenis ini merupakan salah satu jenis pendingin yang memanfaatkan sistem dua fase yang memiliki kemampuan memindahkan kalor yathang cukup tinggi(Setyawan et al., 2020) . Perpindahan kalor dua fase (boiling) lebih unggul dibandingkan perpindahan kalor satu fase yang menggunakan kalor sensibel dari cairan. Kalor laten penguapan misalnya air, adalah dua orde lebih besar dari kalor sensibel pada sistem pendingin satu fase yang berukuran sama(Setyawan et al., 2022)(Bai et al., 2019). Hal ini membuat perpindahan kalor dua fase unggul dalam hal kapasitas transportasi kalor. Selain itu efek boiling memberikan kemungkinan peningkatan penyerapan kalor per satuan volume cairan dan boiling juga menghasilkan koefisien perpindahan kalor jauh lebih besar berkisar 2,5-100 kW / m2-K. Dengan demikian, sistem pendingin dua fasa sangat baik dalam hal pembuangan fluks kalor tinggi, dengan superheating dan perpindahan kalor isotermal minimal dalam evaporatorf(Fathoni et al., 2025).

Loop Heat pipe (LHP) adalah perangkat perpindahan kalor dua fase yang efektif yang memanfaatkan penguapan dan kondensasi fluida kerja(Somers-Neal et al., 2024). Berbeda dari pipa kalor konvensional, pada LHP, evaporator dan kondensor disusun secara terpisah, dan terhubung oleh jalur uap dan jalur cairan menggunakan pipa halus. LHP dengan bagian lintasan fluida uap dan cairan yang berbeda memberikan suatu kinerja yang lebih besar dan pengaruh gaya gravitasi pada aliran relative kecil dimana dengan lintasan fluida kerja yang pada umumnya sangat kecil menjadikan LHP lebih fleksibel(Szymanski et al., 2021).

LHP memiliki potensi besar untuk digunakan dalam berbagai bidang seperti chip kepadatan daya tinggi, komputer laptop, pendingin avionik, sistem anti-icing pesawat terbang, pembangkit listrik tenaga nuklir, deicing jalan dan jembatan, instalasi surya, dan gudang komunikasi jarak jauh. Seiring berkembangnya kebutuhan efisiensi pada sistem Loop Heat Pipe (LHP), struktur kapiler atau *wick* structure memainkan peran penting dalam menentukan performa perpindahan kalor, terutama pada fase

start-up. Salah satu metode untuk meningkatkan performa *wick* adalah dengan memvariasikan jumlah lapisan screen mesh yang digunakan sebagai sumbu. Penambahan jumlah lapisan diyakini dapat meningkatkan tekanan kapiler dan distribusi fluida kerja di dalam evaporator, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kecepatan dan stabilitas proses start-up LHP(Ren et al., 2020)(Shafieian & Khiadani, 2020).

Penelitian oleh Huang et al(Wang et al., 2024). Menemukan bahwa penggunaan struktur sumbu multi-layer dapat memperbaiki distribusi fluida di dalam evaporator dan mengurangi waktu start-up pada kondisi beban kalor rendah.

Dengan mengacu pada temuan tersebut, penelitian ini memfokuskan pada pengaruh variasi jumlah lapisan sumbu screen mesh stainless steel 300, yaitu 2, 4, dan 6 lapis, terhadap fenomena start-up pada LHP. Kajian ini menjadi penting untuk mengetahui jumlah lapisan optimum yang memberikan kinerja awal terbaik, khususnya dalam sistem pemanas berbasis LHP yang beroperasi pada beban kalor rendah. Penelitian ini adalah untuk mengevaluasi fenomena start-up pada LHP , dan melihat bagiamana pengaruhnya terhadap waktu respons termal dan stabilitas temperatur sistem.

METODE PENELITIAN

Dalam studi ini, sebuah LHP dikembangkan dengan menambahkan sumbu screen mesh 300. Studi ini mencakup tahap desain, pembuatan, dan pengujian kinerja dari LHP.

2.1 Pembuatan LHP

Proses perancangan dan pembuatan sistem Loop Heat Pipe (LHP) skala laboratorium yang terdiri atas empat komponen utama, yaitu evaporator, kondensor, jalur uap dan jalur cairan (vapor and liquid lines), serta kompensasi ruang (compensation chamber). Pembuatan LHP dilakukan secara presisi guna memastikan performa termal yang stabil dan akurat selama pengujian fenomena start-up.

1. Evaporator

Evaporator dibuat dari pipa tembaga dengan diameter luar 32 mm, diameter dalam 30 mm, dan panjang total 500 mm. Di bagian dalam evaporator dipasang struktur sumbu

kapiler (*wick*) dari material screen mesh stainless steel 300 yang dilapiskan sebanyak 2, 4, dan 6 lapisan sesuai variasi pengujian. Panjang sumbu adalah 500 mm, sedangkan 90 mm pada sisi kanan sebagai ruang kompensasi, dan 10 mm di sisi kanan sebagai jalur uap.

2. Kondensor

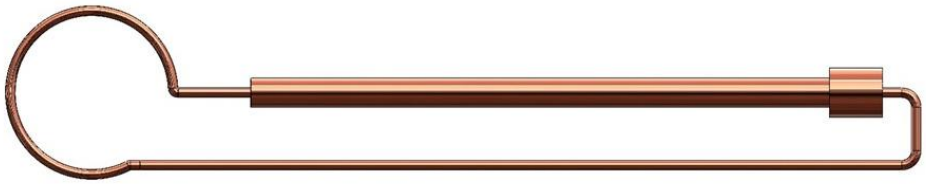
Kondensor dirancang sebagai penukar kalor tipe counter-flow yang menggunakan pipa tembaga diameter 10 mm. Pipa ini dibungkus oleh selongsong berisi air pendingin. Lubang inlet dan *out*let dengan diameter 10 mm dibuat untuk memastikan aliran air pendingin konstan selama proses kondensasi.

3. Jalur Uap dan Jalur Cairan

Evaporator dan kondensor dihubungkan oleh dua buah pipa kecil satu untuk jalur uap (vapor line), dan satu lagi untuk jalur cairan (liquid line). Kedua jalur ini dibuat dari pipa tembaga berdiameter 10 mm untuk meminimalkan tekanan jatuh dan mempercepat pergerakan fluida kerja antar komponen.

4. Ruang Kompensasi (Compensation Chamber)

Ruang kompensasi berada di bagian ujung evaporator, yang berfungsi sebagai reservoir fluida kerja. Dengan material tembaga berdiameter 42mm. Fungsinya adalah untuk menjaga kestabilan volume fluida selama proses start-up dan sirkulasi, serta mengakomodasi fluktuasi tekanan akibat perubahan fasa.

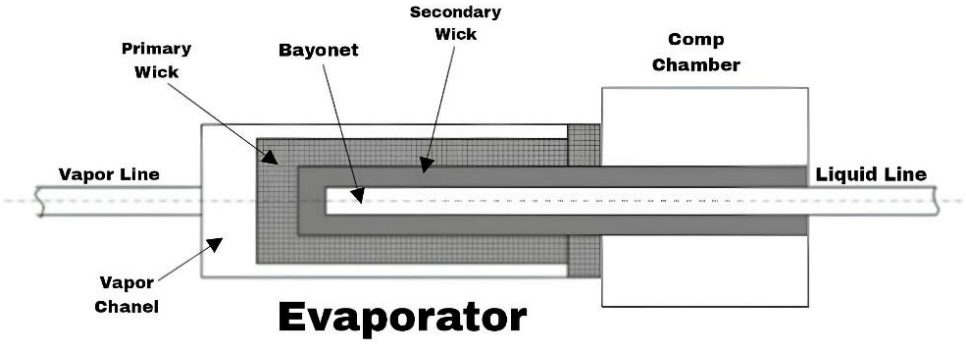


Gambar 1. Desain Loop Heat Pipe

2.1.1 Evaporator

Dalam penelitian ini pembuatan struktur kapiler copper sintered, dimana digunakan copper powder/serbuk tembaga dengan ukuran diameter partikel kurang lebih 100 µm. Serbuk tembaga tersebut kemudian dibentuk menjadi sumbu yang menyatu

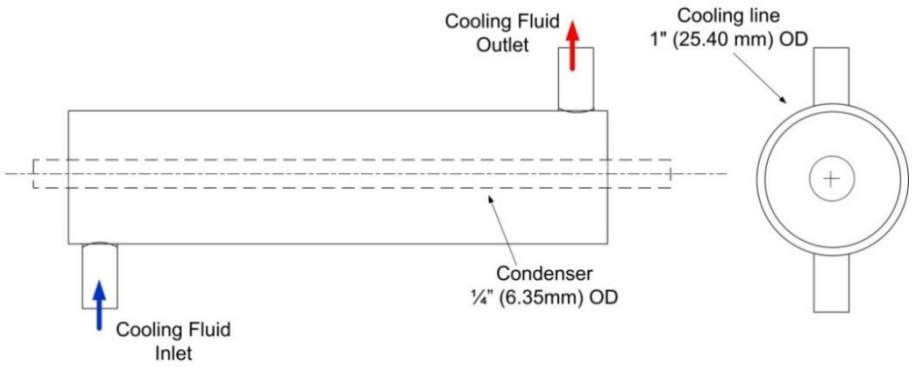
dengan *Evaporator*. Dimana, evaporator ini terbuat dari pipa tembaga dengan panjang 500mm, dengan masing-masing diameter dalam 31 mm dan diameter luar 32 mm dimana ketebalan struktur sumbu melapisi permukaan dinding dalam pipa sepanjang 500 mm. Sedangkan panjang yang tersisa 90 mm diujung sebelah kanan diisi sumbu sebagai ruang kompensasi camber dan diujung lainnya 5 mm juga dibiarkan kosong sebagai vapor channel. Selain itu, untuk memberikan ruang penguapan, maka pada sumbu diberikan seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Evaporator

2.1.2 Kondensor

Kondensor perlu dirancang sedemikian rupa sehingga mampu membuang semua masukan kalor pada evaporator yang telah diangkut ke kondensor dan selanjutnya mendinginkan cairan kerja yang menuju jalur cairan. diperlukan untuk menghindari pembentukan gelembung di dalam inti evaporator karena kalor konduksi dari ujung evaporator dan aliran balik konduksi melalui sumbu berpori. Karena itu, kondensor harus dirancang dengan baik(Widiantara et al., 2020)(Htoo et al., 2021). Desain kondensor dalam penelitian ini, adalah penukar kalor, pipa selinder konvensional sistem *counter-flow*. Desain ini kompak dan memiliki desain yang relatif sederhana. Dalam hal ini, cairan pendingin bersentuhan langsung dengan pipa kondensor sehingga sangat meningkatkan transfer kalor dari kondensor ke cairan. Dalam penelitian ini, air digunakan sebagai media pendingin kondensor. Dalam rancangannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, selongsong kondensor dibuat dari material pipa tembaga berukuran 32 mm dengan panjang 500 mm. Pada dinding ujung pipa dibuat 2 buah lubang sebagai tempat keluar masuknya pipa air pendingin berukuran 10 mm.

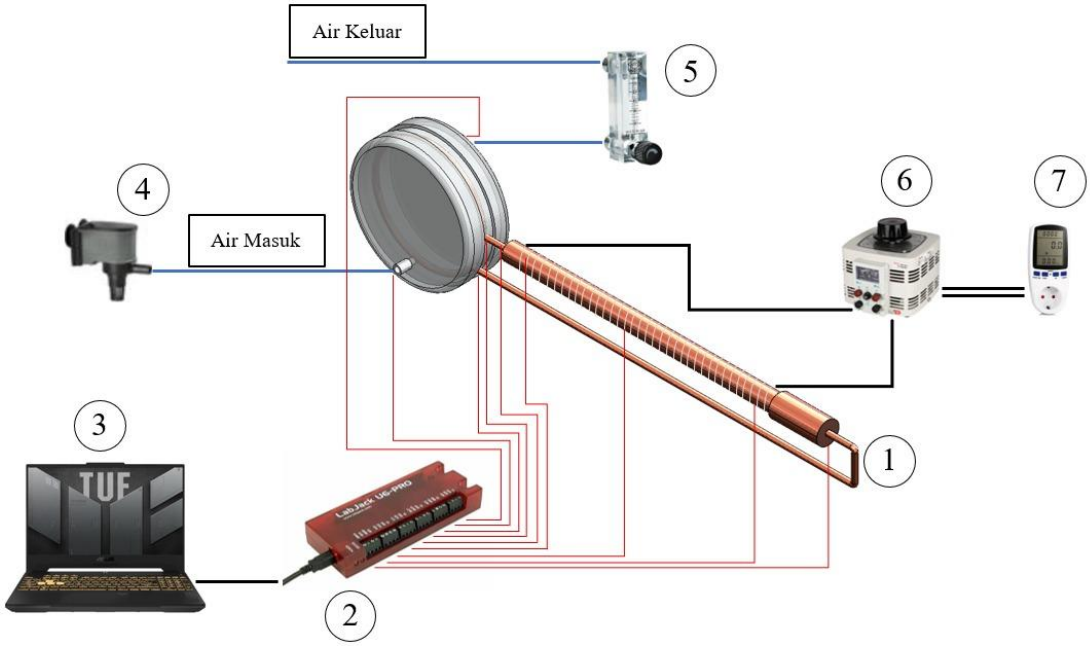


Gambar 3. Desain Kondensor

Untuk mengatur temperatur sink, Temperatur air pendingin dipertahankan pada suhu range 24-28° C selama pengujian.

2.2 Skematik Pengujian Kinerja LHP

Sebuah model 3-D dari sistem eksperimental disajikan pada Gambar 3.11. Pada eksprimen ini digunakan heater sebagai sumber kalor yang diatur dengan menggunakan AC power supply. Besarnya kalor yang mengalir pada bagian *evaporator* dihitung melalui penambahan simulator diantara bagian *evaporator* dengan heater. Kalor yang diserap akan ditransfer ke bagian kondensor melalui mekanisme kapiler dan selanjutnya dilepas pada bagian kondenser yang diserap oleh air dengan temperature 25^{o}C disupply dari dialirkan ke dalam chamber kondensor melalui pipa sirkular. Pada chamber tersebut terjadi pertukaran kalor antara fluida panas dalam pipe transfortasi LHP dengan air pendingin yang dialirkan ke dalam chamber. Pada LHP dibalut dengan bahan isolasi untuk mencegah terjadinya kalor yang terbuang ke lingkungan.



1 : Loop Heat Pipe
2 : Lab Jack U6-Pro
3 : Laptop / pc
4 : Pompa
5 : Flowmeter
6 : AC Voltage
7 : Watt Meter

Gambar 4. Skematik pengujian LHP

Untuk pengambilan data temperatur LHP saat pengujian, *thermocouple* tipe K dipasang pada sejumlah titik dalam sistem tersebut seperti pada gambar 3.9. Termokopel juga dipasang pada inlet dan *out*let evaporator masing-masing empat buah. Selanjutnya, pada vapor line, inlet dan *out*le condenser dan liquid line masing-masing satu buah. Begitu pula, pemasangan termokopel masing-masing satu buah.

Selanjutnya data yang terukur pada termokopel direkam dengan menggunakan Lab Jack. Adapun tekanan kerja LHP selama pengujian diukur dengan menggunakan pressure transmitter yang direkam dengan lab jack. Kemudian diolah dengan menggunakan software Labview.

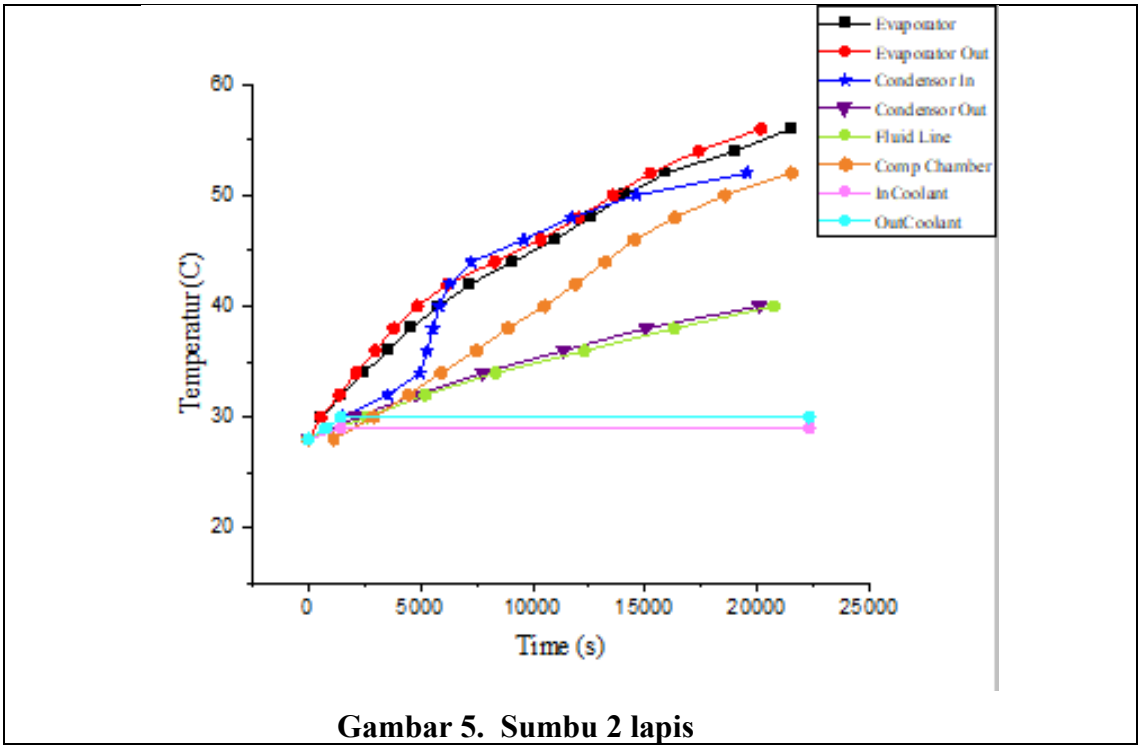
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini dilakukan dengan rasio pengisian, FR 60%. dan laju aliran air pendingin diatur dengan flowmeter 40 ml/menit.

2.2.1 Pengujian Start-up LHP

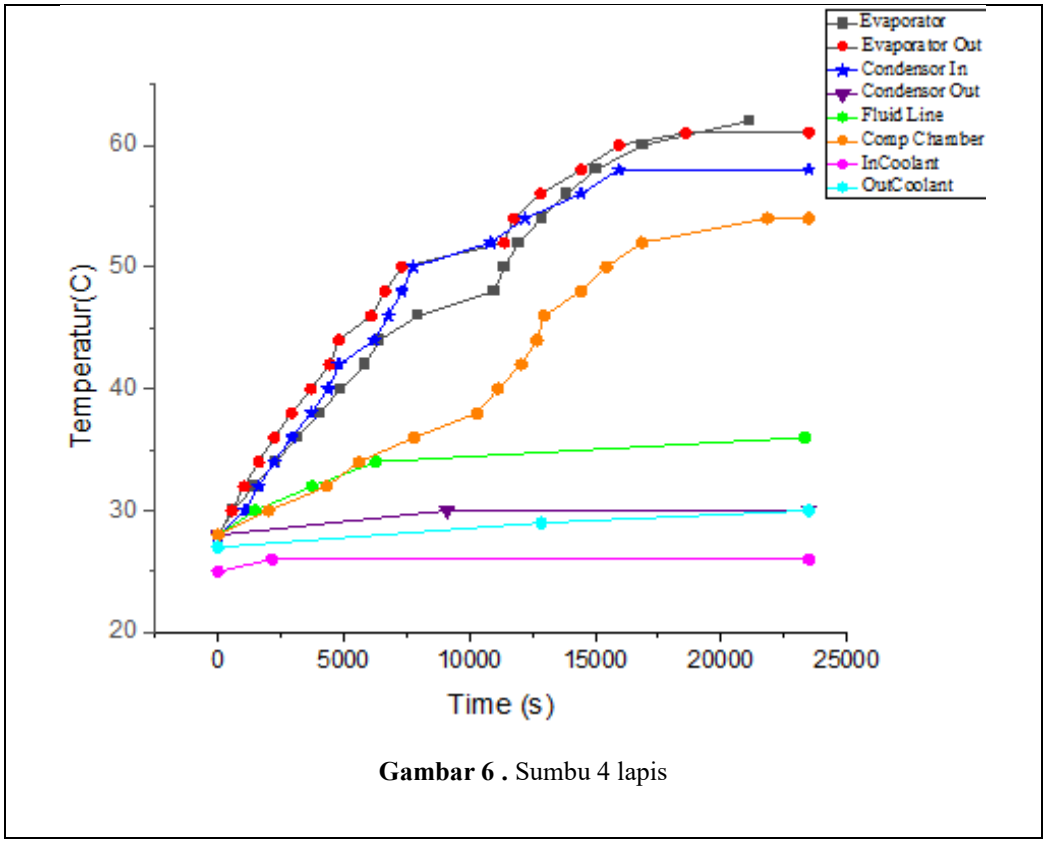
Kinerja start-up merupakan aspek krusial dalam pengoperasian Loop Heat Pipe (LHP). Pada sistem LHP yang berfungsi secara optimal, proses start-up seharusnya berlangsung secara cepat dan stabil(Song et al., 2021). Ketika beban panas diberikan pada evaporator, suhu dinding evaporator akan naik, memanaskan fluida kerja hingga mengalami penguapan. Peningkatan tekanan uap yang terjadi akan mendorong campuran dua-fasa dari ruang evaporator menuju jalur uap dan selanjutnya kekondensor. Lonjakan suhu secara tiba-tiba pada bagian inlet kondensor menandai terjadinya fenomena start-up dalam sistem tersebut.

Pada pengujian ini dilakukan dengan beban kalor 10 Watt dan memvariasikan jumlah lapisan sumbu screen mesh stainless steel 300, yaitu 2, 4, dan 6 lapis, terhadap fenomena start-up pada LHP. Dan bertujuan untuk mengetahui jumlah lapisan optimum yang memberikan kinerja awal terbaik, khususnya pada LHP yang beroperasi pada beban kalor rendah.



Gambar 5. Sumbu 2 lapis

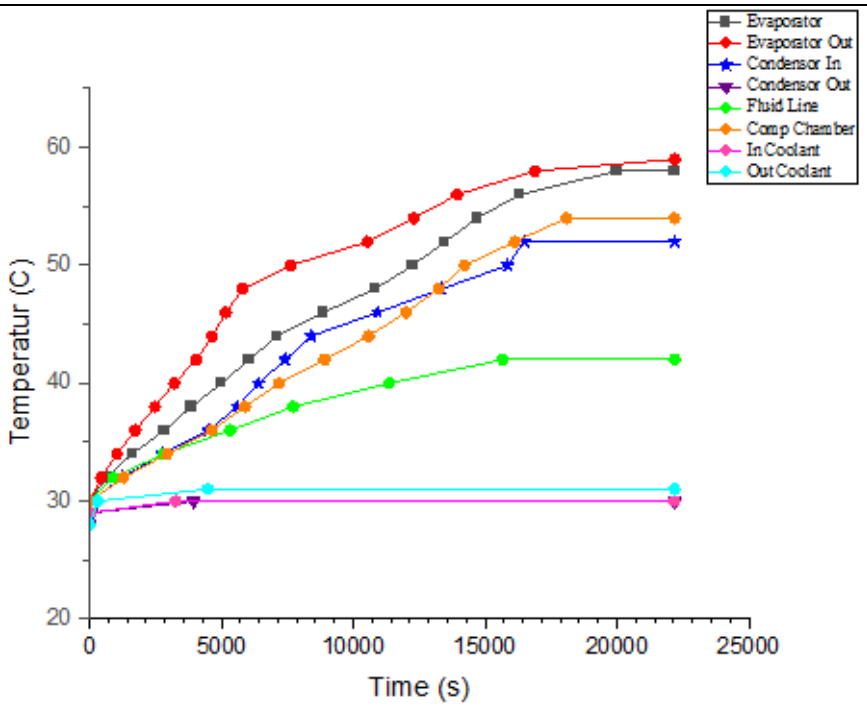
Gambar 5 menunjukkan perkembangan temperatur terhadap waktu pada berbagai titik pengukuran sistem Loop Heat Pipe (LHP) dengan konfigurasi sumbu kapiler screen mesh 2 lapis. Grafik ini memberikan pemahaman mengenai respon termal sistem LHP selama proses start-up dan menuju steady-state dalam kondisi beban kalor rendah. Kurva Evaporator dan Evaporator *Out* menunjukkan peningkatan suhu yang stabil dan progresif. Evaporator mengalami kenaikan dari 30°C hingga 56°C, sementara Evaporator *Out* meningkat hingga 54°C. Hal ini mencerminkan proses penyerapan panas yang konsisten, di mana fluida kerja menguap dalam evaporator, menghasilkan tekanan uap untuk mendorong sirkulasi. Kenaikan suhu yang stabil tanpa lonjakan tajam menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi perpindahan kalor yang terkendali, dengan kapasitas penyerapan kalor yang baik namun tidak berlebihan. Condensor In naik cepat di awal, mencapai 52°C, menandakan aliran uap dari evaporator berhasil mencapai kondensor. Condensor *Out* menunjukkan suhu yang lebih rendah, sekitar 40°C, dengan selisih konstan terhadap inlet. Selisih temperatur ini menunjukkan bahwa proses kondensasi berlangsung efektif, karena perpindahan panas dari uap ke fluida pendingin terjadi dengan baik, dan uap berubah fase menjadi cair secara efisien. Suhu Fluid Line berada dalam rentang 32 – 39°C, menunjukkan bahwa cairan kondensat yang kembali ke evaporator sebelum memasuki siklus kembali. Suhu Compensation Chamber mengalami peningkatan bertahap dari 30°C hingga 48°C. Ruang kompensasi bertugas menyimpan cadangan fluida kerja dan mengatur tekanan sistem. Kenaikan suhu menunjukkan adanya konduksi panas dari evaporator dan transfer energi selama perubahan fasa, namun tidak terjadi overheating, yang menandakan termal cukup stabil. Inlet Coolant dan *Out*let Coolant memiliki suhu konstan sekitar 29°C, dengan perbedaan yang sangat kecil.



Gambar 6 . Sumbu 4 lapis

Gambar 6 menunjukkan Temperatur Evaporator meningkat dari sekitar 28°C menjadi sekitar 62°C pada waktu ±20.000 detik. Temperatur Evaporator *Out* memiliki kurva yang hampir identik dengan Evaporator, sedikit lebih rendah -60°C, menunjukkan efisiensi transfer panas dari sumber kalor menuju fluida kerja.Kestabilan suhu setelah 18.000 detik menunjukkan bahwa sistem telah mencapai steady-state.Selisih yang kecil antara kedua titik ini mengindikasikan bahwa proses penguapan berjalan dengan optimal dan merata di sepanjang panjang evaporator. Condenser In meningkat tajam, mendekati 58°C, hampir setara dengan suhu evaporator, menandakan bahwa uap berhasil ditransfer dari evaporator dengan laju yang efisien dan konsisten. Condenser *Out* relatif lebih rendah, berada di kisaran 35–37°C, menunjukkan proses kondensasi berlangsung baik.Perbedaan suhu antara inlet dan *out*let kondensor mencerminkan efektivitas pelepasan kalor, Temperatur Fluid Line meningkat perlahan dari 29°C ke sekitar 36°C, mencerminkan fluida cair hasil kondensasi yang kembali ke evaporator mengalami kenaikan suhu moderat, namun tetap berada di bawah suhu saturasi. Stabilitas suhu pada jalur cair ini menandakan tidak adanya hambatan signifikan dalam aliran balik fluida kerja. Suhu pada Compensation

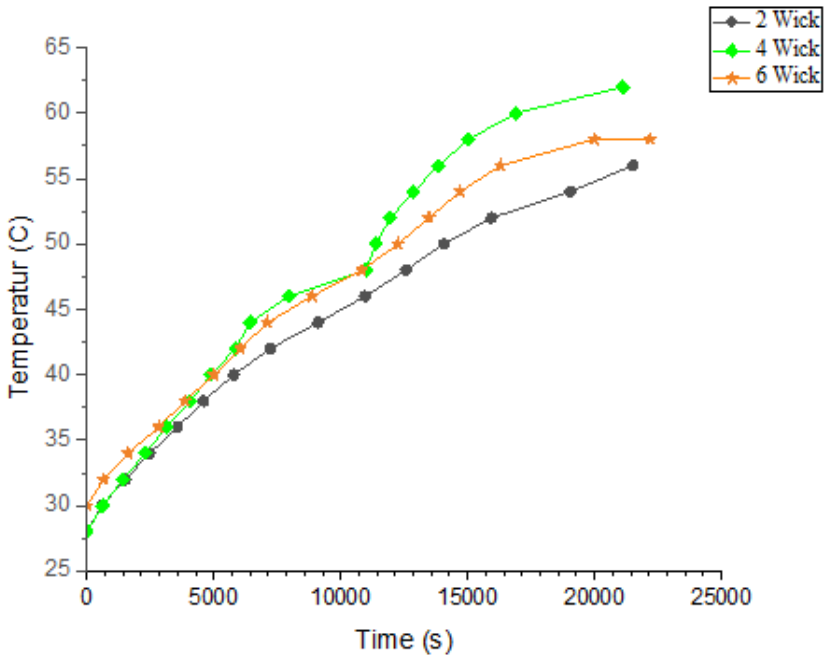
Chamber meningkat dari 29°C hingga mencapai 50°C pada akhir pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian panas merambat melalui konduksi dari evaporator dan sirkulasi fluida, namun suhu masih berada dalam batas aman. Peran ruang kompensasi sebagai reservoir fluida kerja tetap terjaga, dan tidak terjadi overheat , yang penting untuk kestabilan tekanan sistem. Temperatur InCoolant stabil di sekitar 27–28°C, dan *Out* Coolant sedikit lebih tinggi 30°C.



Gambar 7. Sumbu 6 lapis

Gambar 7 menunjukkan Suhu Evaporator meningkat dari 28°C hingga 57°C, sedangkan Evaporator *Out* mencapai 58°C dalam kurun waktu ±23.000 detik. Kenaikan suhu berlangsung secara bertahap dan cukup stabil, namun lebih lambat dibandingkan konfigurasi 4 lapis. Perbedaan suhu yang cukup kecil antara evaporator dan keluaran evaporator menunjukkan adanya transfer panas yang cukup baik dari permukaan dinding ke fluida kerja, namun belum sepenuhnya efisien. ini menunjukkan bahwa resistansi aliran meningkat akibat jumlah lapisan yang terlalu banyak, menghambat kelancaran sirkulasi dua-fase dan menyebabkan akumulasi panas lebih lama dalam evaporator. Suhu

Condenser *In* mencapai 52°C, sedangkan Condenser *Out* berada pada kisaran 36°C, menghasilkan selisih suhu sebesar 16°C. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses kondensasi tetap berlangsung cukup efektif, namun volume dan laju alir uap ke kondensor berkurang, Suhu *Fluid Line* meningkat dari 28°C menjadi sekitar 40°C, menandakan bahwa cairan kondensat kembali ke evaporator dalam kondisi subcooled ringan, namun suhu ini lebih tinggi dibandingkan konfigurasi sumbu 2 lapis. Hal ini menunjukkan bahwa resirkulasi fluida tetap terjadi, tetapi laju aliran balik mungkin terhambat oleh peningkatan resistansi dari struktur sumbu yang padat. Suhu Compensation Chamber meningkat secara signifikan dari 28°C ke 49°C, menunjukkan bahwa ruang kompensasi ikut menerima perpindahan panas dari evaporator, baik melalui konduksi maupun difusi uap. Suhu In Coolant tetap konstan pada 27–28°C, dan *Out* Coolant stabil pada 30°C.



Gambar 8. Perbandingan Temperatur Evaporator

Gambar 8 menunjukkan perbandingan temperatur evaporator terhadap waktu pada tiga konfigurasi sumbu kapiler Loop Heat Pipe (LHP), yaitu 2 lapis, 4 lapis, dan 6 lapis. Ketiga kurva menunjukkan pola kenaikan suhu yang progresif seiring waktu, dimulai dari suhu awal sekitar 28–30°C. Menunjukkan kenaikan suhu paling lambat dan stabil, dengan suhu

akhir sekitar 57°C pada 23.000 detik. Kestabilan suhu dan rendahnya nilai maksimum mengindikasikan bahwa fluida kerja mampu mentransfer panas secara efisien, dan sirkulasi dua-fasa berlangsung optimal tanpa overheat. 4 *Wick* Memiliki kenaikan suhu tercepat dan tertinggi, mencapai 64°C. Menunjukkan akumulasi panas lebih besar di evaporator. Suhu evaporator mencapai 60°C, lebih tinggi dari 2 *Wick* tetapi lebih rendah dari 4 *wick*. Laju kenaikan suhu relatif cepat di awal, namun melambat setelah 10.000 detik, mengindikasikan adanya resistansi aliran akibat kepadatan lapisan sumbu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengkaji fenomena start-up pada sistem Loop Heat Pipe (LHP) dengan memvariasikan jumlah lapisan screen mesh stainless steel 300 sebagai sumbu kapiler, yaitu 2, 4, dan 6 lapis, pada kondisi beban kalor rendah. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa variasi jumlah lapisan sumbu berpengaruh signifikan terhadap respons termal dan kestabilan temperatur evaporator selama proses start-up. Konfigurasi sumbu 2 lapis menunjukkan kinerja termal terbaik, dengan temperatur evaporator paling rendah dan stabil 56 °C pada 22.000 detik. Profil kenaikan suhu berlangsung perlahan dan konsisten, menandakan efisiensi panas yang tinggi dan resistansi aliran fluida kerja yang minimal. 4 lapis menghasilkan temperatur evaporator tertinggi, mencapai 63 °C. Meskipun tekanan kapiler meningkat, resistansi aliran fluida juga meningkat. Konfigurasi 6 lapis menunjukkan kinerja sedang, dengan suhu evaporator sekitar 60 °C dan laju kenaikan temperatur yang relatif stagnan setelah waktu tertentu. Peningkatan resistansi akibat banyaknya lapisan sumbu berdampak terhadap penurunan efisiensi sirk.ulasi fluida dan stabilitas sistem. Dari grafik perbandingan temperatur evaporator, terlihat bahwa jumlah lapisan sumbu memiliki dampak signifikan terhadap profil termal. Penambahan lapisan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan performa, karena dapat menimbulkan over-resistansi dan mengganggu kelancaran sirkulasi dua fasa.

DAFTAR REFERENSI

Bai, L., Fu, J., Lin, G., Zhou, C., & Wen, D. (2019). Quiet power-free cooling system enabled by loop heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, *155*(January), 14–23.

https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.147

Fathoni, A., Hendrayanto, P., Ramadhan, R., & Putra, N. (2025). *Optimalisasi pendinginan pasif dengan dual evaporator loop heat pipes: studi visualisasi dengan radiografi neutron*. *22*, 149–155. https://doi.org/10.71452/590646

Htoo, K. Z., Huynh, P. H., Kariya, K., & Miyara, A. (2021). Experimental Study on Thermal Performance of a Loop Heat Pipe with Different Working *Wick* Materials. *Energies*, *14*(9), 2453. https://doi.org/10.3390/en14092453

Ren, X., Yu, M., Zhao, X., Li, J., Zheng, S., Chen, F., Wang, Z., Zhou, J., Pei, G., & Ji, J. (2020). Assessment of the cost reduction potential of a novel loop-heat-pipe solar photovoltaic/thermal system by employing the distributed parameter model. *Energy*, *190*, 116338. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116338

Setyawan, I., Putra, R. M., Ridwan, & Mulyanto, T. (2022). Analisis Kinerja Termal Dari Straight Heat Pipe Dengan Sumbu Screen Mesh Pada Sudut Kemiringan Yang Berbeda. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, *27*(3), 213–225. https://doi.org/10.35760/tr.2022.v27i3.7561

Setyawan, I., Riawan, S. R., Sari, S. P., & Ridwan. (2020). Analisis Kinerja Pipa Kalor Lurus Menggunakan Sumbu Kapiler Screen Mesh 300 Dengan Memvariasikan Filling Rasio. *Jurnal ASIIMETRIK: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, *2*(2), 133–138. https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v2i2.1470

Shafieian, A., & Khiadani, M. (2020). Integration of heat pipe solar water heating systems with different residential households: An energy, environmental, and economic evaluation. *Case Studies in Thermal Engineering*, *21*(May), 100662. https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100662

Somers-Neal, S., Tomita, T., Watanabe, N., Ueno, A., & Nagano, H. (2024). Experimental investigation of a 10 kW-class flat-type loop heat pipe for waste heat recovery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *231*, 125865. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125865

Song, W., Xu, Y., Xue, L., Li, H., & Guo, C. (2021). Visualization experimental study on silicon-based ultra-thin loop heat pipe using deionized water as working fluid. *Micromachines*, *12*(9), 1–16. https://doi.org/10.3390/mi12091080

Szymanski, P., Law, R., M^{c}Glen, R., & Reay, D. (2021). Recent Advances in Loop Heat Pipes with Flat Evaporator. *Entropy*, *23*(11), 1374. https://doi.org/10.3390/e23111374

Wang, H., Lin, G., Guo, Y., Shen, X., Zhao, W., & Bai, L. (2024). Experimental investigation on the performance of a high capacity dual compensation chamber loop

heat pipe under the effect of acceleration. *Case Studies in Thermal Engineering*, *61*, 105013. https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105013

Widiantara, K. odik, Septiadi, W. N., & Astawa, K. (2020). Pengaruh Temperatur Double Dan Single Kondensor Cascade Straight Heat Pipe Pendingin CPU. *Jurnal METTEK*, *5*(2), 90. https://doi.org/10.24843/mettek.2019.v05.i02.p05