



ANALISIS KINERJA PIPA KALOR LURUS MENGGUNAKAN SUMBU KAPILER SCREEN MESH 300 DENGAN MEMVARIASIKAN FILLING RASIO

Performance Analysis of Straight Heat Pipe Using Screen Mesh 300 Capillary Wick by Varying Filling Ratios

Iwan Setyawan*, Sandy Reynaldy Riawan, Sri Poernomo Sari dan Ridwan
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Jalan Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Indonesia

Informasi artikel

Diterima: 25/05/2020
Direvisi : 02/06/2020
Disetujui: 24/06/2020

Abstrak

Pipa kalor merupakan salah satu jenis pendingin yang memanfaatkan sistem dua fase yang memiliki kemampuan memindahkan kalor yang cukup tinggi. Perangkat ini tidak mengkonsumsi energi mekanik dan kinerja termal tergantung pada struktur sumbu. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat pipa kalor lurus tembaga dengan sumbu kapiler Screen Mesh 300 sebanyak 6 layer. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan memvariasikan filling rasio, FR 40%, 60% dan 80%. Pengambilan data diambil menggunakan *data acquisition Labjack U6 Pro*. Termokopel ditempatkan di beberapa titik kemudian diolah dengan sistem *labview*. Dari hasil penelitian, didapatkan temperatur *steady* evaporator tertinggi dengan Filling Rasio 40% pada beban kalor 10W sampai 175W. Untuk FR 80% menghasilkan temperatur evaporator yang paling rendah pada beban kalor 10W hingga 100W. Untuk beban kalor yang lebih tinggi 175W hingga 275W, FR 60% menghasilkan temperature evaporator terendah diantara FR 40% dan FR 80%. Selanjutnya, tahanan termal pada FR 80% menghasilkan nilai terbesar untuk semua beban kalor. Sedangkan FR 60% menghasilkan tahanan termal yang hampir sama dengan dengan FR 80% untuk beban kalor 25W hingga 275W. Namun demikian pada beban kalor 10W, FR 60% menghasilkan tahanan termal yang lebih rendah diantara FR40% dan FR 80%. Dengan demikian, dari hasil temperatur dan tahanan termal untuk pipa kalor dengan range beban kalor yang lebih luas, FR 60% menghasilkan kinerja terbaik dibandingkan FR 80% dan FR 40%.

Kata Kunci: *filling rasio, kinerja, pipa kalor, screen mesh.*

Abstract

The heat pipe is a type of cooling that utilizes a two-phase system that has the ability to move the heat quite high. This device does not consume mechanical energy and thermal performance depends on the wick structure. The purpose of this study was to create 6 layers of straight copper heat pipe with a Screen Mesh 300 capillary wick. In this study, testing by varying the filling ratio, FR 40%, 60% and 80%. Retrieval of data taken using Labjack U6 Pro data acquisition. Thermocouples are placed at several points and then processed by the LabView system. From the results of the study, the highest evaporator temperature was obtained with FR 40% at heat loads of 10W to 175W. For FR 80% produces the lowest evaporator temperature at heat loads of 10W to 100W. For higher heat loads 175W to 275W, FR 60% yields the lowest evaporator temperature between FR 40% and FR 80%. Furthermore, thermal resistance at FR 80% produces the greatest value for all heat loads. Whereas FR 60% produces thermal resistance which is almost the same as FR 80% for heat loads from 25W to 275W. However, at a 10W heat load, FR 60% produces lower thermal resistance between FR40% and FR 80%. Thus, from the results of temperature and thermal resistance for heat pipes with a wider range of heat loads, FR 60% produces the best performance compared to FR 80% and FR 40%.

Keywords: *filling ratio, performance, heat pipe, screen mesh.*

*Penulis Korespondensi. Handphone: 0853 8158 4323
email : iwan_s@staff.gunadarma.ac.id

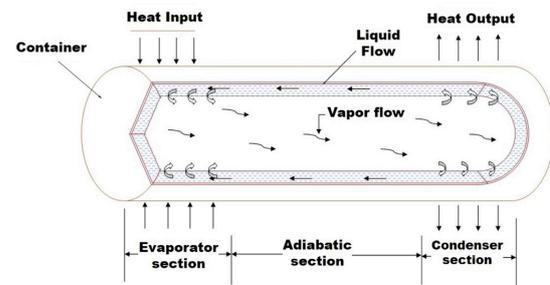
1. PENDAHULUAN

Hampir seluruh produk teknologi yang menghasilkan fluks kalor pada proses operasionalnya, dilengkapi dengan sistem manajemen termal. Produk ini misalnya device elektronik, BTS, sistem pembangkit listrik ataupun teknologi baterai lithium (Putra dan Septiadi, 2014). Salah satu cara mengatur termal adalah penggunaan pipa kalor, dimana jenis ini merupakan salah satu jenis pendingin yang memanfaatkan sistem dua fase yang memiliki kemampuan memindahkan kalor yang cukup tinggi. Pendinginan dua fase terbukti menjadi solusi termal yang sangat efektif untuk system pendinginan dibandingkan dengan cairan satu fase (Setyawan, 2018).

Pipa kalor adalah perangkat pemindah kalor yang memiliki kemampuan pemindahan kalor yang tinggi. Perangkat ini tidak mengkonsumsi energi mekanik dan kinerja termal tergantung pada struktur sumbu, fluida kerja dan fluks panas yang diterapkan. Fenomena perubahan fasa fluida kerja memainkan dampak besar pada kinerja termalnya. Bagian evaporator pada pipa kalor digunakan untuk menyerap kalor. Penyerapan kalor mengakibatkan perubahan fase dari fluida kerja menjadi uap (Putra et al., 2016; Ramachandran et al., 2014). Pada pipa kalor berisi fluida kerja yang berfungsi sebagai fluida penghantar kalor dari ujung sisi panas (evaporator) ke ujung yang lain yaitu pendingin (kondensor). Secara umum, pipa kalor diproduksi menggunakan bahan logam yang kaku karena keuntungan dari pembuatan sederhana, konduksi panas tinggi dan kinerja kerja yang baik. Jenis bahan yang digunakan untuk membuat pipa tersebut biasanya terbuat dari aluminium, tembaga, dan tembaga berlapis nikel. Pada bagian dalam dinding pipa kalor tersebut berisi sumbu kapiler (*wick*) berupa *sintered powder*, *screen mesh* atau *groove* yang berfungsi sebagai jalur fluida dan pompa kapiler dari cairan. Mereka sering disebut sebagai "superkonduktor" kalor karena mereka memiliki kapasitas dan kecepatan perpindahan kalor yang luar biasa dengan hampir tidak ada kehilangan kalor (Huang et al., 2020; Zohuri, 2016).

Pipa kalor terdiri dari tiga bagian yaitu evaporator adiabatik dan kondensor. Evaporator berada pada salah satu ujungnya dimana panas diserap dan cairan diuapkan. Kemudian bagian adiabatik, dan kondensor yang terletak pada ujung lainnya dimana kalor dilepaskan. Sumbu kapiler digunakan

untuk jalur cairan dari kondensor menuju evaporator. Cairan bergerak atas prinsip kerja kapiler. Setelah fluida menguap di bagian evaporator, maka uap tersebut mengalir menuju bagian kondensor. Selanjutnya mengalami penurunan suhu di kondensor sehingga uap berubah menjadi cairan. Selanjutnya cairan atau kondensat ini akan mengalir kembali ke sisi panas (evaporator) dan prosesnya akan berulang secara terus menerus (Bumataria et al., 2019; Setyawan, 2018).



Gambar 1 Pipa Kalor

Prinsip fisika tekanan, termodinamika dan fluida menjadi dasar kerja pipa kalor dimana pada tekanan tertentu, cairan akan menguap sementara uap akan mencair pada temperatur tertentu (temperatur jenuh), sehingga akan terjadi pengaturan tekanan di dalam pipa kalor, pipa yang akan mengatur temperatur kerja dan terjadi perubahan fase dari cair ke uap dan uap ke cair (lihat gambar 1). Pada temperatur tertentu, jumlah energi panas yang diserap ketika cairan menguap akan sama dengan jumlah energi panas yang dilepaskan ketika uap berkondensasi (Wahyu, 2016).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *filling* rasio dan tahanan termal pada pipa kalor, adalah sebagai berikut:

1. Filling Rasio

Filling Rasio adalah rasio pengisian fluida kerja di dalam pipa kalor yang diekspresikan sebagai rasio antara fluida kerja dengan volume evaporator (Faghri, 2014).

$$FR = \frac{V_{liq}}{V_{evap}} \quad (1)$$

Dimana, V_{liq} = Volume liquid yang dimasukkan (ml); V_{evap} = Volume evaporator (ml).

2. Tahanan Termal

Secara umum tahanan termal (Thermal Resistance) dapat menggunakan persamaan berikut ini (Huang et al., 2020).

$$R_{th} = \frac{T_e - T_c}{Q} \quad (2)$$

Dimana R_{th} = Tahanan Termal ($^{\circ}\text{C}/\text{w}$); T_e = Temperatur Evaporator ($^{\circ}\text{C}$); T_c = Temperatur Condensor ($^{\circ}\text{C}$); Q = Heat Load (Watt)

Persamaan ini digunakan mencari tahanan termal yang merupakan salah satu ukuran kinerja pipa kalor. Dimana pada penelitian ini akan menginvestigasi kinerja sebuah pipa kalor lurus yang dibuat dengan menggunakan sumbu kapiler *screen mesh*.

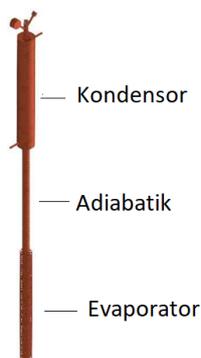
2. METODOLOGI

Pembuatan Pipa Kalor Lurus

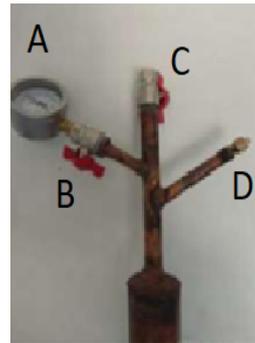
Konsep rancangan pipa kalor lurus diterapkan seperti pipa kalor lurus pada umumnya. Pipa kalor ini terdiri dari pipa tembaga yang memiliki diameter 25,4 mm dengan tebal pipa 1 mm serta panjang 1500 mm sebagai kontainer dan sumbu kapiler menggunakan enam lapis *screen mesh* no 300. *Screen mesh* yang digunakan adalah no 300 dengan ukuran pori 44 micron.

Pada pembuatan kontatiner dilakukan dengan pemotongan pipa tembaga 1 inch dengan panjang 1.5 m menggunakan *tubing cutter*. Pada container ini terdapat tiga bagian yaitu evaporator, adiabatik dan kondensor dengan ukuran 500 mm masing-masing bagian seperti terlihat pada gambar 2. Pada bagian atas container diberi jalur khusus untuk pengukuran tekanan internal dan sebagai jalur untuk melakukan pemakuman pada sistem seperti terlihat pada gambar 3.

Pada bagian kondensor terdapat komponen pendingin yaitu water jacket. Terdapat pula sebuah inlet dan sebuah outlet yang berfungsi untuk keluar masuknya fluida pendingin. Fluida pendingin yang digunakan adalah air dengan temperatur ruangan. Suplai air berasal dari penampungan air berupa reservoir.



Gambar 2 Desain Pipa Kalor Lurus

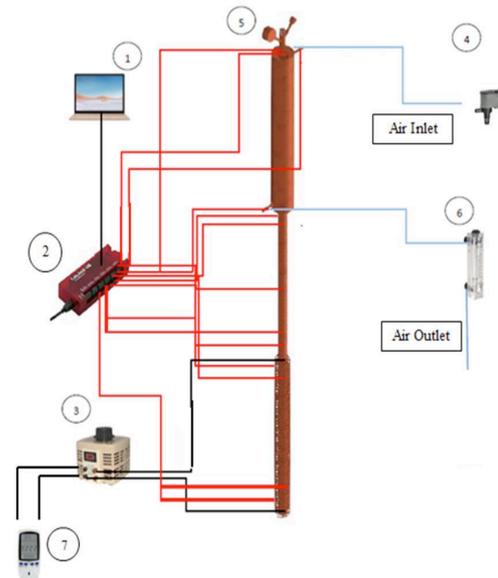


Keterangan:
 A : *Pressure gauge compound*
 B : *On-off valve*
 C : Valve untuk pengisian fluida kerja fluida
 D : *Nipple* digunakan untuk jalur vakum

Gambar 3 Detail Pressure Gauge dan Jalur Vacuum

Skematik Pengujian

Skematik pengujian ditunjukkan pada gambar 4. Daya yang dimasukkan ke *heater* diatur oleh *voltage regulator* AC. Besarnya arus diukur dengan *clamp* meter. Kemudian coolant dari reservoir disirkulasikan pada kondenser dengan menggunakan pompa celup. *Coolant* dikondisikan pada temperature ruangan. Sedangkan laju aliran massa *coolant* diukur oleh rotameter. Pengukuran temperatur bagian yang penting pada alat eksperimen ini, menggunakan data aqisisi.



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

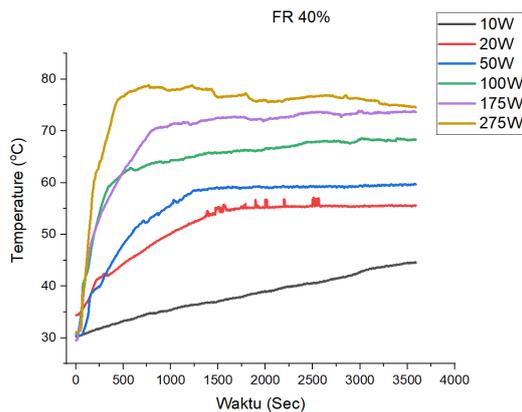
Gambar 4 Skematik Pengujian

Pengambilan data temperatur pipa kalor pengujian dilakukan pada 3 bagian utama yaitu Evaporator, Adiabatic dan Kondenser. Pengukuran dibagi menjadi 14 titik, dimana 6 titik pengukuran pada evaporator, 1 titik pada bagian adiabatic, 4 titik pada kondensor, dan 1 titik pada inlet dan 1 titik pada outlet serta 1 titik untuk lingkungan sekitar. Untuk mencegah kebocoran kalor ke lingkungan, maka alat eksperimen diisolasi menggunakan *Rockwool*. Pada pengujian ini, menggunakan fluida kerja aquades dengan variasi filling rasio 40%, 60% dan 80%. Adapun beban kalor yang diberikan pada evaporator, divariasikan pada 10W, 25W, 50W, 100W, 175W dan 275W. Pada bagian Kondensor dialiri air coolan dengan suhu berkisar 28°C - 30°C dengan debit aliran 150 ml/menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur Evaporator

Pada gambar 5, terlihat pada grafik bahwa ketika beban kalor diberikan, temperatur fluida kerja meningkat dengan cepat kemudian keadaan steady tercapai. Hal tersebut terjadi karena pada saat penyerapan kalor di evaporator, fluida kerja berubah fase menjadi uap. Selanjutnya uap bergerak menuju kondenser kemudian mengalami kondensasi pada Kondenser.



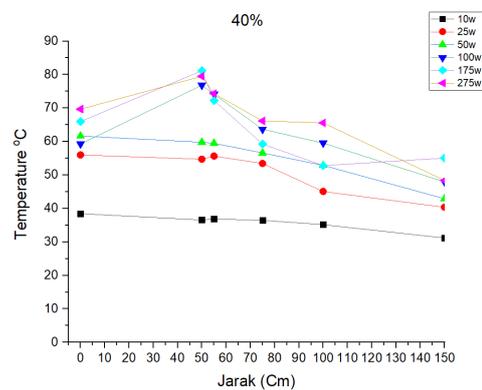
Gambar 5 Temperature evaporator terhadap waktu FR 40%

Pada grafik terlihat bahwa kenaikan temperature pada bagian evaporator ketika *startup*, memiliki gradien kenaikan temperatur yang berbeda. Semakin besar beban kalor yang diaplikasikan, semakin besar pula gradien kenaikan temperatur. Selain itu untuk mencapai nilai temperatur *steady*, terlihat bahwa makin besar beban kalor, keadaan *steady* semakin cepat tercapai. Pada grafik terlihat, untuk FR 40%,

evaporator pipa kalor mencapai kondisi temperatur *steady* tercepat pada beban kalor 275W. Untuk beban kalor terkecil 10W, kondisi *steady* bahkan belum tercapai. Hal ini terjadi karena semakin besar beban kalor, maka penguapan semakin cepat kemudian segera mengaktifkan siklus kerja dari pipa kalor.

Distribusi Temperatur Pipa Kalor

Distribusi temperatur dengan pembacaan dinding luar pipa kalor di berbagai titik pada evaporator, adiabatic dan kondenser. Distribusi temperatur pada bagian tersebut merepresentasikan temperature dan pergerakan fluida kerja di pada pipa kalor. Pada gambar 6, grafik terlihat profil temperatur dinding pada evaporator bergerak menuju kondenser semakin menurun. Hal ini terjadi karena kalor dilepaskan pada bagian kondenser. Pada grafik tersebut terlihat semakin besar beban kalor yang diberikan ke bagian evaporator, maka perbedaan temperatur sepanjang pipa kalor semakin besar. Hal ini terjadi karena perbedaan laju penguapan fluida kerja di evaporator semakin besar dibandingkan dengan laju kondensasi fluida kerja di kondenser. Akibat perbedaan laju penguapan dan kondensasi menyebabkan temperatur di bagian evaporator terus meningkat karena fluida kerja di evaporator semakin berkurang.



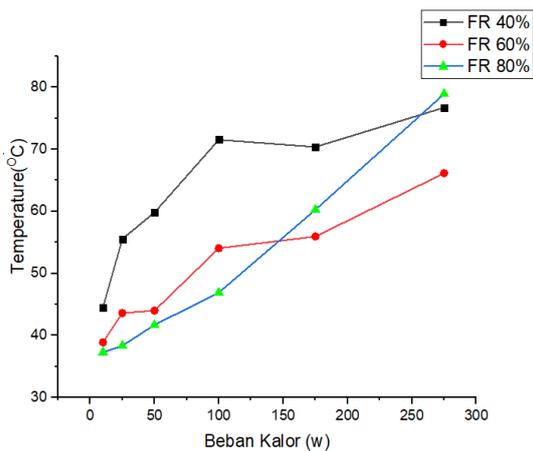
Gambar 6 Distribusi Temperature FR 40%

Gelembung uap dapat terbentuk disekitar dinding bagian dalam evaporator saat *critical heat flux*. Gelembung uap mengurangi kontak antara fluida kerja yang berupa cairan dengan dinding evaporator. Akibatnya semakin banyak gelembung uap yang menempel pada dinding bagian dalam evaporator, semakin mengurangi perpindahan kalor dari dinding evaporator ke

fluida kerja karena konduktivitas termal uap lebih rendah dari cairan. Selanjutnya, dilihat dari temperature kondensor, tidak jauh berbeda dengan temperature evaporator. Hal ini terjadi karena debit aliran cairan pendingin yang relatif kecil sehingga temperatur kondensor juga meningkat.

Pengaruh Filling Ratio

Pada Gambar 7, merupakan grafik temperature evaporator steady pipa kalor dengan variasi filling rasio, FR 40%, 60% dan 80%. Beban kalor yang diterapkan, divariasikan pada 10W, 25W, 50W, 100W, 175W dan 275W. Pada grafik untuk semua variasi FR, terlihat bahwa dengan naiknya beban kalor, naik pula temperature evaporator. Pada grafik menunjukkan bahwa untuk beban kalor 10W sampai 100W, temperatur evaporator semakin turun dengan naiknya FR. Kemudian dapat dilihat bahwa FR 40% menghasilkan temperatur kerja evaporator tertinggi pada beban kalor 10W sampai 175W. Namun demikian, ketika beban kalor dinaikkan ke 175W, terlihat bahwa temperatur evaporator 80% lebih tinggi dari pada FR 60%. Selanjutnya ketika beban kalor dinaikkan lagi ke 275W, temperatur evaporator untuk FR 80% melampaui temperatur evaporator FR 60% dan FR 40%.



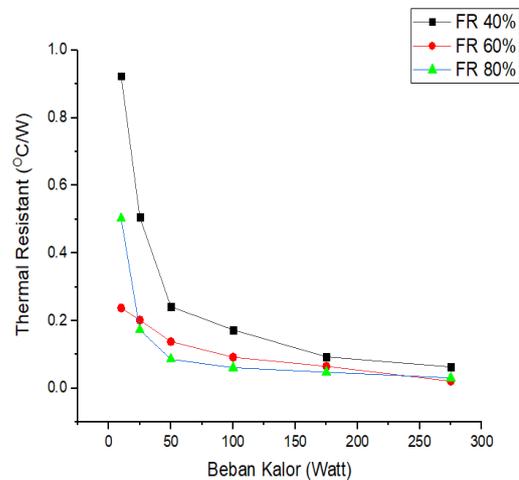
Gambar 7 Temperatur Evaporator Versus Waktu

Penomena ini bisa dijelaskan, bahwa kinerja terbaik untuk FR 40% dan 60% terjadi pada beban kalor 100W hingga 175W. Kinerja ini diindikasikan dengan temperatur evaporator yang hampir sama walaupun beban kalor dinaikkan dari 100W ke 175W. Adapun untuk FR 80%, temperatur evaporator tetap konsisten meningkat

dengan naiknya beban kalor. Dari grafik dapat dilihat bahwa FR yang optimal adalah FR 60%. Dimana pada FR 60%, menghasilkan uap yang paling banyak, sehingga sirkulasi fluida kerja pipa kalor berlangsung dengan baik.

Analisis Hambatan Termal Pipa Kalor Pada Berbagai Filling Rasio

Gambar 8, merupakan grafik tahanan termal pipa kalor dengan variasi filling rasio 40%, 60% dan 80% dengan variasi beban kalor 10W, 25W, 50W, 100W, 175W dan 275W. Grafik menunjukkan tahanan termal pipa kalor semakin rendah seiring dengan bertambahnya beban kalor. Hasil ini sesuai dengan kecenderungan khas *heat pipe* yaitu tahanan termal menurun mengikuti kenaikan beban kalor yang diaplikasikan pada evaporator. Hal ini disebabkan oleh keuntungan penggunaan air dimana nilai *merit* meningkat pada beban kalor yang lebih tinggi (Setyawan et al., 2019).



Gambar 8. Tahanan Termal Pipa Kalor

Pada pembebanan rendah, jumlah uap yang ditransport dari evaporator ke kondenser sedikit. Pada beban kalor yang lebih besar, jumlah uap yang ditransport ke kondenser semakin besar. Pada grafik terlihat bahwa FR 40% menghasilkan tahanan termal yang terbesar diantara FR 60% dan FR 80%. Pada beban kalor 25W, 50W, 100W dan 175W, tahanan termal terendah terjadi pada FR 80%. Namun demikian FR 60% menghasilkan tahanan termal yang juga hampir sama dengan dengan FR 80% untuk beban beban kalor 25W hingga 275W. Sedangkan untuk beban rendah 10W, FR 60% menghasilkan tahanan termal yang paling rendah.

4. SIMPULAN

Dari penelitian pipa kalor dengan berbagai variasi filling rasio FR, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu untuk beban kalor 10W hingga 100W, FR 80% memberikan kinerja yang lebih baik. Untuk beban kalor yang lebih tinggi 175W hingga 275W, FR 60% menghasilkan kinerja yang paling baik dibandingkan, FR 80% dan FR 40% yang diindikasikan dengan temperature evaporator yang lebih rendah.

Demikian pula tahanan termal pada FR 60% menghasilkan tahanan termal yang hampir sama dengan dengan FR 80% untuk beban kalor 25W hingga 275W. Namun demikian pada beban kalor 10W, FR 60% menghasilkan tahanan termal yang lebih rendah diantara FR40% dan FR 80%. Dengan demikian, dari hasil temperatur dan tahanan termal untuk pipa kalor dengan range beban kalor yang yang lebih luas, FR 60% menghasilkan kinerja terbaik dibandingkan FR 80% dan FR 40%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bumataria, R.K., Chavda, N.K. and Panchal, H., 2019. Current research aspects in mono and hybrid nanofluid based heat pipe technologies. *Heliyon*, 5(5), p.e01627.
- Faghri, A., 2014. Heat pipes: review, opportunities and challenges. *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*, 5(1).
- Huang, J., Zhou, W., Xiang, J., Liu, C., Gao, Y., Li, S. and Ling, W., 2020. Development of novel flexible heat pipe with multistage design inspired by structure of human spine. *Applied Thermal Engineering*, p.115392.
- Putra, N., Setyawan, I. and Raditya, D., 2016. Experimental investigation on contact angle of sintered copper powder wick. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 819, pp. 575-579). Trans Tech Publications Ltd.
- Putra, N. and Septiadi, W.N., 2014. Teknologi Pipa Kalor Teori, Desain, dan Aplikasi. Jakarta: UI-Press.
- Ramachandran, R., Ganesan, K., Rajkumar, M.R., Asirvatham, L.G. and Wongwises, S., 2016. Comparative study of the effect of hybrid nanoparticle on the thermal performance of cylindrical screen mesh heat pipe. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, pp.294-300.
- Setyawan, I., Putra, N., Hakim, I.I. and Irwansyah, R., 2019. Development of hybrid loop heat pipe using pump assistance for cooling application on high heat flux device. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(8), pp.3685-3694.
- Setyawan, I., 2018. Pengembangan *Hybrid Loop Heat Pipe* Untuk Aplikasi Pendinginan *Device* Berfluks Kalor Tinggi. Disertasi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Setyawan, I., Putra, N. and Hakim, I.I., 2018. Experimental investigation of the operating characteristics of a hybrid loop heat pipe using pump assistance. *Applied Thermal Engineering*, 130, pp.10-16.
- Wahyu, D., 2016. Experimental study of heat pipe for solar collector heater. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), pp.06-14.
- Zohuri, B., 2016. *Heat pipe design and technology: Modern applications for practical thermal management*. Springer.