

# Analisis Kinerja Thermal Sistem *Heat Pipe* Air Conditioning (HPAC) Pada Model *Heat Pipe* Type Konvensional Dipasang Secara Vertikal

I Kadek Adi Semara Jaya, Wayan Nata Septiadi, Made Ricki Murti  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

---

## Abstrak

*Heat pipe* merupakan alat penyerap panas pasif, *heat pipe* bekerja tanpa memerlukan alat bantu, hanya memerlukan perbedaan temperatur dikedua ujung pipa, *heat pipe* yang digunakan memiliki panjang 71 cm dan diameter 1 cm. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja thermal yang dimiliki oleh pipa *heat pipe*, dengan variasi temperatur yang digunakan 20°C, 18°C dan 16°C. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan, pemasangan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara HPAC, sangat mempengaruhi temperatur udara masuk. Penurunan temperatur diakibatkan oleh, terjadinya penguapan cairan yang berada didalam ujung *heat pipe* evaporator, uap akan mengalir ke ujung *heat pipe* kondensor, sehingga terjadinya perpindahan panas yang diakibatkan oleh aliran uap tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan pada sistem pengkondisian tanpa menggunakan *heat pipe*, beban pendinginan yang dibutuhkan sebesar 7,975 kW, 8,474 kW dan 8,972 kW, sedangkan dengan pemasangan *heat pipe*, beban pendinginan yang dibutuhkan sebesar 6,978 kW, 7,477 kW dan 7,975 kW.

Kata kunci : Pipa kalor, vertikal, beban pendinginan

## Abstract

*The heat pipe is a passive heat absorber, heat pipe work without requiring tools and only requires a temperature difference on both ends of the pipe, the heat pipe used has a length of 71 cm and a diameter of 1 cm. This study aims to test the thermal performance of heat pipe pipes, with temperature variations used by 20°C, 18°C and 16°C. Based on the test results, it can be concluded that the installation of heat pipes in the HPAC air conditioning system greatly affects the air intake temperature. The decrease in temperature is caused by the occurrence of evaporation of liquid inside the tip of the heat pipe evaporator, steam will flow to the tip of the condenser heat pipe, so that the heat transfer caused by the steam flow. Based on the results of calculations on the conditioning system without using a heat pipe, the required cooling load is 7,975 kW, 8,474 kW and 8,972 kW, while with the installation of heat pipes, the required cooling load is 6,978 kW, 7,477 kW and 7,975 kW.*

Keywords: heat pipe, vertical, cooling load

---

## 1. Pendahuluan

Sistem pengkondisian udara adalah usaha untuk mengatur temperatur dan kelembaban udara agar menghasilkan kenyamanan bagi penghuni atau pekerja yang berada didalamnya. Pendinginan udara yang sehat merupakan sistem pendinginan yang mampu untuk menurunkan temperature ruangan dan adanya pertukaran udara segar didalam ruangan [ 1 ].

Adapun beberapa komponen utama dari sistem pendinginan ruangan yaitu kondensor, kompresor dan *expansion valv*. Setiap komponen memiliki fungsi yang berbeda dan saling berkaitan [ 2 ].

*Heat pipe* adalah suatu alat penukar kalor atau alat penyerap panas pasif (tidak memerlukan daya listrik). *Heat pipe* merupakan sebuah teknologi penghantar panas dengan menggunakan pipa tembaga berukuran tertentu, yang berisi cairan khusus didalamnya sebagai penghantar panas [ 3 ].

Keuntungan menggunakan *heat pipe* sebagai alat penukar kalor dari pada alat penukar kalor lainnya

adalah *heat pipe* dapat memindahkan sejumlah kalor yang cukup besar dengan beda temperatur kecil [ 4 ].

Prinsip kerja *heat pipe*, *heat pipe* dapat bekerja apabila terjadinya perbedaan temperatur dikedua ujung pipa, sehingga cairan yang berada didalam ujung pipa yang memiliki temperatur lebih tinggi akan menguap, uap tersebut akan mengalir ke ujung pipa yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Adanya perpindahan uap didalam pipa menyebabkan terjadinya perpindahan panas tanpa penggunaan energi tambahan [ 5 ].

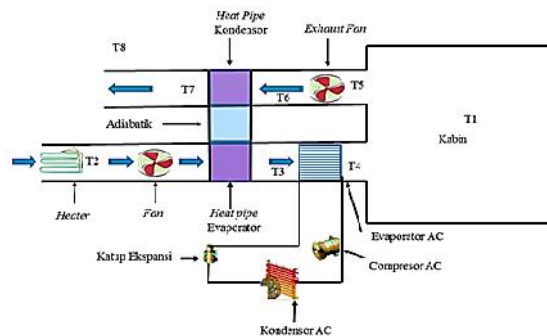
Pada dasarnya *heat pipe* akan mengalami proses perpindahan panas (*heat exchanger*) secara konduksi dan konveksi. [ 6 ].

Perpindahan panas secara konduksi dari sumber panas ke bagian dinding *evaporator* dan sumbu kapiler (*wick*). Pada bagian ini konduktivitas thermal dari dinding memegang peran penting dimana kebanyakan pipa kalor terbuat dari bahan tembaga yang memiliki konduktivitas thermal cukup tinggi, sedangkan pada konveksi dari dinding dan

permukaan sumbu kapiler pipa kalor ke fluida kerja [7].

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menguji kinerja thermal dari *heat pipe* tersebut, untuk memperoleh hasil yang diinginkan maka perlu dilakukan langkah-langkah pengujian yang telah ditetapkan. Pengujian yang dilakukan menggunakan beberapa alat penunjang seperti, replika ruangan dan duckting saluran udara, modul NI, *thermocouple*, program aplikasi lab view dan origin. Mekanisme pengambilan data ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1. Mekanisme Pengambilan Data**

Keterangan :

- T<sub>1</sub> = Temperatur didalam kabin
- T<sub>2</sub> = Temperatur heater
- T<sub>3</sub> = Temperatur heat pipe evaporator
- T<sub>4</sub> = Temperatur in kabin
- T<sub>5</sub> = Temperatur out kabin
- T<sub>6</sub> = Temperatur duckting out
- T<sub>7</sub> = Temperatur heat pipe condensor
- T<sub>8</sub> = Temperatur lingkungan
- W<sub>1</sub> = Laju pendingin evaporator

Gambar diatas menunjukkan penempatan *thermocouple* di beberapa titik untuk mendapatkan data hasil pengujian, *thermocouple* akan mendeteksi berapa temperatur yang berada disetiap titik, temperatur yang dihasilkan akan direkam oleh program aplikasi lab view, data yang dihasilkan akan digunakan untuk menghitung konsumsi daya dan laju pendinginan evaporator AC.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mempermudah proses pengabilan data, maka dibuatlah sebuah tabel yang berisi data-data hasil pengukuran. Tabel 1 Menunjukkan hasil pengujian perbandingan temperatur, kuat arus kompresor dan perbedaan waktu pencapaian terhadap temperature kabin 20°C, 18°C, dan 16°C tanpa menggunakan *heat pipe*. Tabel 2 Menunjukkan hasil pengujian perbandingan temperatur, kuat arus kompresor dan perbedaan waktu pencapaian terhadap temperature kabin 20°C, 18°C, dan 16°C dengan menggunakan *heat pipe*. Pengujian tersebut dilakukan dalam posis *vertikal* dengan posis *ducting evaporator* berada dibagian bawah dan *ducting condensor* berada dibagian atas.

**Tabel 1. Data Perbandingan Temperatur 20°C, 18°C dan 16°C tanpa Menggunakan Heat Pipe Dipasang dengan Posisi Vertikal.**

Temperature Setting (°C)	Arus Kompresor (A)	Waktu (s)	Titik Pengukuran (°C)							
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20	1,8	561	20,205	30,375	28,064	13,905	25,651	25,431	25,290	28,009
18	1,9	619	18,068	30,317	28,691	12,583	25,441	25,907	27,951	27,958
16	2	1814	16,037	30,099	28,578	11,232	23,731	25,358	25,495	28,131

**Tabel 2. Data Perbandingan Temperatur 20°C, 18°C dan 16°C Menggunakan Heat Pipe Dipasang dengan Posisi Vertikal.**

Temperature Setting (°C)	Arus Kompresor (A)	Waktu (s)	Titik Pengukuran (°C)							
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20	1,8	561	20,205	30,375	29,064	13,905	25,651	26,431	28,290	28,009
18	1,9	619	16,068	30,317	28,691	12,583	25,441	26,907	27,951	27,958
16	2	1814	16,037	30,099	28,578	11,232	23,731	25,358	25,495	28,131

### 3.1 Data Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara sangat mempengaruhi data hasil pengujian, pada sistem pengkondisian udara yang diuji, telah terpasang 2 buah *fan*. *Fan* pertama diletakan dibelakang *heater*, pemasangan *fan* dibelakang *heater* bertujuan untuk mendistribusikan udara panas, agar temperatur udara disetiap ruangan dapat stabil dan tidak berubah-ubah. *Fan* yang kedua dipasang pada saluran udara keluar, pemasangan *fan* di area tersebut bertujuan untuk meneruskan aliran udara masuk sehingga kecepatan aliran udara tidak berubah-ubah. Pengukuran kecepatan aliran udara dilakukan menggunakan alat ukur *flow meter*, dari hasil pengukuran didapat kecepatan aliran udara sebesar 1,3 m/s, hasil tersebut diukur saat kedua *fan* dalam kondisi hidup.

### 3.2 Menghitung Laju Aliran Massa Udara

Laju aliran massa merupakan masa aliran udara per satuan waktu, perhitungan laju aliran massa bertujuan untuk menghitung dan mengetahui perbandingan laju pendinginan evaporator, dari dalam tabel *psychrometric chart* terdapat massa jenis udara,  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , sehingga pengukuran laju aliran massa dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \cdot V \cdot A \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,3 \text{ m/s} \cdot (0,37 \cdot 0,86) \text{ m}^2 \\ &= 0,496 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

### 3.3 Menghitung Konsumsi Daya Kompresor

Konsumsi daya merupakan banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan suatu sistem, sehingga sistem tersebut dapat bekerja, untuk menghitung konsumsi daya pada kompresor dapat menggunakan persamaan rumus sebagai berikut: Konsumsi daya kompresor tanpa menggunakan *heat pipe* pada temperatur 20°C

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot t \\
 &= 220V \cdot 1.8 A \cdot 701 s \\
 &= 396 W \cdot 0,195 h \\
 &= 0,077 kWh
 \end{aligned}$$

### 3.4 Menghitung Laju Pendinginan Sistem HPAC

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap suatu ruangan, sehingga temperatur ruangan dapat tercapai sesuai dengan setingan yang telah ditentukan. Laju pendinginan dipengaruhi oleh besarnya temperatur udara masuk melewati sistem pengkondisian udara.

Laju pendinginan yang dihasilkan oleh sistem pengkondisian udara tanpa menggunakan *heat pipe* dan dengan menggunakan *heat pipe* dapat dihitung menggunakan persamaan rumus sebagai berikut : Perhitungan laju pendinginan tanpa menggunakan *heat pipe* pada temperatur 20°C

$$\begin{aligned}
 q_{s \text{ evap}} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (\Delta T) \\
 &= 0,496 \frac{kg}{s} \cdot 1,005 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (30,089 - 14,510) K \\
 &= 0,496 \frac{kg}{s} \cdot 1,005 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 15,579 K \\
 &= 7,765 \frac{kJ}{s} \\
 &= 7,765 kW
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju pendinginan pada temperatur seting 20°C, 18°C dan 16°C, untuk sistem pengkondisian udara dengan menggunakan *heat pipe* dan tanpa menggunakan *heat pipe*, dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Pendinginan pada Sistem HPAC**

Temperature Setting (°C)	Laju Pendinginan Evaporator Tanpa Heat Pipe (kW)	Laju Pendinginan Evaporator Dengan Heat Pipe (kW)
20	7,765	7,566
18	8,437	8,024
16	8,96	8,646

Grafik perbandingan laju pendinginan, sesuai dengan data yang diperoleh, didapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2. Grafik Laju Pendinginan Evaporator AC**

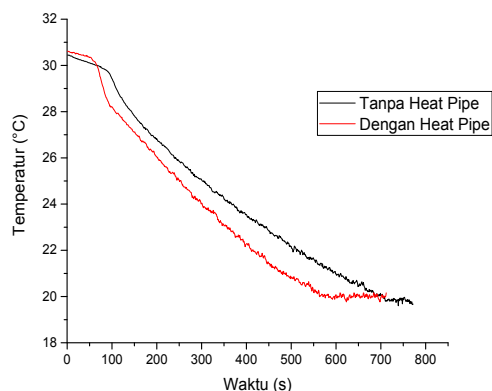
Berdasarkan tabel 3 dan grafik 2. perbandingan laju pendinginan evaporator pada temperatur seting 20°C, 18°C dan 16°C. Laju pendinginan yang dihasilkan pada sistem pengkondisian udara tanpa menggunakan *heat pipe* sebesar 7,765 kW, 8,437 kW dan 8,96 kW, sedangkan dengan menggunakan *heat pipe* sebesar 7,566 kW, 8,024 kW dan 8,646 kW

Perbedaan laju pendinginan evaporator AC yang terjadi, dipengaruhi oleh temperatur udara masuk kedalam sistem, pada sistem pengkondisian udara tanpa menggunakan *heat pipe*, udara lingkungan yang masuk kedalam sistem (T<sub>3</sub>), memiliki temperatur sebesar 30,089°C, 30,378°C dan 30,391, temperatur udara yang cukup tinggi akan melewati evaporator AC, udara yang masuk kedalam kabin (T<sub>4</sub>) akan didinginkan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur seting, tabel 1. menunjukkan distribusi temperatur udara masuk kabin sebesar 14,510°C, 13,452°C dan 12,416°C. Selisih temperatur yang cukup besar akan mengakibatkan laju pendinginan evaporator AC akan bertambah. Sistem pengkondisian udara dengan menggunakan *heat pipe* memiliki temperatur udara masuk (T<sub>3</sub>) lebih rendah 29,084°C, 28,691°C dan 28,578°C, penurunan temperatur diakibatkan oleh terpasangnya *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara, *heat pipe* diletakkan dibagian depan evaporator, sehingga udara yang masuk kedalam sistem akan didinginkan terlebih dahulu sebelum melewati evaporator AC. Tabel 2. menunjukan distribusi temperatur udara masuk kedalam kabin (T<sub>4</sub>) sebesar 13,905°C, 12,593°C dan 11,232°C. Terjadinya dua kali penurunan temperatur udara masuk, mengakibatkan laju pendinginan evaporator menjadi lebih rendah.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, penggunaan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara jauh lebih baik dari pada tanpa menggunakan *heat pipe*, hal tersebut dikarenakan laju pendinginan evaporator menggunakan *heat pipe* lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan *heat pipe*.

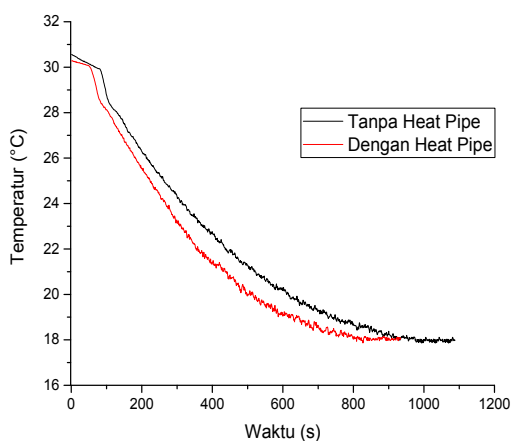
### 3.7 Data Grafik Perbandingan Tanpa Heat Pipe dan Dengan Heat Pipe

Grafik perbandingan temperatur tanpa menggunakan dan dengan menggunakan *heat pipe* pada temperatur 20°C ditunjukkan pada gambar 3. Gambar 3. menunjukkan waktu perbandingan sistem pengkondisian udara pada temperatur seting 20°C, tanpa menggunakan *heat pipe* dan dengan menggunakan *heat pipe*, dari dalam grafik dapat dilihat waktu pencapaian tanpa menggunakan *heat pipe* sebesar 701 detik sedangkan dengan menggunakan *heat pipe* 561 detik Selisih waktu pencapaian yang terjadi sebesar 140 detik. Perbedaan waktu pencapaian temperatur dikarenakan, adanya penurunan awal udara masuk oleh *heat pipe* sebelum melewati evaporator AC, sehingga penggunaan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara lebih baik daripada tanpa menggunakan *heat pipe*



**Gambar 3. Grafik Perbandingan Temperatur tanpa Menggunakan dan Dengan Menggunakan Heat Pipe pada Temperatur 20<sup>0</sup>C**

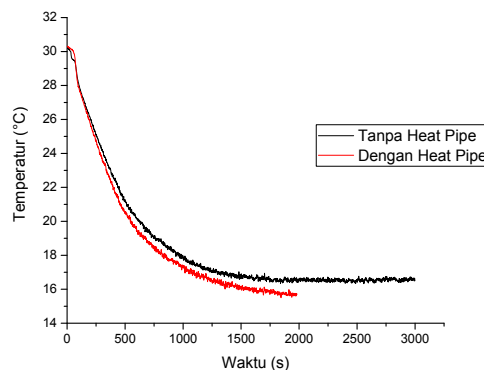
Grafik perbandingan temperatur tanpa menggunakan dan dengan menggunakan *heat pipe* pada temperatur 18<sup>0</sup>C ditunjukkan pada gambar 4.



**Gambar 4. Grafik Perbandingan Temperatur tanpa Menggunakan dan Dengan Menggunakan Heat Pipe pada Temperatur 18<sup>0</sup>C**

Gambar 4. menunjukkan waktu perbandingan sistem pengkondisian udara pada temperatur seting 18<sup>0</sup>C, tanpa menggunakan *heat pipe* dan dengan menggunakan *heat pipe*, dari dalam grafik dapat dilihat waktu pencapaian tanpa menggunakan *heat pipe* sebesar 954 detik sedangkan dengan menggunakan *heat pipe* 819 detik. Selisih waktu pencapaian yang terjadi sebesar 135 detik. Perbedaan waktu pencapaian temperatur dikarenakan, adanya penurunan awal udara masuk oleh *heat pipe* sebelum melewati evaporator AC, berdasarkan data hasil pengujian, sistem pengkondisian udara dengan menggunakan *heat pipe* lebih baik dari pada tanpa menggunakan *heat pipe*

Grafik perbandingan temperatur tanpa menggunakan dan dengan menggunakan *heat pipe* pada temperatur 16<sup>0</sup>C ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5. Grafik Perbandingan Temperatur tanpa Menggunakan dan Dengan Menggunakan Heat Pipe pada Temperatur 16<sup>0</sup>C**

Gambar 5. menunjukkan waktu perbandingan sistem pengkondisian udara pada temperatur seting 16<sup>0</sup>C, tanpa menggunakan *heat pipe* dan dengan menggunakan *heat pipe*, dari dalam grafik dapat dilihat waktu pencapaian tanpa menggunakan *heat pipe* sebesar 2589 detik sedangkan dengan menggunakan *heat pipe* 1814 detik. Selisih waktu pencapaian yang terjadi sebesar 775 detik. Perbedaan waktu pencapaian temperatur yang terjadi dikarenakan, sistem pengkondisian udara yang bekerja cukup lama, mengakibatkan penyerapan panas yang dihasilkan oleh *heat pipe* semakin besar, dapat dilihat pada tabel 2, penurunan temperatur yang dihasilkan oleh *heat pipe* sebesar 3<sup>0</sup>C. Penurunan temperatur awal sangat berpengaruh terhadap waktu pencapaian temperatur seting, sehingga penggunaan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara lebih baik dari pada tanpa menggunakan *heat pipe*.

Berdasarkan grafik perbandingan temperatur 20<sup>0</sup>C, 18<sup>0</sup>C dan 16<sup>0</sup>C. dapat dijelaskan bahwa, dengan dipasangnya *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara, sangat mempengaruhi percepatan waktu pencapaian pada temperatur seting, hal tersebut dikarenakan, sistem *heat pipe* yang terpasang dapat menyerap panas dengan baik, penyerapan panas dapat terjadi apabila adanya perbedaan temperatur di kedua ujung pipa, pada ujung pipa evap, udara panas dihasilkan oleh heater, heater akan diseting pada temperatur 30<sup>0</sup>C, panas dari heater akan diteruskan menggunakan fan yang terpasang dibagian *in* dan *out* ducting sampai temperatur kabin steady 30<sup>0</sup>C, sistem pengkondisian udara akan dihidupkan dan pada panel akan diseting sesuai dengan temperatur yang diuji, sehingga penurunan temperatur di beberapa titik akan terjadi. Penurunan temperatur awal akan terjadi pada *heat pipe* evap, cairan yang berada didalam pipa akan bekerja sehingga terjadinya pemindahan panas dan panas tersebut akan dibuang pada bagian *heat pipe* kondensor. Sistem pengkondisian udara akan terus bekerja sampai temperatur kabin sudah tercapai, adanya udara sisa hasil pendinginan akan dihisap

keluar menggunakan *exhaust fan*, besarnya temperatur udara yang keluar dari kabin dapat dilihat pada termokopel yang terpasang di saluran *out* kabin, dari hasil pengujian, udara yang keluar dari kabin masih memiliki temperatur yang rendah, sehingga akan dimanfaatkan untuk membuang panas pada ujung *heat pipe* kondensor, adanya penurunan temperatur awal pada *heat pipe* evap mengakibatkan konsumsi daya dan laju pendinginan evaporator akan berkurang. Berdasarkan data hasil pengujian dan perhitungan dapat dijelaskan, penggunaan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan *heat pipe*.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara jauh lebih baik dari pada tanpa menggunakan *heat pipe*, karena pemasangan *heat pipe* pada sistem pengkondisian udara sangat mempengaruhi temperatur udara masuk, penurunan temperatur udara masuk kedalam sistem, diakibatkan adanya penyerapan panas oleh *heat pipe* evaporator, panas tersebut akan dilepas dibagian ujung *heat pipe* kondensor yang memiliki temperatur yang lebih rendah, penambahan sirip pada *heat pipe* mengakibatkan bidang penyerapan panas menjadi lebih luas, sehingga panas yang diserap semakin besar.
2. Penurunan awal temperatur udara masuk kedalam sistem, mengakibatkan kinerja kerja AC menjadi lebih ringan, dari hasil pengambilan data dan proses perhitunagn dapat dilihat, pencapaian pada temperatur seting 20<sup>0</sup>C, 18<sup>0</sup>C dan 16<sup>0</sup>C dengan menggunakan *heat pipe*, membutuhkan laju pendinginan evaporator AC yang lebih rendah, yaitu 7,566 kW, 8,024 kW dan 8,646 kW sedangkan tanpa menggunakan *heat pipe* yaitu 7,765 kW, 8,437 kW dan 8,960 kW.

## Daftar Pustaka

- [ 1 ] Sugini, 2014, *Kenyamanan Termal Ruang. Graha Ilmu*, Yogyakarta.
- [ 2 ] Taofik Hidayat, 2014, *Komponen, Fungsi Dan Cara Kerja Sistem Ac*, Jakarta
- [ 3 ] Y.H. Yau. & M. Ahmadzadehtalatapeh, 2010, *A Review On The Application Of Horizontal Heat Pipe Heat Exchangers In Air Conditioning Systems In The Tropics*, Applied Thermal Engineering.
- [ 4 ] Sigit Jilius Setyawan, 2012, *Aplikasi Heat Pipe Pada Pengkondisian Udara Dengan Variasi Masa Flow Rate Udara Dan Orientasi Heat Pipe*.
- 5 ] D. rcay, R. McGlen, and P. Kew, 2013, *Heat pipes: Theory, design and applications*, Butterworth-Heinemann
- [ 6 ] J.P. Holman, 1985, *Principles Of Heat Transfer*, alih bahasa Arko Prijono, Edisi Ketiga. Erlangga. Jakarta.
- [ 7 ] J.P. Holman, 2010. *Heat Transfer*, 10th edition. McGraw-Hill International Book Company, New York.



I Kadek Adi Semara Jaya menyelesaikan pendidikan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2018.