



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI EKSPERIMENTAL LOOP HEAT PIPE DENGAN  
WICK SINTERED POWDER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
(S.T)**

**MUCHAMAD IQBAL BIMO ARIFianto**

**0706267175**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2011**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muchamad Iqbal Bimo Arifianto

NPM : 0706267175

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Juni 2011

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Muchamad Iqbal Bimo Arifianto  
NPM : 0706267175  
Departemen : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : **Studi Eksperimental Loop Heat Pipe Dengan Wick Sintered Powder**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

**DEWAN PENGUJI**

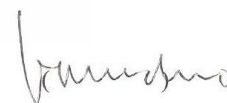
Pembimbing : Prof. Dr-Ing Nandy Putra



Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer DEA.



Dr. Ir. R. Danardono Agus S. DEA. PE



Dr. Agus Pamitran, S.T., M.Eng.



Ditetapkan di : Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI – Depok

Tanggal : 17 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya lah akhirnya skripsi ini dapat saya selesaikan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwasanya tulisan ini masih banyak kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan dari berbagai pihak.

Dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang, yang telah banyak membantu:

1. Prof. Dr-Ing Nandy Putra, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan banyak waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik material maupun moral.
3. Dr.Ir. Harinaldi selaku kepala Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
4. Wayan Nata, MT dan Ridho Irwansyah, ST selaku asisten pembimbing skripsi.
5. Seluruh dosen DTM FTUI yang dengan saran dan masukkan-masukkan yang berharga.
6. Rian Saputra, Ardhana Putranto, Tasia Larosa, Kapa Cossa, Hamdalah Hazhar, Gilang AIV, Sabdo Waluyo, Hedriawan Anandaputra Soemantri selaku kawan laboratorium selama mengerjakan skripsi ini bersama-sama
7. Putri Kumala Muthia dan teman-teman yang memberikan dorongan maupun semangat dalam pengerjaan skripsi ini.

Akhir kata saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 17 Juni 2011

Penulis,



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muchamad Iqbal Bimo Arifianto  
NPM : 0706267175  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksekutif** (*Non Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**” Studi Eksperimental Loop Heat Pipe Dengan Wick Sintered Powder”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksekutif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 17 Juni 2011

Yang menyatakan,



Muchamad Iqbal Bimo Arifianto

## ABSTRAK

Nama : Muchamad Iqbal Bimo Arifianto  
Departemen : Teknik Mesin  
Judul : **Studi Eksperimental Loop Heat Pipe Dengan Wick Sintered Powder.**

Permasalahan pendinginan komponen elektronik semakin meningkat seiring peningkatan *fluks* panas yang dihasilkan oleh peralatan elektronik khususnya CPU komputer. Penggunaan *heat pipe* dalam pendinginan komponen elektronik tersebut menjadi salah satu solusi alternatif guna menyerap kalor yang dihasilkan. *loop heat pipe (LHP)* merupakan tanggapan terhadap tantangan yang berkaitan dengan permintaan teknologi untuk perangkat yang sangat panas dengan transfer yang efisien. Sementara itu *loop heat pipe* masih jarang dijumpai, eksperimen *loop heat pipe* menggunakan salah satu sisi *full wick sintered powder*. Lalu eksperimen ini dilakukan dengan penggunaan air dan udara sebagai pendingin pada kondensor telah dilakukan dan dihasilkan bahwa kondenser dengan tipe double pipe sebagai pendingin berupa air dapat mereduksi temperatur pada bagian *evaporator* paling besar, yakni  $17.13^{\circ}\text{C}$  hal ini dikarenakan pendinginan pada kondensor menggunakan air yang bersirkulasi dengan *circulating thermostatic bath (CTB)* sebagai pendingin menjadikan temperatur pada kondensor konstan. Namun kinerja *loop heat pipe* masih sangat berpengaruh pada gravitasi, maka dilakukanlah beberapa eksperimen terhadap posisi yang baik pada peletakan *loop heat pipe*, dan didapatkan bahwa posisi kondensor yang berada diatas *evaporator* secara Verikal atau pada sudut  $90^{\circ}$  paling baik. Hal ini dikarenakan pada *evaporator* terdapat banyak fluida yang berfungsi sebagai penghantar dan pereduksi kalor. Dibahas juga pada pengaruh pada penggunaan nano fluida yang dapat mereduksi hambatan termal yang terjadi pada *loop heat pipe* pada daerah *evaporator* sampai dengan adiabatik lajur uap dengan pemakaian fluida kerja nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air 5% pada pembebanan 10 Watt dan 20 Watt yaitu masing-masing  $0.56^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$  dan  $0.38^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ . Tetapi pada pembebanan 30 Watt fluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air 1% mempunyai hambatan termal terendah yaitu  $0.88^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ , namun hal ini masih lebih baik dalam penggunaan fluida air. Hal ini merupakan suatu indikasi bahwa Loop heat pipe yang baik adalah menggunakan pendingin berupa air dan diletakkan pada posisi tegak dengan kondensor berada diatas. Juga dibuktikan bahwa performa *loop heat pipe* dengan *wick sintered powder* lebih baik daripada *straight heat pipe* dengan *wick screen mesh*.

**Kata kunci:** *Loop heat pipe, double pipe, wick sintered powder, nano fluida*

## ABSTRACT

Name : Muchamad Iqbal Bimo Arifianto  
 Department : Mechanical Engineering  
 Title : **Experimental Study Loop Heat Pipe With Sintered Powder Wick.**

*Problem of cooling electronic components has increased along the increase of heat flux generated by electronic equipment, especially computer CPU. The use of heat pipes in cooling electronic components has become one of the alternative solutions in order to absorb the heat generated. loop heat pipes (LHP) was a response to the challenges associated with demand for technology for devices that are very hot with an efficient transfer. Meanwhile, loop heat pipes are still rare, experimental loop heat pipe using one hand full sintered powder wick. Then the experiment was conducted with the use of water and air as a coolant in the condenser has been done and produced that double pipe type of condenser with a water cooling is greatest to reduce the temperature at the evaporator, that is 17.13°C this is because the cooler in the condenser using water that is circulated with circulating thermostatic bath (CTB) as the cooling and makes the temperature at condenser is constant. But the performance of loop heat pipes are still very influential in gravity, we perform some experiments on a good position in the laying of loop heat pipes, and found that the position of the condenser is located above the evaporator vertically or at an angle 90 ° is the best position. This is because there are a lot of fluid on evaporator which serves as Conductor and reducing heat. Discussed also the effect on the use of nano-fluid that can reduce thermal resistance that occurs in loop heat pipes in the evaporator region to the adiabatic vapor line with the use of working nanofluid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-air 5% on loading 10 Watt and 20 Watts respectively 0.56°C/Watt dan 0.38°C/Watt. But at the 30 Watt loading Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water 1% fluid has the lowest thermal resistance that is 0.88oC/Watt, but this is still better in the use of nano fluid rather than water fluid. This is an indication that the loop heat pipe is a good to be use on cooling water and placed in an upright position with a condenser on top. Also proved that loop heat pipe performance with wick sintered powder better than straight heat pipe with wick screen mesh.*

**Keyword:** Loop heat pipe, double pipe, sintered powder wick, nanofluid

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	v
<b>ABSTRAK INDONESIA</b> .....	vi
<b>ABSTRAK INGGRIS</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1 <i>Heat Pipe</i> .....	8
2.2 <i>Loop Heat Pipe</i> .....	13
2.3 Struktur Wick .....	18
2.3.1 Konduktivitas Termal <i>Wick</i> pada <i>heat pipe</i> .....	20
2.3.2 Struktur <i>Wick</i> Homogen .....	22
2.3.3 Hambatan Termal pada <i>Wick Heat Pipe</i> .....	25
2.3.4 Pengaruh Kapilaritas .....	26
2.3.5 Jenis Struktur <i>Wick</i> .....	26
2.4 Fluida Kerja.....	30
2.4.1 Perubahan Fase Aliran Fluida pada <i>Loop Heat Pipe</i> .....	31
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	33



3.1 Rancangan <i>Loop Heat Pipe</i> .....	33
3.2 Proses Pengisian Fluida Kerja .....	38
3.3 Skematik Pengujian .....	39
3.3.1 Circulating Thermostatic Bath (CTB) .....	44
3.3.2 DC Power Supply .....	45
3.3.3 Data Akuisisi .....	46
3.3.4 Termokopel .....	48
3.3.5 Pemanas Elektrik .....	48
3.3.6 Polyurathane .....	49
3.3.7 Glasswool .....	50
3.3.8 Pompa Vacum .....	50
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>51</b>
4.1 Distribusi Temperatur pada <i>Loop Heat Pipe</i> .....	51
4.1.1 Pada Perbedaan Tipe kondensor .....	51
4.1.2 Terhadap Pengaruh Gravitasi .....	57
4.2 Distribusi Fluks Panas pada <i>Loop Heat Pipe</i> .....	60
4.3 Hambatan Termal pada <i>Loop Heat Pipe</i> .....	61
4.4 Kinerja <i>Straight</i> dan <i>Loop Heat Pipe</i> .....	63
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1</i>	<i>Struktur heat pipe</i>	9
<i>Gambar 2.2</i>	<i>Skema Mekanisme Hantaran Panas pada Heat Pipe</i>	13
<i>Gambar 2.3</i>	<i>Struktur Loop Heat Pipe</i>	16
<i>Gambar 2.4</i>	<i>Skema Mekanisme Loop Heat Pipe</i>	17
<i>Gambar 2.5</i>	<i>Axial groove wick</i>	26
<i>Gambar 2.6</i>	<i>Wire screen mesh wick</i>	27
<i>Gambar 2.7</i>	<i>Sintered powder wick</i>	27
<i>Gambar 2.8</i>	<i>Fiber-spiral wick</i>	27
<i>Gambar 2.9</i>	<i>Grafik dan tabel hasil pengujian heat pipe dari 4 jenis wick dengan orientasi horizontal dan vertikal (pengaruh gaya gravitasi)</i>	28
<i>Gambar 2.10</i>	<i>Wick dengan proses sintered powder</i>	29
<i>Gambar 2.11</i>	<i>Pengaruh jumlah lapisan screen mesh terhadap hambatan panas</i>	29
<i>Gambar 2.12</i>	<i>Skema mekanisme loop heat pipe dengan porous wick</i>	32
<i>Gambar 3.1</i>	<i>Pipa tembaga dan proses pemotongan</i>	33
<i>Gambar 3.2</i>	<i>Katup nepel</i>	34
<i>Gambar 3.3</i>	<i>Powder tembaga</i>	34
<i>Gambar 3.4</i>	<i>Proses Patri</i>	35
<i>Gambar 3.5</i>	<i>Rancangan loop heat pipe</i>	36
<i>Gambar 3.6</i>	<i>Heat pipe menggunakan sinkfan sebagai kondensor</i>	37
<i>Gambar 3.7</i>	<i>Heat pipe menggunakan double pipe sebagai kondensor</i>	37
<i>Gambar 3.8</i>	<i>Pengisian fluida loop heat pipe</i>	38
<i>Gambar 3.9</i>	<i>Pompa vacuum</i>	39
<i>Gambar 3.10</i>	<i>Posisi temokopel</i>	39
<i>Gambar 3.11</i>	<i>Pemasangan heater kabel</i>	40
<i>Gambar 3.12</i>	<i>Loop heat pipe diisolasi menggunakan fiberglass wool dan polyurethane box</i>	41

<i>Gambar 3.13</i>	<i>Skematik pengujian loop heat pipe</i>	43
<i>Gambar 3.14</i>	<i>Circulating thermostatic bath</i>	44
<i>Gambar 3.15</i>	<i>Power Supply</i>	45
<i>Gambar 3.16</i>	<i>Data akuisisi NI 9213 dan Chassis NI cDAQ-9172</i>	46
<i>Gambar 3.17</i>	<i>Channel pada modul NI 9213</i>	46
<i>Gambar 3.18</i>	<i>Chassis NI cDAQ 9172</i>	47
<i>Gambar 3.19</i>	<i>Termokopel tipe K</i>	48
<i>Gambar 3.20</i>	<i>Heater</i>	49
<i>Gambar 3.21</i>	<i>Isolator dengan material polyurethane</i>	49
<i>Gambar 3.22</i>	<i>Glasswool</i>	50
<i>Gambar 3.23</i>	<i>Pompa vacuum</i>	50
<i>Gambar 4.1</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe, kondensor tipe double pipe dengan kalor masukan <math>Q=10, 20, 30</math> Watt</i>	53
<i>Gambar 4.2</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe, kondensor tipe sinkfan dengan kalor masukan <math>Q=10, 20, 30</math> Watt</i>	54
<i>Gambar 4.3</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe, tanpa menggunakan pendinginan dengan kalor masukan <math>Q=10, 20, 30</math> Watt</i>	54
<i>Gambar 4.4</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe, kondensor tipe double pipe, sinkfan, pada pendinginan natural dan terhadap penelitiab Daming Wang, Peterson dengan kalor masukan 10 Watt</i>	55
<i>Gambar 4.5</i>	<i>Posisi kondensor pada variasi sudut</i>	57
<i>Gambar 4.6</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe, terhadap pengaruh gravitasi dengan kalor masukan 10 Watt</i>	59
<i>Gambar 4.7</i>	<i>Distribusi heat flux yang terjadi pada loop heat pipe, terhadap tipe kondensor</i>	61
<i>Gambar 4.8</i>	<i>Hambatan termal diantara evaporator dan daerah adiabatik, fluida kerja air, dan nano – air</i>	63
<i>Gambar 4.9</i>	<i>Distribusi temperatur loop heat pipe dibandingkan dengan straight heat pipe, pada 10 Watt</i>	64

## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2.1</i>	<i>Fluks panas evaporator untuk berbagai jenis kombinasi fluida kerja</i>	19
<i>Tabel 2.2</i>	<i>Ukuran pori wick dan permeabilitas</i>	22
<i>Tabel 2.3</i>	<i>Fluida kerja pada heat pipe</i>	30
<i>Tabel 3.1</i>	<i>Variasi Pengujian</i>	38
<i>Tabel 3.2</i>	<i>Spesifikasi Circulating Thermostatic Bath</i>	44
<i>Tabel 3.3</i>	<i>Spesifikasi power supply</i>	45
<i>Tabel 3.4</i>	<i>Spesifikasi Data Akusisi NI 9213</i>	47
<i>Tabel 4.1</i>	<i>Temperatur pada beberapa titik loop heat pipe, kondensor double pipe, sinkfan, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 10 Watt</i>	52
<i>Tabel 4.2</i>	<i>Temperatur pada beberapa titik loop heat pipe, kondensor double pipe, sinkfan, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 20 Watt</i>	52
<i>Tabel 4.3</i>	<i>Temperatur pada beberapa titik loop heat pipe, kondensor double pipe, sinkfan, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 30 Watt</i>	52
<i>Tabel 4.4</i>	<i>Temperatur pada beberapa titik loop heat pipe terhadap pengaruh gravitasi dengan kalor masukan 10 Watt</i>	57

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Komponen utama dari suatu perangkat computer adalah *Micro Processing Unit*. *Micro Processing Unit* merupakan komponen yang membutuhkan daya input yang paling besar dibandingkan dengan komponen lain dan paling banyak menghasilkan panas. *Micro Processing Unit (MPU)* merupakan generasi Pentium yang dimulai pada tahun 1995 sampai pada tahun 2002. Pada generasi ini panas yang dihasilkan oleh prosesor cukup besar yakni 5 sampai dengan 6 Watt pada generasi pertama atau Pentium pro (tahun 1995 s.d 1996) [1]. Panas yang dihasilkan *Micro Processing Unit* mengalami peningkatan pada generasi Pentium IV pada tahun 2000 sampai tahun 2002 yakni mencapai 30 Watt. *Micro Processing Unit* dapat menghasilkan panas lebih dari 35 watt pada generasi sekarang.

*Heat pipe* merupakan produk yang banyak diaplikasikan dalam sistem pendingin elektronik sebagai *heat dissipation* pada *microprocessor*. Dengan meningkatnya kapasitas *microprocessor*, maka bertambah juga panas yang dihasilkan, sehingga memacu variasi *heat sink* yang digunakan sebagai pendingin. Begitu pula panas yang dihasilkan oleh *processor* sebesar 10W sampai 150W tidak mampu lagi diserap oleh *heat sink* konvensional, sehingga variasi *heat sink* yang dikombinasikan dengan *heat pipe* dianggap mampu memindahkan panas pada saat fluks panas tertinggi dari *processor*. *Heat pipe* diperkenalkan oleh

Gaugler pada tahun 1942 [2] sebagai suatu cara pemecahan masalah pendingin piranti elektronik khususnya CPU yang diyakini dapat memberikan suatu solusi yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pendingin pada umumnya. Konsep utama dari *heat pipe* yakni melibatkan dua tahap perpindahan panas yang dapat mentransfer panas dalam jumlah yang sangat besar.

*Processor* menghasilkan *flux* panas yang akan mempengaruhi kinerjanya jika tidak ditangani. *Flux* panas pada *processor* harus dapat direduksi secara maksimal agar bisa mencapai kemampuan operasi yang optimal dengan tingkat *reliability* yang tinggi. Penanganan terhadap *flux* panas juga telah dilakukan sejak lama. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk menangani permasalahan *flux* panas yang dihasilkan oleh *processor*. Salah satu metode yang awalnya digunakan yaitu metode pendingin dengan model *heat-sink* dimana media pendingin disini adalah media pemindah panas yang terbuat dari logam berbentuk menyerupai sirip-sirip dimana panas yang direduksi dari *processor* dibuang secara konveksi ke lingkungan melalui sirip-sirip tersebut [3]. Metode ini kemudian dikembangkan menjadi metode pendinginan udara, yakni metode *heat-sink* pada generasi pertama dikembangkan dengan menambahkan *fan* pada *heat-sink*.

Saat ini penggunaan sistem pendingin *heat pipe* telah mengalami peningkatan, selain digunakan pada komponen elektronik, aplikasi *heat pipe* seperti pada pemanas air tenaga matahari [4], pengaturan panas pada *solar battery drive* [5], *heat absorber* modul pada *thermoelectric* hingga sistem *emergency coolingdown* pada reaktor nuklir [6]. Nandy Putra telah melakukan penelitian

mengenai perbandingan sistem pendinginan *heat pipe* dengan *heat sink* pada modul *thermoelectric* [7]. Dari penelitian ini diperoleh bahwa pelepasan panas menggunakan *heat pipe* lebih baik dari pada *heat sink* dengan energi dan dimensi yang sama.

Penggunaan *heat pipe* dalam pendinginan komponen elektronik khususnya prosesor menjadi salah satu solusi alternatif guna menyerap kalor yang dihasilkan. Salah satu faktor untuk meningkatkan kinerja *heat pipe* adalah penggunaan *Loop Heat pipe (LHP)* merupakan salah satu model *heat pipe* yang masih jarang ditemukan. *loop heat pipe (LHP)* merupakan tanggapan terhadap tantangan yang berkaitan dengan permintaan teknologi untuk perangkat yang sangat panas dengan transfer yang efisien . Dengan semua keuntungan utama *heat pipe* konvensional, namun *LHP* jauh lebih sensitif terhadap perubahan orientasi di bidang gravitasi [8]. Masalahnya di sini terletak pada kenyataan bahwa konvensional *heat pipe*, di mana yang struktur kapiler (*wick*) terletak di sepanjang keseluruhan panjangnya, tiba-tiba menurunkan perpindahan panas, mengacu pada skema loop dengan fluida cair akan mencari bagian yang mempunyai kapilaritas tinggi perangkat, akan digunakan *Loop Heat Pipe* yang satu bagian sisinya *full wick (sintered powder)*.

## 1.2 PERMASALAHAN

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, maka timbul beberapa permasalahan antara lain:

1. Bagaimanakah kinerja sebuah *Loop Heat Pipe* menerima panas?

2. Apakah *Loop Heat Pipe* mengalami sirkulasi yang baik dengan memakai satu sisi *full wick sinterd powder*?
3. Sejauh mana perbedaan tipe kondensor yang memakai tipe *heat sink* dan *double pipe* dengan dialiri air sebagai pendingin?
4. Bagaimana pengaruh perbedaan fluida air dengan memakai *nano fluida* pada konsep *Loop Heat Pipe*?

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penulis memiliki beberapa tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini:

1. Merancang *loop heat pipe* yang memiliki kemampuan sangat baik dengan menggunakan struktur *full wick* pada satu sisi.
2. Mengetahui fungsi dan kegunaan *loop heat pipe* sehingga dapat merancang *heat pipe* sesuai fungsi dan luas tempatnya.

### 1.4 PEMBATAAN MASALAH

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis memberikan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. *Loop Heat pipe* dibuat dari pipa tembaga berdiameter 8 mm dengan tebal 0.56 mm. Pada bagian evaporator memakai pipa tembaga yang berdiameter 24mm.
2. Keliling *loop heat pipe* adalah 630mm.
3. *Wick heat pipe* dibuat dari *full sintered powder tembaga* pada satu bagian sisinya.



4. Fluida yang digunakan aquades dan nano fluida pada fraksi volume (konsentrasi) 1% dan 5%.
5. Penelitian sebatas pada pengkajian, kemampuan *heat pipe* dalam mereduksi temperatur pada bagian evaporator, hambatan termal dari *heat pipe*.

### 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian *Loop Heat Pipe* antara lain adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal dan situs-situs internet.

2. Perancangan *Loop Heat Pipe*

Perancangan *Loop Heat Pipe* dilakukan dengan pertimbangan seperti sifat material, kemudahan dalam mencari komponen-komponen yang dibutuhkan di pasar.

3. Pembuatan Prototipe

Pembuatan prototipe dibuat dengan tujuan untuk mengetahui kinerja *Loop Heat Pipe* yang telah dirancang.

4. Pengujian *Loop Heat Pipe*

Unjuk kerja alat dilakukan pengambilan data temperatur pada alat dan pengolahan data pengujian.

## 5. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah data dari hasil pengujian didapatkan, data tersebut diolah sehingga menjadi grafik. Dari grafik tersebut dilakukan perbandingan dengan data lainnya kemudian melihat fenomena apa saja yang terjadi pada pengujian ini.

### 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini berisi tentang dasar teori yang dijadikan landasan literatur dalam pengujian *Loop Heat Pipe* yang dilakukan.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

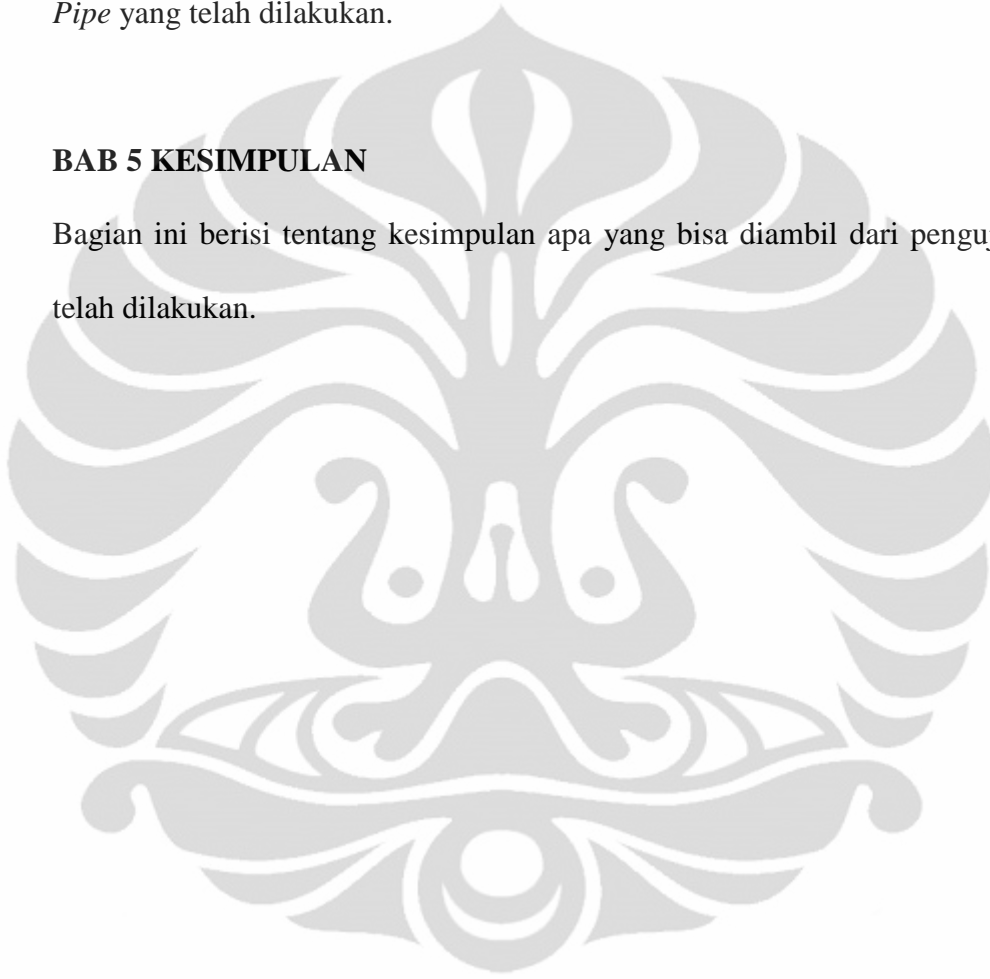
Bagian ini berisi tentang bagaimana bentuk, manufaktur konstruksi dari *Loop Heat Pipe* yang telah didesain, dan berisi tentang skema pengujian *Loop Heat Pipe*.

#### **BAB 4 ANALISA DAN HASIL**

Bagian ini berisi tentang analisa dari data dan grafik dari pengujian *Loop Heat Pipe* yang telah dilakukan.

#### **BAB 5 KESIMPULAN**

Bagian ini berisi tentang kesimpulan apa yang bisa diambil dari pengujian yang telah dilakukan.



## BAB 2

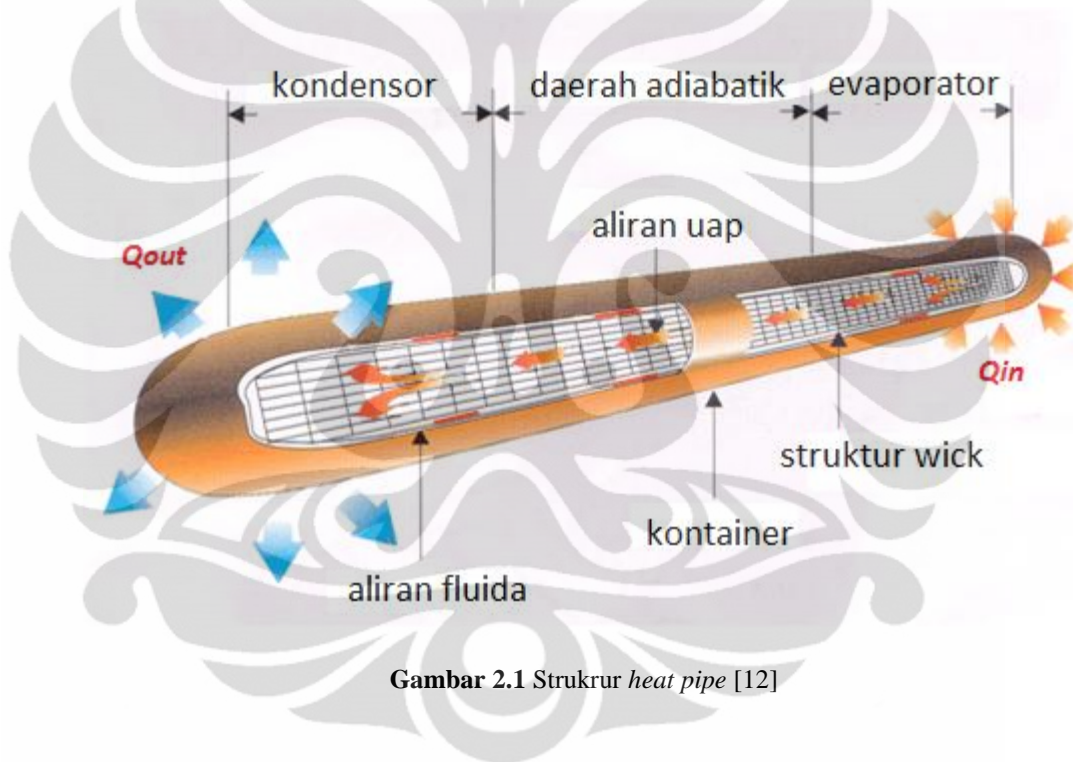
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 HEAT PIPE

Aplikasi teknologi *heat pipe* telah lebih dahulu digunakan secara luas pada bidang teknologi peralatan ruang angkasa. *Heat pipe* memiliki nilai konduktivitas termal yang sangat tinggi, jika dibandingkan dengan logam – logam lainnya *heat pipe* memiliki nilai konduktivitas termal ratusan kali lebih besar. Dengan sifatnya ini, *heat pipe* mampu memindahkan kalor dengan penurunan temperatur sepanjang *heat pipe* lebih kecil. Pada umumnya *heat pipe* hanya membutuhkan satu per seribu perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) yang dibutuhkan batangan tembaga untuk memindahkan sejumlah kalor antara dua titik. *Heat pipe* merupakan suatu alat yang bersifat pasif yang tidak memiliki bagian yang bergerak dan tidak membutuhkan bantuan tenaga selain kalor yang akan dipindahkan. Cara kerja *heat pipe* didasarkan oleh fluida kerja yang mengalami perubahan fase.

Umumnya *heat pipe* yang telah ada terdiri atas pipa vakum yang tertutup (*closed evacuated envelope*), *wick* dan fluida kerja dengan tekanan uap yang disesuaikan dengan kondisi temperatur kerja. Fluida kerja yang bersifat mudah menguap akan menyerap kalor dari sumber panas pada bagian evaporator, perubahan temperatur yang dialami oleh fluida kerja mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan pada fluida kerja sehingga terjadi perubahan fase dari wujud cair menjadi uap. Uap yang terbentuk akan bergerak ke kondenser dan terjadi pelepasan kalor sehingga fluida kerja kembali ke wujud cair. Bagian yang menjadi

ciri khas dari *heat pipe* adalah proses kembalinya fluida kerja dari kondenser ke evaporator, tanpa mekanisme kembali fluida kerja yang berawal dari evaporator akan terjadi akumulasi fluida kerja pada bagian kondenser dan akan mengakibatkan keringnya fluida kerja pada bagian evaporator. Untuk itu dibutuhkan suatu mekanisme aliran kembali dari kondenser ke evaporator dengan menggunakan *wick*. [11]



Gambar 2.1 Struktur *heat pipe* [12]

Konsep *heat pipe* pertama kali dimulai oleh A. M. Perkins dan J. Perkins [13] pada pertengahan 1800-an. Dalam patentnya disebut sebagai tabung parkins yang dipakai untuk menghantarkan panas dari tungku menuju boiler. Tabung tersebut dikembangkan kembali oleh F.W. Gay pada tahun 1929 dan lebih dikenal sebagai *thermosiphone*. Tabung pemindah kalor terus dikembangkan, hingga pada tahun 1942 oleh R.S. Gaugler [14] dari General Motor Corp dimana teknologi *heat pipe* sebagai tabung pemindah kalor dipatentkan dan publikasikan

oleh US Patent no 2350348 pada 6 Juni 1944. Konsep yang diperkenalkan oleh mengenai *heat pipe* adalah adanya struktur *wick* yang mampu memfasilitasi cairan dari kondenser ke evaporator dengan prinsip kapilaritas *wick*.

*Heat pipe* digambarkan sebagai aplikasi yang diterapkan dalam sistem refrigerasi. Menurut Gaugler tujuan dari penemuan ini adalah untuk mengatasi permasalahan pada penyerapan panas atau dengan kata lain penguapan fluida cair pada titik tertentu dimana transfer panas terjadi tanpa penggunaan energi tambahan dalam mensirkulasikan fluida kerja. *Heat pipe* seperti yang disebutkan oleh Gaugler [14] didalam patentnya tidak dapat dikembangkan tanpa tahapan-tahapan patent tersebut, karena *heat pipe* yang dikembangkan saat itu hanya sesuai dengan teknologi yang ada pada waktu itu.

*Heat pipe* didemonstrasikan pertama oleh George Grover di *Los Alamos National Laboratory* pada tahun 1963. Patent dari Grover [15] diajukan atas nama *USA Atomic Energy Commision* pada tahun 1963, dengan nama "*heat pipe*" dan diumumkan pada jurnal fisika tahun 1964. Hal ini bertujuan untuk menjelaskan perangkat dasar dari *heat pipe* yang dipatentkan oleh Gaugler. Grover mengatakan bagaimanapun juga bahwa suatu eksperimental yang dilakukan terhadap *heat pipe* dengan menggabungkan *wire mesh wick* dan *sodium* sebagai fluida kerja, hal ini harus tetap mencakup analisa secara teoritis. Dalam hal ini *litium* dan silver juga digunakan sebagai fluida kerja dari *heat pipe*.

Sejumlah artikel sains telah diterbitkan pada beberapa media cetak dan banyak diantaranya berasal dari US dari tahun 1967 sampai 1968. Hal ini menunjukkan bahwa semakin meluasnya area aplikasi *heat pipe* untuk pendingin

elektronik, AC, *engine* dan lain-lain dengan berkembangnya *heat pipe* yang lebih fleksibel dan memiliki ukuran yang lebih kecil. Satu hal yang harus ditekankan pada *heat pipe* adalah bahwa *heat pipe* memiliki konduktivitas termal lebih bagus dibandingkan dengan konduktivitas termal benda padat seperti tembaga. *Heat pipe* dengan fluida kerja air dan *wick* sederhana memiliki konduktivitas efektif yang nilainya lebih tinggi beberapa ratus kali dari batang tembaga dengan dimensi yang sama. Peluncuran pertama *heat pipe* berlangsung tahun 1967. Penelitian di *Los Alamos National Laboratory* dilakukan secara berkesinambungan pada tingkat lebih lanjut khususnya pada aplikasi di satelit [15].

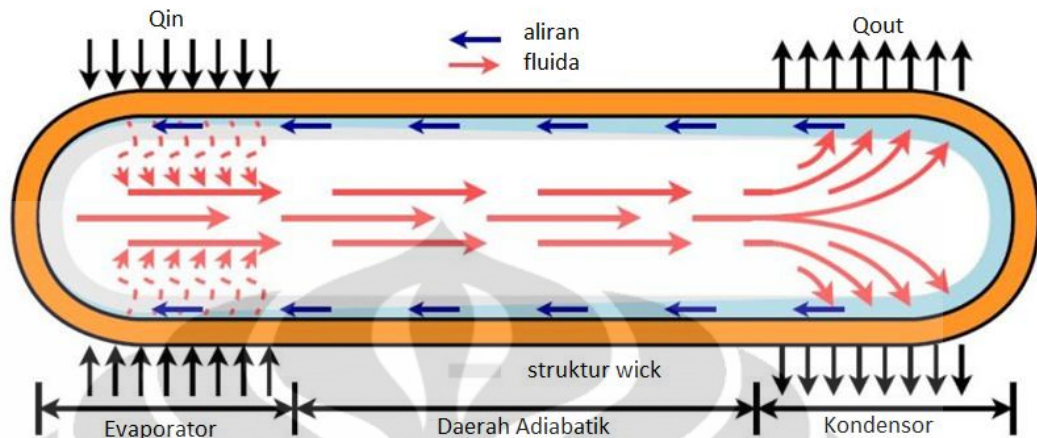
Perkembangan *heat pipe* yang cukup baik sampai sekarang didasari sebagian besar oleh karya Cotter yang juga bekerja di *Los Alamos National Laboratory*. Keaktifannya pada Laboratorium di United States dan Ispra yakni melakukan tinjauan yang sangat penting mengenai teori dan aplikasi dari *heat pipe* [15]. Ispra sangat aktif mengembangkan *heat pipe* dengan mengkaji aplikasi teori *heat pipe*. Cheung telah menuangkan aspirasinya pada lebih dari 80 paper teknik terkait dengan pengembangan *heat pipe* [16]. Cheung telah mendemonstrasikan bahwa *heat pipe* mampu mentransfer *flux* panas sebesar 7 kW/cm<sup>2</sup>. Dia juga menunjukkan dan mendemonstrasikan bahwa *heat pipe* mampu beroperasi pada waktu yang cukup panjang yaitu selama 9000 jam pada temperatur 1500°C.

Busse menulis dalam sebuah paper yang berisi rangkuman perjalanan *heat pipe* di Eropa [17], pada tahun 1968. Perlu dicatat bahwa Laboratorium Ispra di Euratom masih berfokus pada aktivitas di Eropa. Laboratorium lain yang

memiliki kontribusi yang sama diantaranya, *Brown Boveri, Karlsruhe Nuclear Research Centre, Institut fur Kernenegetic, Stuugart Grenoble Nuclear Research Centre*. Program penelitian tersebut mengkaji sebagian besar pada kinerja *heat pipe* dengan menggunakan logam cair sebagai fluida kerja serta pengukuran *flux* panas maksimum ke arah aksial dan radial. Aspek teoritis dari batas perpindahan panas juga dibahas. Faktor yang mempengaruhi efektifitas dari *evaporator* dalam mentransfer panas dan pengaruh kinerja *heat pipe* akibat gas yang tidak terkondensasi, hal ini dapat dilihat dari hasil studi awal pada bagian terpisah dari *heat pipe* contohnya pengembangan *wick*.

Aplikasi *heat pipe* saat ini banyak digunakan untuk mendinginkan sebuah *game console, computer, laptop*, dan beberapa piranti komputer lainnya yang menghasilkan *flux* panas cukup besar seperti *chipset mainboard, VGA, dan chipset memory* [18]. Mekanisme penghantaran panas pada *heat pipe* dilakukan melalui tiga daerah hantaran yaitu, *evaporator, adiabatic area* dan *condensor* serta struktur *wick* dimana cairan diuapkan oleh daerah *evaporator* pada keadaan *vapour* melewati daerah adiabatik mencapai daerah kondensor [18]. Uap dilepaskan pada daerah kondensor sehingga uap mengalami kondensasi dan cairan mengalir menuju daerah *evaporator* kembali melalui daya kapilaritas *wick*. Walaupun *heat pipe* dapat secara berkesinambungan menghantarkan panas ke daerah kondensor, proses ini akan berlanjut selama ada tekanan kapiler yang cukup untuk membawa cairan kembali ke daerah *evaporator* [18].





Gambar 2.2 Skema Mekanisme Hantaran Panas pada *Heat Pipe* [23]

## 2.2 LOOP HEAT PIPE

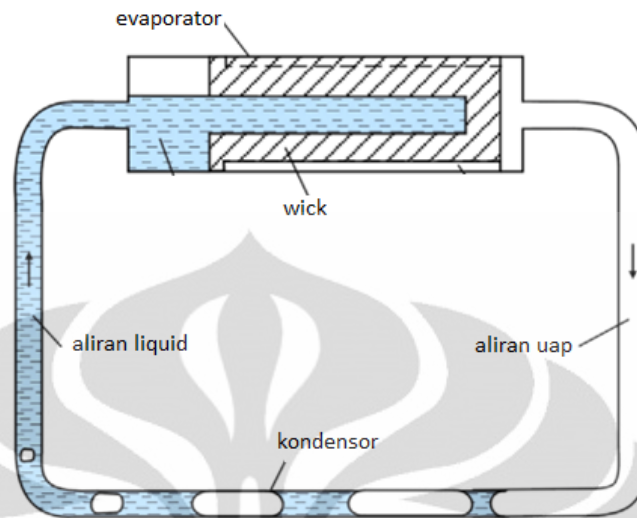
Sejarah perkembangan *loop heat pipe* (LHP) berasal dari 1972, Ketika Pertama perangkat tersebut memiliki panjang 1.2m dan kapasitas sekitar 1kW, dengan air sebagai fluida kerja berhasil dibuat dan diuji oleh para ilmuwan Rusia dan Gerasimov Maydanik dari Lembaga Polytechnical [8]. Munculnya LHP merupakan jawaban terhadap tantangan yang berkaitan dengan permintaan teknologi yang semakin berkembang untuk perangkat yang sangat panas dengan transfer yang efisien dengan semua Keuntungan utama heat pipe konvensional. . *Loop heat pipe* saat ini juga terdapat pada pesawat luar angkasa sebagai untuk manajemen termal masalah pesawat ruang angkasa [45]. Sebuah *loop heat pipe* (LHP) adalah dua fase perpindahan panas yang menggunakan kapileritas untuk menghilangkan panas dari sumber dan memindahkannya ke kondensor. Fungsi dibuatnya LHP mirip dengan heat pipe tetapi memiliki keuntungan untuk dapat menyediakan operasi yang baik melalui jarak jauh dan kemampuan untuk bekerja melawan gravitasi.

*loop heat pipe* (LHP) pertama kali dikembangkan di Uni Soviet di awal tahun 1980 [46], pada saat yang sama *capillary pumped loop* (CPL) dikembangkan di Amerika Serikat. LHP ini dikenal untuk kemampuan memompa yang tinggi dan kuat pada pengoperasiannya karena perbedaan jarak evaporator dan kondensor. *loop heat pipe* (LHP) merupakan desain dasar untuk kontrol termal pesawat ruang angkasa, termasuk Glas NASA, EOS-Chemis mencoba dan pesawat ruang angkasa GOES, ATLID ESA, STENTOR CNES, Obzor RKA, dan beberapa satelit komersial [46]. Banyak makalah *loop heat pipe* (LHP) telah dipublikasikan sejak pertengahan 1980-an. Kebanyakan makalah disajikan hasil pengujian dan diskusi tentang aspek-aspek khusus tertentu dari operasi *loop heat pipe* (LHP).

*Loop heat pipe* ialah sistem transportasi panas yang memanfaatkan tekanan kapiler dikembangkan dari konstruksi dasar pada *straight heat pipe*, namun pada saat yang sama *loop heat pipe* (LHP) jauh lebih sensitif terhadap perubahan orientasi di bidang gravitasi dibanding *heat pipe* konvensional. Masalahnya di sini terletak pada kenyataan bahwa konvensional *heat pipe*, di mana struktur kapiler (*wick*) terletak di sepanjang keseluruhan panjangnya, Dapat menurunkan perpindahan panas [8-10]. Untuk mengimbangi kerugian tekanan tambahan selama gerak cairan ke zona evaporator terhadap gaya gravitasi, diperlukan untuk meningkatkan kapilaritas. Keadaan ini dihubungkan dengan fakta bahwa nilai kapilaritas memberikan sirkulasi fluida kerja dalam *heat pipe* berbanding lurus untuk koefisien ini dan berbanding terbalik dengan jari-jari pori efektif *wick* [10]. Kehilangan tekanan tambahan selama gerak cairan ke zona

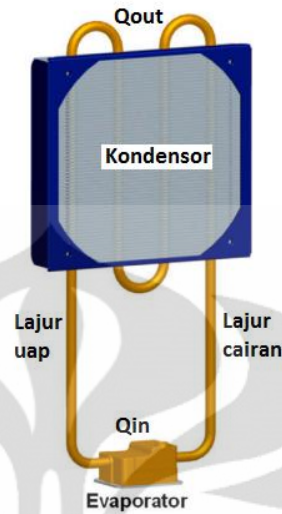
penguapan terhadap kekuatan gravitasi, maka perlu untuk meningkatkan kapilaritas. Jelaslah bahwa dalam kasus ini dapat dilakukan penggunaan wick pada satu sisi Loop heat pipe bisa digunakan. Namun, di sini kita dapat mengamati peningkatan dalam ketahanan hidrolis yang kedua kira-kira sebanding dengan kuadrat dari jari-jari pori. Sebagai hasil dari kontradiksi ini, upaya Yu.F. Maydanik [8] untuk menciptakan sebuah loop heat pipe yang mampu beroperasi secara efisien terhadap gravitasi belum sukses. Bahkan ketika fluida kerja adalah air, yang merupakan fluida kerja dalam suhu rendah, ada juga varian dari solusi masalah ini dengan menggunakan berbagai sarana tambahan untuk penguatan atau bahkan penggantian mekanisme kapiler pemompaan fluida kerja dengan penggunaan wick pada satu sisi loop heat pipe. Namun disamping itu konsep LHP mempunyai keuntungan dalam mekanisme kapiler yang diterapkan, Organisasi pertukaran panas yang efektif selama penguapan dan kondensasi bekerja pada sebuah fluida juga baik pada penurunan tekanan pada bagian (adiabatik) transportasi.

Hal ini jelas bahwa diperlukan peningkatan kapilaritas di satu sisi loop heat pipe. Sebagai hasil dari kontradiksi ini, upaya untuk menciptakan sebuah heat pipe yang cukup mampu untuk beroperasi terhadap gaya gravitasi bumi. Gambar dibawah menunjukkan diagram skematik di mana konsep LHP direalisasikan. Selain mencapai tujuan utama dirumuskan di atas.



**Gambar 2.3** Struktur *Loop Heat Pipe* [8]

Pengoperasian *LHP* didasarkan pada proses fisik yang sama seperti yang digunakan dalam *heat pipe* konvensional. Namun, cukup terorganisir dalam cara yang berbeda. Pertama-tama, menyangkut fungsi- reaksi yang diharapkan dari *wick*, yang memainkan peran lebih rumit di sini pada saat yang sama, memperluas jauh lingkup potensi fungsional dari dua fase transfer panas dengan pemompaan kapiler fluida kerja. *Loop heat pipe* membentuk dasar fleksibel, bercabang, terkontrol, reversibel, miniature. banyak yang memiliki aplikasi ditemukan siap dalam teknologi ruang angkasa dan elektronik memiliki prospek yang baik untuk aplikasi di beberapa bidang lain. Berbagai macam desain dan indikasi fungsional *LHP*



Gambar 2.4 Skema Mekanisme Loop Heat Pipe [8]

Jika panas dipasok ke evaporator, cairan mulai menguap dari *wick* yang berada dalam *evaporator*. Pada saat *evaporator* dipanaskan, sehingga tekanan menjadi lebih tinggi. *Wick* dalam hal ini berfungsi sebagai kunci thermal. Pada saat yang sama uap panas tidak bisa menembus ke dalam kompensasi ruang melalui *wick* jenuh karena kapileritas hanya dimiliki oleh cairan di dalamnya. Perbedaan tekanan menyebabkan perpindahan dari fluida kerja dari garis uap. [10].

Dalam merancang atau membuat sebuah *loop heat pipe*, harus melalui beberapa tahapan teknis yang cukup kompleks, antara lain:

- Seleksi atau pemilihan tipe dan geometri *heat pipe*.
- Seleksi atau pemilihan bahan yang hendak digunakan.
- Evaluasi batasan kinerja dari *heat pipe*.
- Evaluasi kinerja aktual dari *heat pipe*.

Aspek yang juga perlu dipertimbangkan dalam perancangan dan pembuatan *heat pipe* adalah persediaan fluida kerja dan Struktur *wick* pada *heat pipe*

### 2.3 STRUKTUR WICK

Banyak faktor yang mempengaruhi pemilihan *wick* pada *heat pipe*, beberapa faktor sangat tergantung hubungannya terhadap fluida kerja. Tujuan utama *wick* adalah menghasilkan tekanan kapilaritas untuk menghantarkan cairan dari kondenser menuju evaporator. Panas yang kemungkinan akan diterima oleh *heat pipe* di sekitar evaporator, juga harus mampu didistribusikan oleh *wick*.

Memperkecil ukuran pori dari *wick* akan menghasilkan *head* kapilaritas maksimum dari *wick* tersebut. Sementara, nilai permeabilitas akan menurun jika ukuran pori diperkecil, namun demikian untuk homogeneous *wick* ada ukuran pori yang optimum. Cara yang lain untuk memaksimalkan *head* kapilaritas adalah dengan ketebalan *wick*, kemampuan mengalirkan panas pada *heat pipe* meningkat saat menambah ketebalan *wick* [20]. Tetapi, dengan penambahan ketebalan *wick*, fluks panas tidak dapat diserap secara maksimal karena hambatan panas dari sumber panas ke dalam *heat pipe* akan bertambah.

Konduktivitas fluida kerja pada *wick* juga mempengaruhi jumlah total hambatan panas pada evaporator. Tabel 2.1 memberikan sebuah nilai pengukuran dari fluks panas evaporator untuk berbagai jenis kombinasi fluida kerja). Hal lain yang penting dari *wick* adalah kecocokan dengan fluida kerja dan daya basahnya (*wettability*). *Wick* juga harus memungkinkan untuk dapat digunakan pada *heat pipe* berulang-ulang dan dalam jangka waktu yang lama, dan harus mudah dibentuk dengan dinding dalam *heat pipe*.

**Tabel 2.1** Fluks panas evaporator untuk berbagai jenis kombinasi fluida kerja [21]

Fluida kerja	Wick	Temperatur uap (°C)	Flukss panas rata-rata (W/cm <sup>2</sup> )
Helium	s/s mesh	-269	0.09
Nitrogen	s/s mesh	-163	1.0
Ammonia	bervariasi	20-40	5-15
Ethanol	4×100 mesh s/s	90	1.1
Methanol	nickel foam	25-30	0.03-0.4
Methanol	nickel foam	30	0.24-2.6
Methanol	1×200 mesh (horiz.)	25	0.09
Methanol	1×200 mesh (-2_5 cm head)	25	0.03
Water	bervariasi	140-180	25-100
Water	Mesh	90	6.3
Water	100 mesh s/s	90	4.5
Water	nickel felt	90	6.5
Water	sintered copper	60	8.2
Mercury	s/s mesh	360	180
Potassium	s/s mesh	750	180
Potassium	Various	700-750	150-250
Sodium	s/s mesh	760	230
Sodium	Various	850-950	200-400
Sodium	3×65 mesh s/s	925	214

Sodium	508×3600 mesh s/s twill	775	1250
Lithium	niobium 1% zirconium	1250	205
Lithium	niobium 1% zirconium	1500	115
Lithium	SGS-tantalum	1600	120
Lithium	W-26 Re grooves	1600	120
Lithium	W-26 Re grooves	1700	120
Silver	Tantalum 5% tungsten	-	410
Silver	W-26 Re grooves	2000	155

Serat karbon juga dapat dipakai sebagai material *wick*. Filamen serat karbon banyak mempunyai alur-alur longitudinal pada permukaannya dan mempunyai tekanan kapilaritas yang besar. Jumlah penelitian *heat pipe* menggunakan *wick* serat karbon telah banyak diteliti termasuk *wick* serat karbon untuk aplikasi *heat pipe* panjang hingga 100 m [22]. Kemampuan memindahkan panas *wick* serat karbon telah didemonstrasikan dan membuktikan bahwa *wick* serat karbon memindahkan panas tiga kali lebih baik dari *wick mesh* logam. Penggunaan serat karbon harus diperkuat agar mampu menempel pada dinding, pengembangan serat karbon sebagai *wick heat pipe* banyak diaplikasikan pada peralatan-peralatan *aerospace* [23].

### 2.3.1 Konduktivitas Termal Wick pada Heat Pipe

Konduktivitas termal ( $k$ ) adalah sifat bahan yang menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien temperaturnya satu. Persamaan *fourier* merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas



termal. Persamaan tersebut dapat digunakan dalam perhitungan untuk menentukan konduktivitas termal suatu benda. Proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan tahanan. Perpindahan kalor menyeluruh merupakan hasil bagi beda temperatur menyeluruh dengan jumlah tahanan termal [24].

Konduktivitas termal efektif dari sebuah *wick* pada *heat pipe* diperlukan untuk menghitung besarnya hambatan panas yang terjadi antara daerah *evaporator* dengan daerah kondensor. Dalam penentuan konduktivitas termal efektif dari sebuah *wick* terdapat dua model perhitungan, yakni secara paralel dan secara seri.

#### 1. Paralel

Dalam kasus ini diasumsikan bahwa konduktivitas termal antara *wick* dengan fluida kerja efektif pada kondisi paralel [25]. Jika  $k_1$  adalah konduktivitas termal dari fluida kerja dan  $k_s$  adalah konduktivitas termal dari material *wick*, maka konduktivitas termal efektif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$k_w = (1 - \varepsilon)k_s + \varepsilon k_1$$

dimana;

$$\varepsilon = \text{fraksi void} = \frac{\text{volume dari fluida kerja dalam wick}}{\text{total volume wick}}$$

#### 2. Seri

Pada kasus ini konduktivitas termal antara fluida kerja dan *wick* diasumsikan efektif pada kondisi seri [25]. Konduktivitas termal efektif pada kondisi seri dirumuskan sebagai berikut:

$$k_w = \frac{1}{(1 - \varepsilon) / k_s + \frac{\varepsilon}{k_1}}$$

### 2.3.2 Struktur Wick Homogen

Bentuk pori *wick* yang homogen terdapat pada adalah *screen mesh* dan kasa. Jenis ini banyak diproduksi dalam berbagai ukuran pori maupun material yang digunakan, termasuk *stainless steel*, nikel, baja, tembaga dan aluminium. Tabel 2.2 menunjukkan ukuran pori dan nilai permeabilitas dari jenis-jenis *mesh* dan kasa.

**Tabel 2.2** Ukuran pori *wick* dan permeabilitas [21]

Material dan ukuran <i>mesh</i>	Head kapilaritas <sup>1</sup> (cm)	Radius pori (cm)	Permeabilitas (m <sup>2</sup> )	Porositas (%)
Fiber glass	25,4	-	0,061×10 <sup>-11</sup>	-
Refrasil sleeving	22,0	-	0,104×10 <sup>-10</sup>	-
Refrasil (bulk)	-	-	0,18×10 <sup>-10</sup>	-
Refrasil (batt)	-	-	1,00×10 <sup>-10</sup>	-
Monel beads				
30–40	14,6	0,052 <sup>2</sup>	4,15×10 <sup>-10</sup>	40
70–80	39,5	0,019 <sup>2</sup>	0,78×10 <sup>-10</sup>	40
100–140	64,6	0,013 <sup>2</sup>	0,33×10 <sup>-10</sup>	40
140–200	75,0	0,009	0,11×10 <sup>-10</sup>	40
Felt metal				
FM1006	10,0	0,004	1,55×10 <sup>-10</sup>	-

FM1205	-	0,008	$2,54 \times 10^{-10}$	-
Nickel powder				
200 $\mu$	24,6	0.038	$0,027 \times 10^{-10}$	-
500 $\mu$	>40,0	0.004	$0,081 \times 10^{-11}$	-
Nickel fiber				
0.01 mm dia	>40,0	0,001	$0,015 \times 10^{-11}$	68,9
Nickel felt	-	0,017	$6,0 \times 10^{-10}$	89
Nickel foam	-			
Ampornik 220.5	-	0,023	$3,8 \times 10^{-9}$	96
Copper powder				
(sintered)	156,8	0,0009	$1,74 \times 10^{-12}$	52
Copper powder				
(sintered)				
45–56 $\mu$	-	0,0009	-	28,7
100–145 $\mu$	-	0,0021	-	30,5
150–200 $\mu$	-	0,0037	-	35
Nickel 50	4,8	-	-	62,5
Nickel 50		0,0305	$6,635 \times 10^{-10}$	-
Copper 60	3,0	-	$8,4 \times 10^{-10}$	-
Nickel 60	-	0,009		-
100	-	0,0131	$1,523 \times 10^{-10}$	-
100	-	-	$2,48 \times 10^{-10}$	-
120	5,4	-	$6,00 \times 10^{-10}$	-
120 <sup>3</sup>	7,9	0,019	$3,50 \times 10^{-10}$	-
2 <sup>5</sup> ×120	-	-	$1,35 \times 10^{-10}$	-

120	-	-	$1,35 \times 10^{-10}$	-
S/s 180 (22 °C)	8,0	-	$0,5 \times 10^{-10}$	-
2×180 (22 °C)	9,0	-	$0,65 \times 10^{-10}$	-
200	-	0.0061	$0,771 \times 10^{-10}$	-
200	-	-	$0,520 \times 10^{-0}$	-
Nickel 200	23,4	0.004	$0,62 \times 10^{-10}$	68,9
2×200	-	-	$0,81 \times 10^{-10}$	-
Phosp./bronze 200	-	0.003	$0,46 \times 10^{-10}$	67
Titanium 2×200	-	0.0015	-	67
4×200	-	0.0015	-	68,4
250	-	-	$0,302 \times 10^{-10}$	-
Nickel <sup>3</sup> 2×250	-	0.002	-	66,4
4×250	-	0.002	-	66,5
32	-	0.0032	-	-
Phosp/bronze	-	0.0021	$0,296 \times 10^{-10}$	67
S/s (twill) 80 <sup>4</sup>	-	0.013	$2,57 \times 10^{-10}$	-
90 <sup>4</sup>	-	0.011	$1,28 \times 10^{-10}$	-
120 <sup>4</sup>	-	0.008	$0,79 \times 1$	-
250	-	0.0051	-	-
270	-	0.0041	-	-
400	-	0.0029	-	-
450	-	0.0029	-	-

<sup>1</sup> Dalam tinggi colom air .

<sup>2</sup> Diameter Partikel.

<sup>3</sup> telah di oksidasi.

<sup>4</sup> Permeabilitas diukur dalam arah benkok.

<sup>5</sup> Menunjukkan jumlah lapisan.

Polimer telah diusulkan untuk digunakan sebagai material dinding pada *heat pipe* dan *wick*, penggunaannya ditujukan untuk fleksibilitas atau kelenturan, sehingga dapat dipasang pada semua kondisi geometri sumber panas. Pada aplikasi *Loope Heat Pipes* (LPHs) porositas spesifik dan ukuran pori tertentu dibutuhkan untuk meningkatkan daya kapilaritas secara ekstrim, beberapa material polimer seperti keramik, *polyelthylene* digunakan memindahkan fluks panas yang besar hingga 10.000 W/m<sup>2</sup>K dari evaporator [26], seperti yang dilakukan oleh Figus dan Colleagues di Astrium SAS, Prancis. Pada mulanya pori *wick* dari polimer tersebut dibuat sangat kecil untuk meningkatkan kapilaritas, namun pori yang terlalu kecil kenyatannya akan memperkecil permeabilitasnya pula.

### 2.3.3 Hambatan Termal pada *Wick Heat Pipe*

Hambatan termal dari *heat pipe* sangat tergantung dari konduktivitas termal pada jenis *wick* yang digunakan dalam *heat pipe* tersebut. Wei-Chiang Wei, Jay M Ochterbeck mengatakan bahwa hambatan termal dari *heat pipe* merupakan suatu perbandingan antara temperatur *difference* ( $dT = T_{\text{evaporator}} - T_{\text{kondensor}}$ ) dengan beban panas yang diterima (Q) [27], secara matematika dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \frac{dT}{Q}$$

### 2.3.4 Pengaruh Kapilaritas

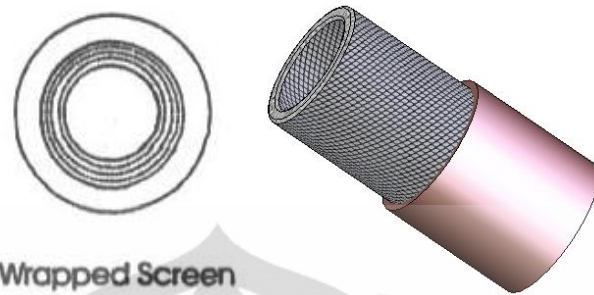
Kapilaritas adalah kemampuan untuk menahan perbedaan tekanan antar cairan dengan gas atau uap dalam sebuah struktur berongga [28]. Kapilaritas berperan dalam perpindahan kalor pada *heat pipe* dengan membuat sebuah mekanisme otomatis mensirkulasikan fluida yang ada di dalam *heat pipe*. Besarnya perbedaan tekanan di evaporator dengan kondenser yang dapat dipertahankan menyebabkan tekanan kapilaritas dapat berlangsung berkesinambungan. Pada *heat pipe*, ketika daya kapilaritas berperan penting terhadap sirkulasi fluida, maka pemilihan fluida kerja berdasarkan *wetting* dan *non-wetting* fluid perlu dipertimbangkan. Meskipun pada teorinya fluida *non-wetting* dapat di gunakan pada semua jenis *heat pipe*, *heat pipe* dengan fluida kerja dengan *non-wetting* mempunyai kapilaritas lebih baik.

### 2.3.5 Jenis Struktur Wick

Jenis stuktur *wick* pada umumnya terdapat beberapa jenis, *wick* yang banyak digunakan pada produk-produk *heat pipe* komersial diantaranya : *Axial Groove*, *Wire Screen Mesh*, *Sintered Powder Metal*, dan *Fiber-Spiral*.



Gambar 2.5 Axial groove wick [29]



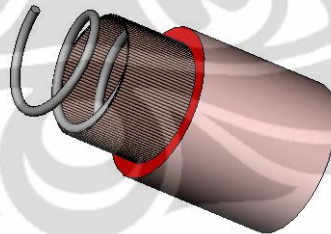
Wrapped Screen

Gambar 2.6 Wire screen mesh wick [29]



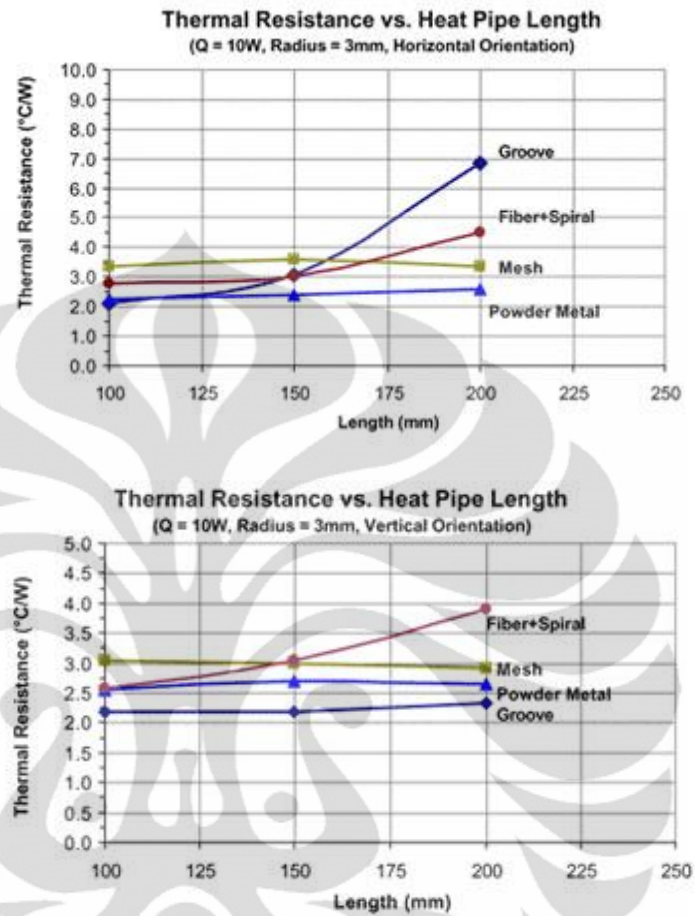
Sintered Metal

Gambar 2.7 Sintered powder wick [29]



Gambar 2.8 Fiber-spiral wick [29]

Salah satu produsen *heat pipe* melakukan eksperimen yang membandingkan kinerja antara masing-masing struktur *wick* [29] dan diperoleh grafik seperti pada gambar 2.7.



**Gambar 2.9** Grafik dan tabel hasil pengujian *heat pipe* dari 4 jenis *wick* dengan orientasi horizontal dan vertikal (pengaruh gaya gravitasi) [29]

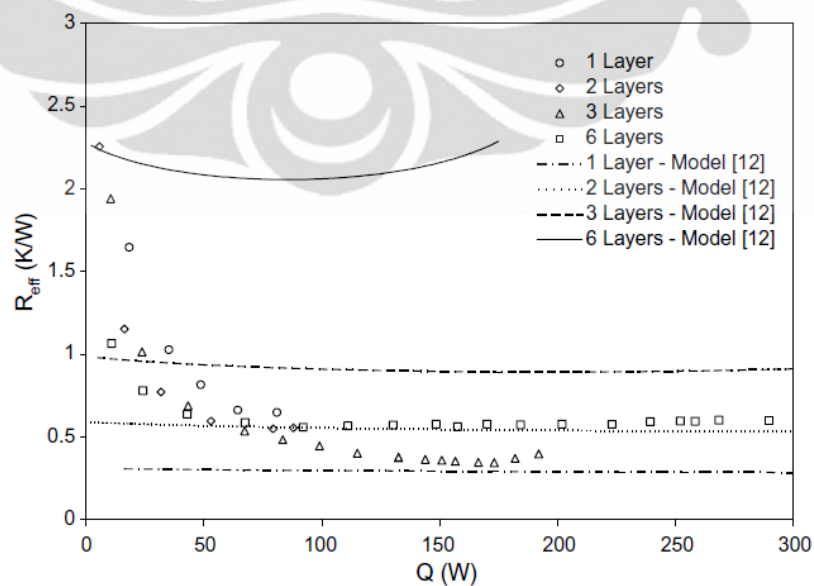
Dari grafik diatas, *heat pipe* dengan struktur *wick* dengan *powder metallurgy* seperti pada gambar 2.8 memiliki tahanan panas yang lebih stabil, baik pengaruh flukstuasi temperatur maupun orientasi gravitasi. Tetapi, berbagai struktur *wick* mempunyai bermacam-macam kelebihan dan kekurangan masing-masing.





**Gambar 2.10** Wick dengan proses *sintered powder*

Perbandingan jumlah lapisan dalam struktur *screen mesh* berpengaruh terhadap hambatan panas. R. Kempers [30], menyimpulkan bahwa semakin besar jumlah lapisan *screen mesh* maka semakin kecil hambatan panasnya. R. Kempers menggunakan *screen mesh* dengan diameter kawat 0.109 mm dan berjumlah *mesh* 3.94 per mm yang terbuat dari material tembaga.



**Gambar 2.11** Pengaruh jumlah lapisan *screen mesh* terhadap hambatan panas [30]

## 2.4 FLUIDA KERJA

Pertimbangan pertama dalam mencari fluida kerja yang cocok dalam sebuah *heat pipe* adalah rentang temperatur kerja fluida, yang dapat dilihat dari tabel 2.3.

**Table 2.3** Fluida kerja pada *heat pipe* [28]

Fluida	Titik lebur (°C)	Titik didih pada tekanan	Temperatur operasi (°C)
		ATM (°C)	
Helium	-271	-261	-271 s/d -269
Nitrogen	-210	-196	-203 s/d -160
Ammonia	-78	-33	-60 s/d 100
Acetone	-95	57	0 s/d 120
Methanol	-98	64	10 s/d 130
Flutec PP2	-50	76	10 s/d 160
Ethanol	-112	78	0 s/d 130
Air	0	100	30 s/d 200
Toluene	-95	110	50 s/d 200
Mercuri	-39	361	250 s/d 650
Sodium	98	892	600 s/d 1200
Lithium	179	1340	1000 s/d 1800
Perak	960	2212	1800 s/d 2300

Untuk mendapatkan pemilihan fluida kerja yang tepat pada *heat pipe* [31], beberapa kriteria diantaranya adalah:

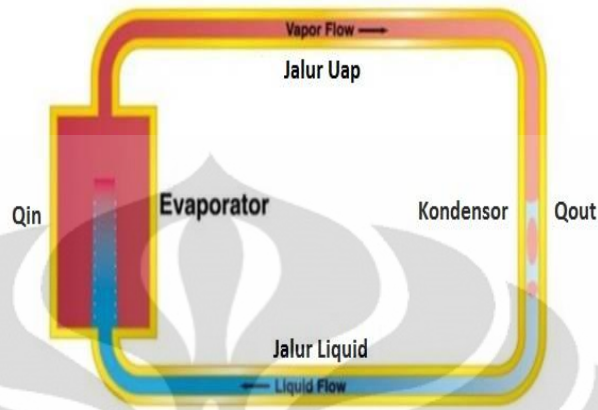
- 1) Kecocokan antara *wick* dan material dinding
- 2) Mempunyai stabilitas termal yang baik

- 3) Mempunyai daya basah (*wettability*) yang baik dengan *wick*
- 4) Tekanan uap tidak terlalu tinggi atau tidak terlalu rendah sesuai dengan rentang temperatur kerja.
- 5) Mempunyai panas laten tinggi
- 6) Mempunyai konduktivitas termal tinggi
- 7) Mempunyai kekentalan rendah saat fase uap maupun cairan
- 8) Mempunyai tekanan permukaan tinggi

Struktur *wick* dalam *heat pipe* harus mampu mengalirkan cairan untuk mengalir dari kondenser menuju evaporator. Ketebalan lapisan *wick* mempengaruhi keseimbangan aliran dua fase dalam *heat pipe* karena tekanan kapilaritas dalam *wick* dibutuhkan untuk memompa cairan dari ujung yang satu ke ujung lainnya [32]. Apabila suatu kondisi melebihi dari batas kemampuan *heat pipe* maka *wick* tidak mampu lagi untuk mengembalikan cairan menuju evaporator, hingga akhirnya evaporator mencapai titik paling kering yang menyebabkan evaporator kelebihan panas pada *heat pipe* [33].

#### **2.4.1 Perubahan Fase Aliran Fluida pada *Loop Heat Pipe***

Secara analisa matematis perpindahan panas dan massa untuk *loop heat pipe* dapat digambarkan melalui gambar berikut:



**Gambar 2.12** Skema mekanisme *loop heat pipe* dengan *porous wick* [19]

Dari gambar tersebut kita dapat mengetahui:

1. Perpindahan energi dalam bentuk uap lebih besar dibandingkan dengan dalam bentuk cair karena adanya penambahan panas laten pada saat perubahan fase cair menjadi uap.
2. Dibandingkan dengan cairan volume spesifik dan kecepatan uap relatif lebih besar akibatnya lebih banyak energi yang hilang pada aliran.
3. Uap yang dihasilkan dari perubahan fase cair mengakibatkan meningkatnya tekanan dalam *heat pipe* yang dapat membantu meningkatkan kecepatan aliran uap pada *heat pipe*.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan *Loop heat pipe*

*Loop Heat pipe* dibuat dengan menggunakan pipa tembaga berdiameter 8 mm, dan pipa khusus yang mempunyai ujung yang mengecil dengan diameter 24mm dan panjangnya 110mm, masing-masing mempunyai tebal 0.85 mm dibuat berbentuk loop dengan keliling 630mm.



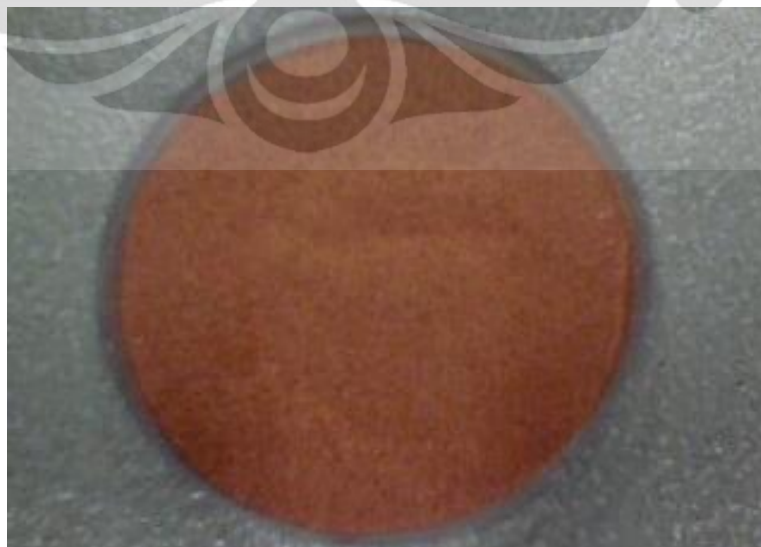
**Gambar 3.1** Pipa tembaga dan proses pemotongan.

Lalu diberikan 2 buah katup nepel, 1 katup nepel untuk memasukkan fluida kerja dan yang lain untuk memastikan tidak ada udara yang terjebak sehingga memudahkan dalam proses pemasukan fluida.



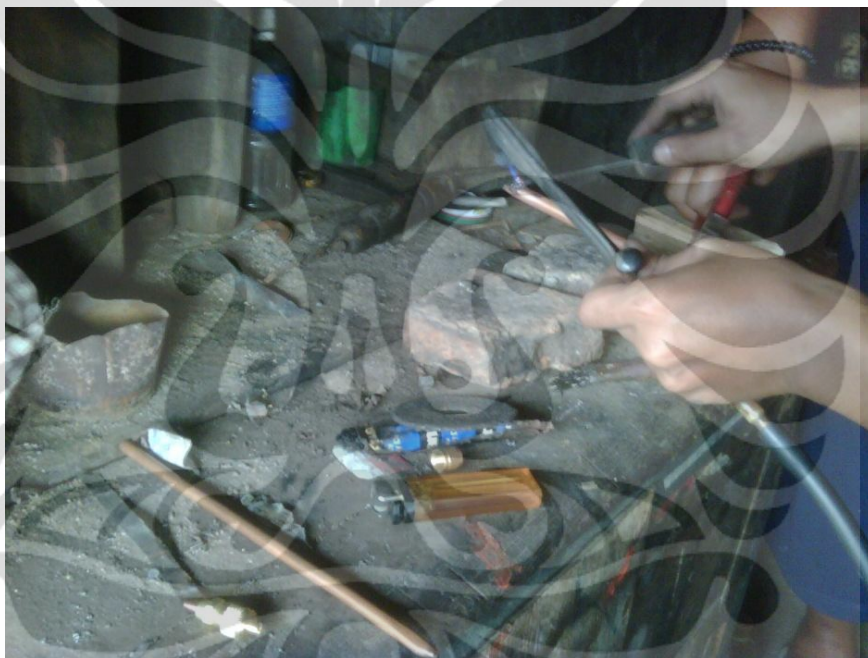
**Gambar 3.2** Katup nepel.

*Loop Heat pipe* dibuat dengan struktur full wick sintered metal powder pada satu sisinya dibuat untuk menghasilkan media berongga (*porous media*). Material penyusun utama berasal dari powder tembaga (*Cu*) berukuran 63  $\mu\text{m}$  kemudian sebagai perekat powder tembaga digunakan powder Aluminium (*Al*) berukuran 10 $\mu\text{m}$  yang diameter butiran lebih kecil atau berukuran 15% dari powder yang akan dilekatkan.



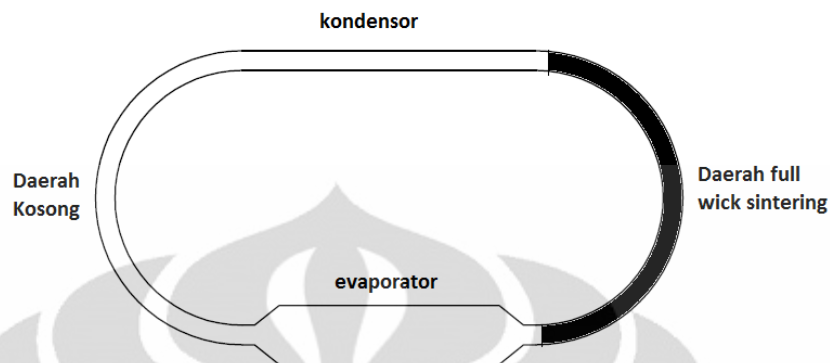
**Gambar 3.3** Powder tembaga

Sedangkan *sintered powder wick* dibuat melalui pemanasan pada tungku pemanas atau dengan melakukan proses sintering. Di dalam tungku pembakaran material uji akan ditahan pada temperatur dibawah temperatur leleh atau disebut juga temperatur sintering. Temperatur sintering berada pada  $920^{\circ}\text{C}$  dan ditahan dalam waktu 20 menit. Perlakuan pada material uji setelah dipanaskan dalam tungku adalah didinginkan secara alami.



**Gambar 3.4** Proses Patri

Setelah itu dilakukan proses penyatuan dengan proses patri seperti proses las yaitu proses penyambungan pipa tembaga yang dapat dilihat pada gambar 3.4. lalu proses pembentukan loop heat pipe seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Rancangan *loop heat pipe*

Seperti yang terlihat pada gambar 3.5, Loop Heat pipe terdiri dari 4 bagian yang berbeda yaitu,

1. *Kondensor*, berfungsi untuk tempat pendinginan dengan tambahan sinkfan maupun double pipe.
2. *Evaporator*, sebagai tempat heater atau penerima panas yang berisi banyak fluida. Bagian ini memiliki luas penampang yang lebih besar daripada yang lain, yang berfungsi untuk tempatnya air sehingga tidak terjadi dry out pada evaporator karena banyaknya kalor yang masuk [8-10].
3. Daerah full wick sintering, pipa tembaga yang berbentuk setengah lingkaran yang berisi full sintering untuk tempat diluainya air (liquid line).
4. Daerah kosong, seperti full wick sintering zone namun bedanya zona ini kosong gunanya untuk tempat diluainya uap (vapor line).

Pengujian Loop heat pipe ini dilakukan dengan menggunakan 2 tipe kondensor yaitu menggunakan sinkfan dengan udara sebagai pendingin seperti



pada gambar 3.6 dan double pipe yang menggunakan pipa yang sama seperti pipa pada evaporator dengan air sebagai pendingin seperti pada gambar 3.7.



**Gambar 3.6** *Heat pipe* menggunakan sinkfan sebagai kondensor



**Gambar 3.7** *Heat pipe* menggunakan double pipe sebagai kondensor

*Heat pipe* menggunakan fluida kerja air (aquades), dan nano fluida dari partikel nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Metode pengisian fluida kerja menggunakan metode vakum, yakni *heat pipe* divakum dengan menggunakan pompa vakum sampai tekanan 30

cmHg atau 0.039 atm. Berikut ialah tabel variasi pengujian yang dilakukan pada loop heat pipe.

**Tabel 3.1** Variasi Pengujian

Loop Heat Pipe	Kondensor	Fluida	Tegangan	Posisi
Perbedaan kondensor	Sink Fan	Air	10,20,30v	90°
	Double Pipe	Air	10,20,30v	90°
	Tanpa Kondensor	Air	10,20,30v	90°
Perbedaan Posisi Kondensor	Double Pipe	Air	10v	90°
	Double Pipe	Air	10v	0°
	Double Pipe	Air	10v	-90°
Perbedaan Fluida	Double Pipe	Air	10,20,30v	90°
	Double Pipe	Nano 1%	10,20,30v	90°
	Double Pipe	Nano 5%	10,20,30v	90°

### 3.2 Proses pengisian fluida kerja.

Pengisian fluida kerja pada *loop heat pipe* dilakukan dengan metode *vacuum*. sebelumnya *loop heat pipe* diisi dengan menggunakan suntik sekitar 60% dari volumenya seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



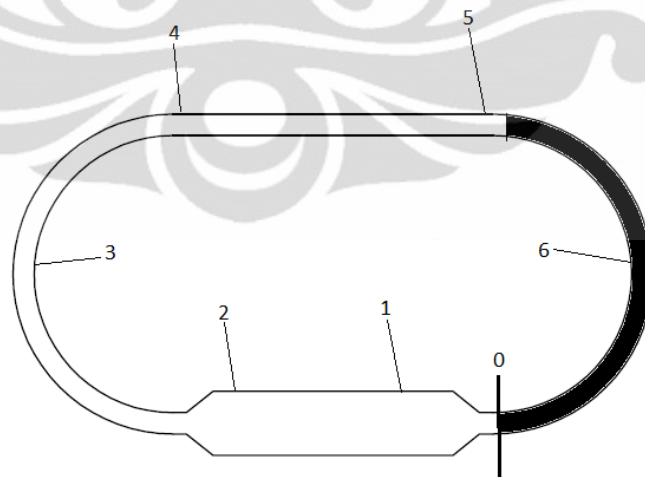
**Gambar 3.8** Pengisian fluida *loop heat pipe*.

Lalu dilakukan metode *vacuum*. Dimana disini *heat pipe* divacum menggunakan pompa vacum hingga tekanan dalam *heat pipe* mencapai tekanan 30 cmHg atau dalam waktu sekitar 15menit.



**Gambar 3.9** Pompa vacum.

### 3.3 Skematik Pengujian



**Gambar 3.10** Posisi temokopel

Pada gambar 3.10 dapat dilihat skema pengujian *loop heat pipe*, yang dilakukan dengan mengukur temperatur pada 6 buah titik *heat pipe* dengan posisi *thermocouple* 4cm, 8cm, 21cm, 31cm, 43cm, 53cm dari titik 0 pada *loop heat pipe*, 6 buah *thermocouple* tersebut terletak pada,

1. Evaporator 1 (4cm)
2. Evaporator 2 (8cm)
3. Adiabatic Empty (21cm)
4. Condensor 1 (31cm)
5. Condensor 2 (43cm)
6. Adiabatic Sintering (53cm)

Lalu *heater* kabel (*fleksibel heater*) dililitkan pada sisi *evaporator* tepatnya pada titik 1 sampai 2 yang terlihat pada gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Pemasangan heater kabel.

Lalu pada bagian kondensor dengan menggunakan sink fan di aktifkan dengan tengangan 12volt dan pada kondensor dengan menggunakan double pipe diberikan selang yang terhubung oleh *thermostatic circulating bath* yang temperaturnya dibuat konstan pada 25°C dengan laju aliran massa 1 L/m. Untuk menghindari kehilangan kalor pada bagian *evaporator*, adiabatik serta sebagian kondensor, *loop heat pipe* diisolasi menggunakan *fiberglass wool* dan *polyurethane* box 30 cm x 20 cm x 8 cm yang terlihat pada gambar dibawah.



**Gambar 3.12** *Loop heat pipe* diisolasi menggunakan fiberglass wool dan polyurethane box.

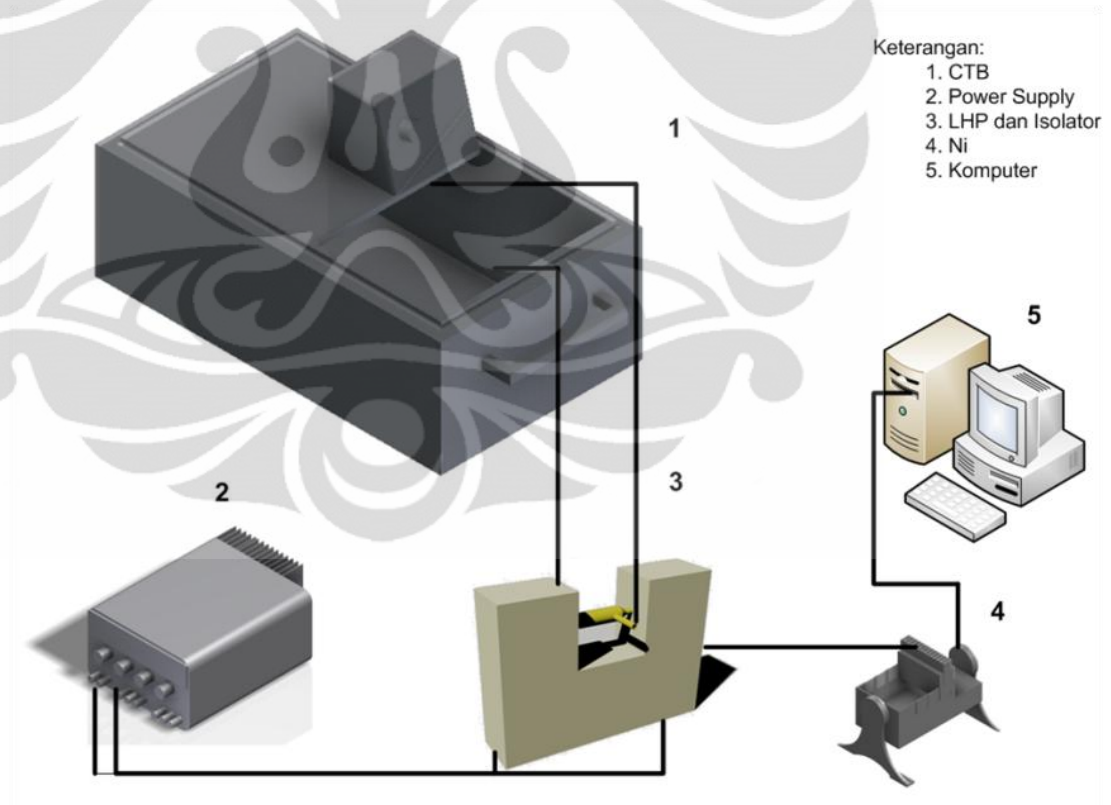
Disamping posisi horizontal dengan posisi kondensor berada diatas yang didinginkan, metode pengujian juga dilakukan dengan memposisikan *loop heat pipe* secara vertikal, horizontal dengan posisi kondensor berada dibawah dan tanpa pendingin dari *thermostatic circulating bath* maupun *fan*. Bagian kondensor dibiarkan bersentuhan secara langsung dengan udara pada temperatur ruangan  $\pm$

30 °C. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa proses kerja *heat pipe* memang berlangsung. Urutan instalasi dalam pengujian yang dilakukan adalah :

1. Pemasangan termokopel pada titik – titik pengukuran. Dua termokopel dipasang pada sisi evaporator, dua termokopel dipasang pada sisi adiabatic, dan dua termokopel dipasang pada kondensor.
2. *Heater* fleksibel digulung di sisi luar bagian evaporator *heat pipe*, lalu ditutup menggunakan aluminium foil.
3. Pemasangan selang pada sisi kondensor pada tipe *double pipe*.
4. Sisi *heat pipe* bagian evaporator dan adiabatik dimasukkan ke dalam kotak polyurethane.
5. Kabel dari *heater* dihubungkan dengan *power supply*.
6. Menghubungkan selang *connector* dari pipa *double pipe* dengan *connector* pada *Circulating thermostatic bath* (CTB).
7. Ujung termokopel yang lainnya dihubungkan dengan data akuisisi National Instruments NI 9211.
8. Menghidupkan CTB.
9. Menghubungkan Data akuisisi dengan computer.
10. Tunggu temperatur CTB hingga temperatur 25<sup>0</sup> C.
11. Menghidupkan *power supply* sesuai daya yang diinginkan.
12. Pengambilan data dilakukan.

\*Perbedaan terhadap tipe *sink fan* yaitu tidak menggunakan CTB melainkan fan dihubungkan pada *power supply* dengan tegangan 12volt

Pengujian dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 3.13, Peralatan pendukung dibutuhkan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, peralatan tersebut berupa peralatan listrik seperti DC *power supply*, termokopel yang berfungsi sebagai sensor temperatur, dan data akuisisi. Daya ( $Q$ ) dari DC-power supply divariasikan pada 10 Watt, 20 Watt dan 30 Watt. Data temperatur yang terukur oleh termokopel jenis K pada beberapa posisi tersebut dihubungkan dan diproses menggunakan data *acquisition* NI cDAQ-9172 dan modul NI 9211 dengan pengolah data berupa *software Labview* 8.5.



**Gambar 3.13** Skematik pengujian *loop heat pipe*

### 3.3.1 Circulating Thermostatic Bath (CTB)



**Gambar 3.14** *Circulating thermostatic bath*

Dalam melakukan pengujian alat *Loop heat pipe* digunakan satu unit *circulating thermostatic bath* (CTB) untuk mengatur temperatur fluida kerja yang berfungsi sebagai pendinginan dan menyerap kalor di kondensor dalam pengujian double pipe. Pada CTB terdapat beberapa komponen seperti bak penampung air, *temperature controller*, pompa, *heater* dan *chiller*.

**Tabel 3.2** Spesifikasi *Circulating Thermostatic Bath*

<b>Operating temperature range</b>	-20 to 200 C
<b>Temperature adjustment</b>	digital
<b>Temperature indication</b>	digital
<b>Heating power</b>	1 kW
<b>Cooling power</b>	0,2 kW
<b>Refrigeration machine</b>	refrigerant
<b>Refrigerant</b>	R290
<b>Pressure pump</b>	0.2 bar
<b>Bath volume</b>	295x193 mm
<b>Width bath opening WxD</b>	150 mm



<b>Bath depth</b>	265 mm
<b>Height of bath opening</b>	350x560x420 mm
<b>Overall dimensions WxDxH</b>	28 kg

### 3.3.2 DC Power Supply

Untuk sumber tenaga bagi heater kabel yang membutuhkan arus listrik DC digunakan satu unit *power supply* DC dengan tegangan maksimum 30 Volt DC dan arus maksimum 20 Amp.

Tabel 3.3 Spesifikasi *power supply*

<b>Brand</b>	BK Precision
<b>Model</b>	9123A
<b>Input Voltage</b>	220 VAC - 240 V AC $\pm$ 10 % 50 Hz
<b>Output Voltage</b>	0 - 30 V
<b>Output Current</b>	0 - 20 V
<b>Dimensi</b>	260 x 160 x 340 mm



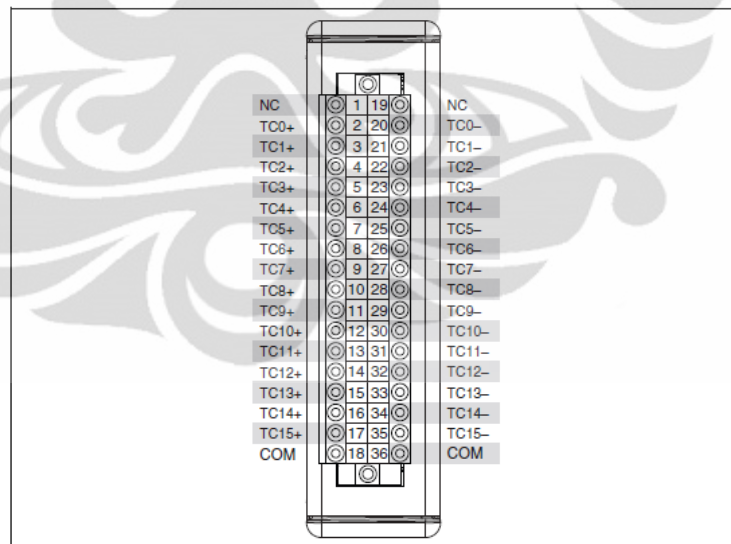
Gambar 3.15 *Power Supply*

### 3.3.3 Data Akuisisi

Dalam pengambilan data digunakan data akuisisi untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan. Data akuisis yang digunakan pada pengujian ini adalah NI 9213 dengan enam belas *channel* termokopel produksi *National Instruments*.



**Gambar 3.16** Data akuisisi NI 9213 dan Chassis NI cDaq-9172



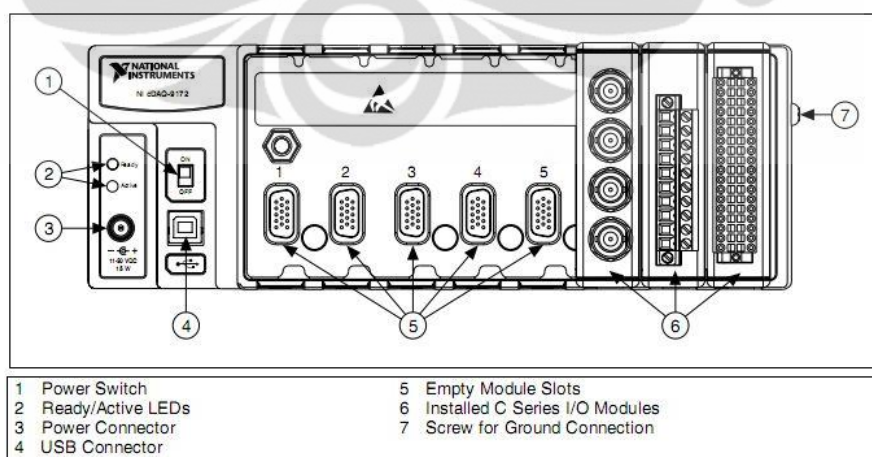
**Gambar 3.17** Channel pada modul NI 9213[34]

Data akuisisi ini menggunakan *software* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi windows seven dengan menggunakan *software* Lab View untuk pengambilan data.

Tabel 3.4 Spesifikasi Data Akusisi NI 9213

<b>Product Name</b>	NI 9213
<b>Operating System</b>	Windows
<b>Measurement Type</b>	Temperature, Thermocouple, Voltage
<b>Channels</b>	0 – 16
<b>Resolutions</b>	24 bits
<b>Output to Computer</b>	USB
<b>Input Measurement Voltage</b>	-80 mV to 80 mV
<b>Thermocouple Type</b>	J,K,R,S,T,N,E

Modul NI 9213 dipasang pada salah satu port yang terdapat pada sasis cDAQ 9172, dari sasis ini akan dihubungkan ke komputer melalui kabel USB (*universal serial bus*) yang selanjutnya dengan bantuan *software* Lab View akan menampilkan hasil pembacaan temperatur dari termokopel.

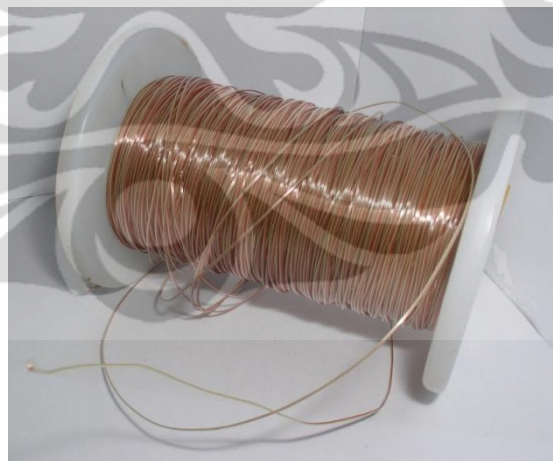


Gambar 3.18 Chassis NI cDAQ 9172 [34]

### 3.3.4 Termokopel

Pada pengujian ini termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K, dengan material pembentuk Kromel (Nikel – Kromium) dan Alumel (Nikel – Aluminium), termokopel menggunakan prinsip efek *Seebeck* dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradient temperatur. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur dari termokopel bergantung pada jenis komposisi material yang digunakan. Karena output dari termokopel berupa tegangan (mV), maka untuk membaca data masukan digunakan data akuisisi.

Agar data hasil pembacaan termokopel akurat, termokopel harus diletakkan pada posisi yang tepat, kesalahan pada posisi termokopel bisa mengakibatkan data yang didapat menjadi tidak valid. Pada gambar 3.12 telah dijelaskan peletakan termokopel.



Gambar 3.19 Termokopel tipe K

### 3.3.5 Pemanas Elektrik

*Heater* (pemanas elektrik) digunakan untuk menghasilkan beban panas pada area evaporator benda uji. Pemanas yang digunakan adalah fleksibel *heater*

yang bentuknya menyerupai kabel dimana hal ini digunakan untuk menyesuaikan bentuk benda uji yang berbentuk silinder, sehingga panas yang diterima oleh benda uji dapat optimum hasil uji menunjukkan heater tanpa perlakuan apapun di set 10 watt dapat menghasilkan lebih dari 140°C.



Gambar 3.20 Heater

### 3.3.6 Polyurethane

Untuk mengisolasi kalor yang dilepas *heat pipe* saat pengujian digunakan *polyurethane*. Material dengan konduktivitas rendah (0,12 W/m-K) dibentuk menjadi balok dengan dimensi 30cm x 20cm x 15cm. Kalor dari *heat pipe* saat pengujian sebisa mungkin diisolasi agar tidak lepas ke lingkungan.



Gambar 3.21 Isolator dengan material *polyurethane*

### 3.3.7 Glasswool

Pada celah-celah sambungan *polyurethane* digunakan *glasswool* untuk memperkecil kehilangan panas. Penggunaan isolator *polyurethane* yang kaku mengakibatkan banyaknya celah. Celah ini dapat memungkinkan banyak panas yang keluar dan mengurangi keakuratan data yang diperoleh.



Gambar 3.22 Glasswool

### 3.3.8 Pompa Vacuum

Pompa *vacuum* digunakan untuk membuat sisa ruang kosong yang ada di dalam *heat pipe* menjadi vakum. Pompa vakum menghisap udara yang terdapat dalam *heat pipe*, sehingga kondisi tekanan didalam *heat pipe* dibawah tekanan atmosfer atau disebut vakum.



Gambar 3.23 Pompa vacuum

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Distribusi temperatur pada *loop heat pipe*.

Pengujian performa *loop heat pipe* melalui beberapa titik yang telah dibahas pada bab 3, disertakan pada perbedaan temperature pada *evaporator* dan kondensor,

$$\Delta T (T_e - T_c) = \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{T_4 + T_5}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lalu juga disertakan dengan hambatan termal *loop heat pipe* pada *evaporator* terhadap kondensor,

$$R = \Delta T (T_e - T_c) / Q \text{ } ^\circ\text{C/Watt}$$

Pengambilan data dilakukan rata-rata selama 100-120 menit sampai temperatur di *evaporator* mencapai *steady state*. Data diambil sebanyak 1 data perdetik. Data kemudian diolah dan dianalisa menggunakan program *Microsoft Excel* dan *Origin Lab*.

##### 4.1.1 Pada perbedaan tipe kondensor.

Dari pengujian kinerja *loop heat pipe* dengan fluida air terhadap perbedaan tipe kondensor, melalui pengukuran pada beberapa titik di daerah *evaporator* adiabatik dan kondensor didapatkan rata-rata temperatur pada titik-titik tersebut seperti tabel berikut:

**Tabel 4.1** Temperatur pada beberapa titik *loop heat pipe*, kondensor *double pipe*, *sinkfan*, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 10 Watt

10 Watt	Temperatur	Double Pipe	SinkFan	Tanpa Pendingin
	T1	54.96	58.94	67.55
	T2	55.08	59.12	69.26
	T3	39.23	43.49	49.95
	T4	28.17	27.01	36.01
	T5	25.61	26.28	34.43
	T6	33.80	39.36	45.01
$\Delta T (T_e - T_c)$		28.13	32.38	33.18
Hambatan termal		2.81	3.24	3.32

**Tabel 4.2** Temperatur pada beberapa titik *loop heat pipe*, kondensor *double pipe*, *sinkfan*, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 20 Watt

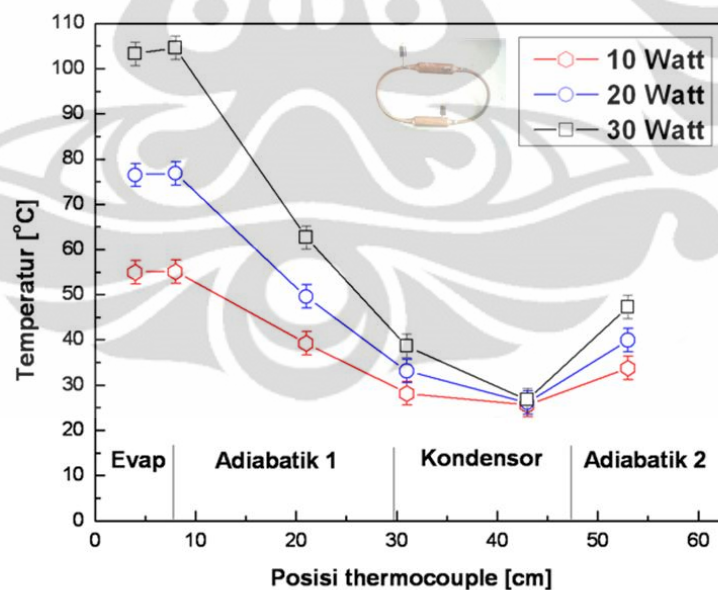
20 Watt	Temperatur	Double Pipe	SinkFan	Tanpa Pendingin
	T1	76.48	82.91	88.84
	T2	76.86	83.00	94.05
	T3	49.63	64.22	66.83
	T4	31.16	29.21	38.42
	T5	26.14	28.91	32.37
	T6	39.94	49.10	52.48
$\Delta T (T_e - T_c)$		48.02	53.90	56.05
Hambatan termal		2.40	2.69	2.80

**Tabel 4.3** Temperatur pada beberapa titik *loop heat pipe*, kondensor *double pipe*, *sinkfan*, dan pada kondisi tanpa pendingin dengan kalor masukan 30 Watt

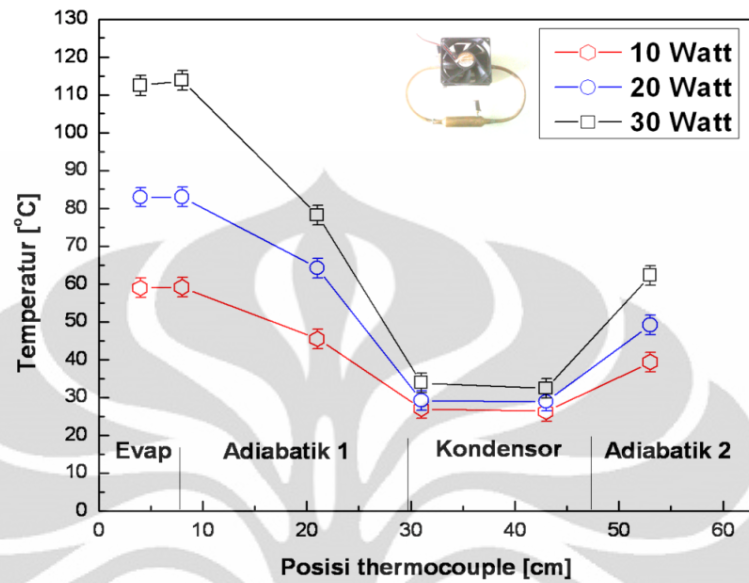
30 Watt	Temperatur	Double Pipe	SinkFan	Tanpa Pendingin
	T1	103.21	112.45	125.45
	T2	104.60	113.80	128.80
	T3	62.65	78.16	85.16
	T4	38.65	33.87	47.87
	T5	26.75	32.38	40.38
	T6	47.25	62.23	69.23
$\Delta T (T_e - T_c)$		71.20	80.00	83.00
Hambatan termal		2.37	2.67	2.77



Dari data pada tabel diatas dan juga pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3, menunjukkan distribusi temperatur pada *loop heat pipe* dengan menggunakan *Double pipe*, *Sinkfan* sebagai kondensor dan juga pada saat tanpa pendinginan dengan daya masukan ( $Q$ ) 10 Watt, 20 Watt dan 30 Watt. Pembebanan atau pemberian kalor ( $Q$ ) pada *evaporator* berpengaruh terhadap distribusi temperatur pada *loop heat pipe*. Penambahan pembebanan menyebabkan temperatur *evaporator* meningkat baik pada *loop heat pipe* dengan tipe kondensor *double pipe* maupun *sink fan*. Kenaikan temperatur sangat signifikan pada termokopel yang berada di bagian evaporator dimana terdapat heater yang mendapat pembebanan.

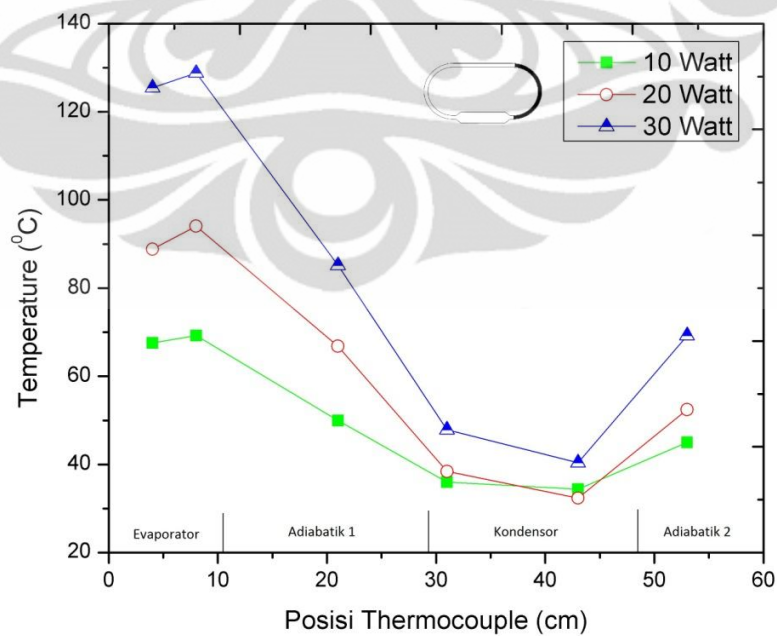


**Gambar 4.1** Distribusi temperatur *loop heat pipe*, kondensor tipe *double pipe* dengan kalor masukan  $Q=10, 20, 30$  Watt



**Gambar 4.2** Distribusi temperatur *loop heat pipe*, kondensor tipe *sinkfan* dengan kalor masukan

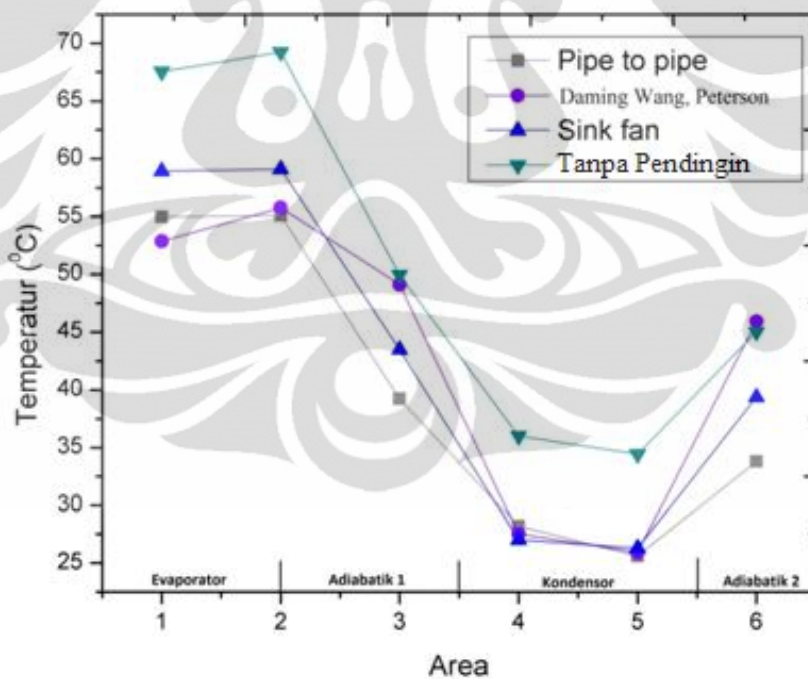
$Q=10, 20, 30$  Watt



**Gambar 4.3** Distribusi temperatur *loop heat pipe*, tanpa menggunakan pendinginan dengan kalor

masukan  $Q=10, 20, 30$  Watt

Distribusi temperatur pada *loop heat pipe* dengan menggunakan *Double pipe*, Sinkfan sebagai kondensor dan juga pada saat tanpa pendinginan pada daya ( $Q$ ) 10 Watt, 20 Watt dan 30 Watt, memiliki temperatur pada sepanjang *loop heat pipe* menurun dari posisi *evaporator* sampai pada daerah kondensor dan naik pada bagian adiabatik 2 yaitu sisi yang menggunakan *wick sintering powder*, karena adanya proses konduksi seperti yang terlihat pada grafik diatas. Temperatur *loop heat pipe* pada bagian *evaporator*, dengan tipe kondensor *double pipe* memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan *sink fan* seperti yang terlihat pada gambar dibawah.



**Gambar 4.4** Distribusi temperatur *loop heat pipe*, kondensor tipe double pipe, sinkfan, pada pendinginan natural dan terhadap penelitian Daming Wang, Peterson dengan kalor masukan 10 Watt

Ini membuktikan bahwa pendinginan dengan air yang mengalir lebih konstan dan lebih baik dibandingkan dengan pendinginan dengan udara. Penggunaan tipe kondensor *double pipe* sebagai pendinginan berupa air dapat mereduksi temperatur pada bagian *evaporator* rata-rata 17,13°C dan pada tipe kondensor *sink fan* dapat mereduksi rata-rata 10,62°C dibandingkan dengan pendinginan natural atau pada kondisi tanpa pendinginan. Hal ini mengindikasikan bahwa tipe pendinginan pada kondensor memiliki pengaruh yang cukup bagus dalam mereduksi temperatur saat *evaporator* bekerja. Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ji Li, Daming Wang, G.P. Peterson [9] yang terlihat pada gambar 4.4 pada penelitian yang telah dilakukan terhadap *loop heat pipe* dengan fluida kerja air dengan pendinginan berupa *sink fan* diberikan beban 10 Watt memiliki temperature pada evaporator  $\pm 54.32^{\circ}\text{C}$  dan perbedaan temperature evaporator dan kondensor  $\Delta T (T_e - T_c) = \pm 27.60^{\circ}\text{C}$ . Hal ini juga sejalan dengan apa yang dilakukan pada penelitian ini yakni untuk pendinginan berupa *sink fan* diberikan beban 10 Watt memiliki temperature pada evaporator  $59.03^{\circ}\text{C}$  dan perbedaan temperature evaporator dan kondensor  $\Delta T (T_e - T_c) = 32.38^{\circ}\text{C}$ , dan pada pendinginan berupa *doublepipe* diberikan beban 10 Watt memiliki temperature pada evaporator  $55.02^{\circ}\text{C}$  dan perbedaan temperature evaporator dan kondensor  $\Delta T (T_e - T_c) = 28.13^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan tersebut dikarenakan *loop heat pipe* yang dibuat oleh Ji Li, Daming Wang, G.P. Peterson [9] memiliki panjang kondensor  $\pm 480\text{mm}$  seperti pada gambar 2.4 yang menghasilkan pendinginan lebih baik dibanding *loop heat pipe* yang digunakan pada penelitian ini dengan panjang kondensor  $\pm 200\text{mm}$ .

#### 4.1.2 Terhadap pengaruh gravitasi.

Dari pengujian kinerja *loop heat pipe* terhadap pengaruh gravitasi dengan menggunakan fluida air dan tipe kondensator *double pipe*, melalui pengukuran pada beberapa titik di daerah evaporator adiabatik dan kondensator didapatkan rata-rata temperatur pada titik-titik tersebut seperti tabel berikut:

**Tabel 4.4** Temperatur pada beberapa titik *loop heat pipe* terhadap pengaruh gravitasi dengan kalor masukan 10 Watt

10 Watt	Temperatur	90°	0°	-90°
	T1	54.96	67.11	69.89
T2	55.08	67.72	70.92	
T3	39.23	45.12	43.70	
T4	28.17	27.58	26.58	
T5	25.61	26.53	26.95	
T6	33.80	38.26	39.23	
$\Delta T (T_e - T_c)$		28.13	40.36	43.64
Hambatan termal		2.81	4.04	4.36



**Gambar 4.5** Posisi kondensator pada variasi sudut.

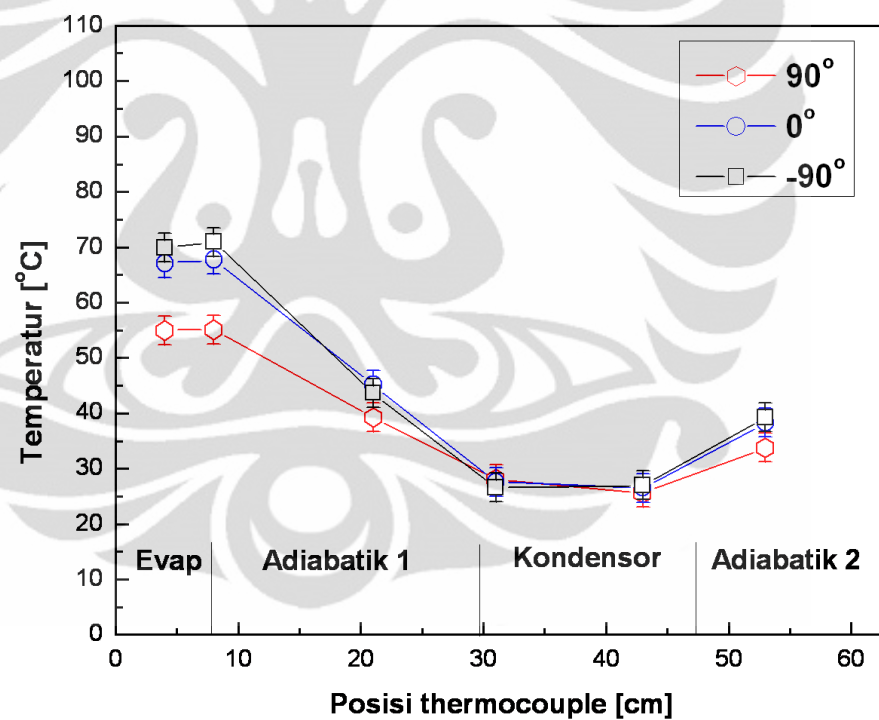
Pengaruh gravitasi sangat berpengaruh pada performa *loop heat pipe* [9] dengan diibaratkan dengan posisi 90° ialah posisi dimana kondensator berada diatas

*evaporator* secara vertikal, posisi  $0^\circ$  ialah posisi dimana kondensor berada sejajar dengan *evaporator* secara horizontal, dan posisi  $-90^\circ$  ialah posisi dimana kondensor berada dibawah *evaporator* secara vertikal.

Dari data pada tabel 4.4 diatas dan pada gambar 4.6 menunjukkan distribusi temperatur pada *loop heat pipe* dengan variasi sudut atau pengaruh terhadap gravitasi pada daya (Q) 10 Watt. Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, temperatur *loop heat pipe* pada bagian *evaporator*, dengan kondensor sudut  $90^\circ$  memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan sudut  $0^\circ$  dan  $-90^\circ$ . Ini membuktikan bahwa gravitasi masih sangat berpengaruh pada performa *loop heat pipe*, pada posisi  $90^\circ$  fluida sepenuhnya berada di *evaporator* yang menerima panas sehingga panas yang diterima langsung dapat direduksikan dengan baik dan fluida yang menguap akan naik menuju kondensor melalui jalur uap yaitu pada daerah kosong, lalu pada kondensor, uap terkondensasi menjadi fluida dan akan menuju ke jalur liquid atau pada daerah *full wick sintering* karena adanya kapilaritas.

Namun pada kondisi  $0^\circ$  fluida terdapat diseluruh bagian jadi panas tidak dapat tereduksi dengan baik karena pada *evaporator* hanya terdapat sebagian fluida yang berfungsi sebagai penerima panas, lalu juga pada jalur uap atau daerah kosong dan pada sisi kondensor juga terdapat fluida yang dapat menghalangi laju uap menuju kondensor sehingga perbedaan temperatur bagian *evaporator* terhadap posisi  $90^\circ$  sangat signifikan rata-rata  $12.40^\circ\text{C}$ . Lalu pada kondisi  $-90^\circ$  fluida terdapat di daerah kondensor yang fungsinya mengkondensasi uap namun pada kondisi ini diisi oleh air dan pada daerah *evaporator* yang berfungsi menerima

kalor dengan penghantar fluida namun hanya sedikit fluida ataupun tidak ada fluida yang terdapat di sisi *evaporator* yang mampu menyerap panas sehingga skema *loop heat pipe* pun tidak terjadi sehingga perbedaan temperatur bagian *evaporator* terhadap posisi  $90^\circ$  sangat signifikan rata-rata  $15.39^\circ\text{C}$ . Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh gravitasi sangat mempengaruhi performa *loop heat pipe* dalam mereduksi temperatur saat *evaporator* bekerja seperti yang dikatakan oleh Ji Li, Daming Wang [9].



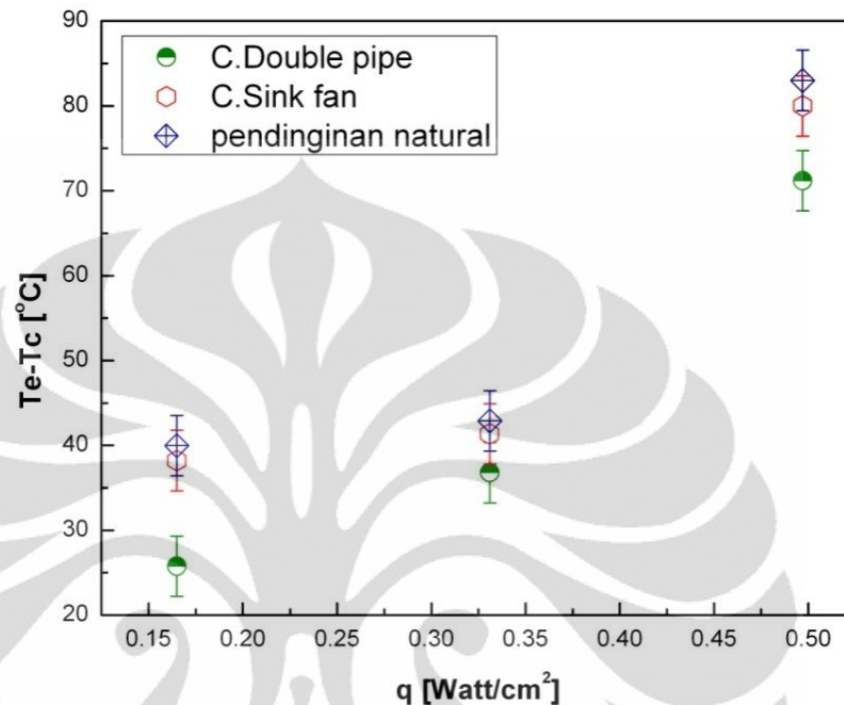
**Gambar 4.6** Distribusi temperatur *loop heat pipe*, terhadap pengaruh gravitasi dengan kalor masukan 10 Watt

#### 4.2 Distribusi fluks panas pada *loop heat pipe*.

*Loop heat pipe* didesain menggunakan bagian *evaporator* yang memiliki diameter pipa tembaga yang lebih besar dibanding pipa tembaga pada bagian yang lain yang disebut dengan *chamber*. Dimana pada bagian *evaporator* dengan semakin besarnya diameter ( $D$ ) maka luasan dinding *evaporator* ( $\pi.D.Le$ ) akan semakin besar sehingga fluks panas ( $q = Q / \pi.D.Le$ ) akan mengecil. Hal ini akan berdampak pada temperatur bagian dalam *evaporator* ( $T_i$ ) sehingga  $\Delta T$  yang terbentuk akan lebih kecil. Hal ini diakibatkan karena jika diameter pada *evaporator* diperbesar maka fluida yang dapat ditampung akan lebih besar. Dengan meningkatnya  $\Delta T$  maka hambatan termal dari *heat pipe* akan lebih kecil.

Distribusi fluks panas pada *loop heat pipe* dihitung berdasarkan perbedaan tipe kondensor yang diberikan pada perbedaan fluida. Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa semakin besarnya fluks panasnya maka perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) antara suhu di *evaporator* dan kondensor akan semakin besar, namun perbedaan tipe kondensor membuat perbedaan pada perubahan temperatur ( $\Delta T$ ) antara suhu di *evaporator* dan kondensor yakni yang lebih rendah dengan menggunakan tipe kondensor *double pipe* dibanding dengan pendingin natural maupun menggunakan kondensor *sink fan*, hal ini membuktikan pendinginan dengan air pada tipe *double pipe* lebih baik dibanding dengan pendinginan dengan udara pada tipe *sink fan*.





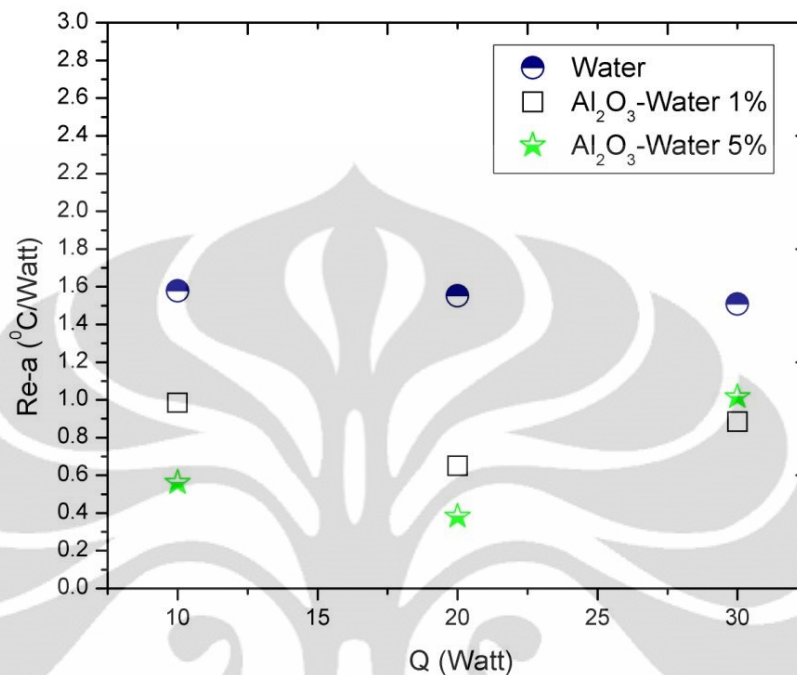
**Gambar 4.7** Distribusi *heat flux* yang terjadi pada *loop heat pipe*, terhadap tipe kondensor.

### 4.3 Hambatan termal pada *loop heat pipe*

Hambatan termal pada *loop heat pipe* dihitung berdasarkan kondisi temperatur pada bagian *evaporator* dengan temperatur pada daerah adiabatik jalur uap terhadap pembebanan yang diberikan pada perbedaan fluida. Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa hambatan termal pada fluida kerja nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-air 5% lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja air maupun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-air 1% . Hambatan panas akan semakin kecil pada peningkatan pembebanan atau penambahan Q. Hal ini merupakan salah satu karakteristik dari *heat pipe* seperti yang dikatakan oleh David Reay dan Peter Kew [20].

Hambatan termal yang lebih kecil menyebabkan reduksi panas pada bagian *evaporator* menjadi lebih besar. Karena hambatan termal fluida nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air lebih kecil dibandingkan  $\text{H}_2\text{O}$  mengakibatkan reduksi panas pada bagian *evaporator* yang dilakukan oleh fluida kerja nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air lebih bagus dibandingkan dengan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Lalu seperti kita lihat pada gambar 4.8 perbedaan hambatan termal terhadap konsentrasi fluida pada 10 watt dan 20 watt memperlihatkan hambatan termal yang paling kecil pada konsentrasi 5% yaitu masing-masing  $0.56^\circ\text{C}/\text{Watt}$  dan  $0.38^\circ\text{C}/\text{Watt}$ . Namun pada kondisi 30 watt nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air yang mempunyai konsentrasi 5% mengalami peningkatan hambatan termal yang mengakibatkan lebih besarnya hambatan termal pada konsentrasi 5% dibanding 1% yaitu masing  $1.02^\circ\text{C}/\text{Watt}$  dan  $0.88^\circ\text{C}/\text{Watt}$ , ini diakibatkan karena perbedaan masa jenis fluida yang lebih besar mengakibatkan pada saat diberikan  $Q$  30watt banyak terjadi penguapan yang mengakibatkan banyaknya endapan sehingga proses kondensasi jadi kurang baik dalam rangka mereduksi panas. Lain hal-nya pada pembebanan 10watt dan 20watt belum banyak terjadi penguapan dalam *loop heat pipe* maka endapan pun belum banyak. Walaupun mengalami peningkatan hambatan termal pada nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air 5% namun tetap lebih kecil dibanding dengan air.

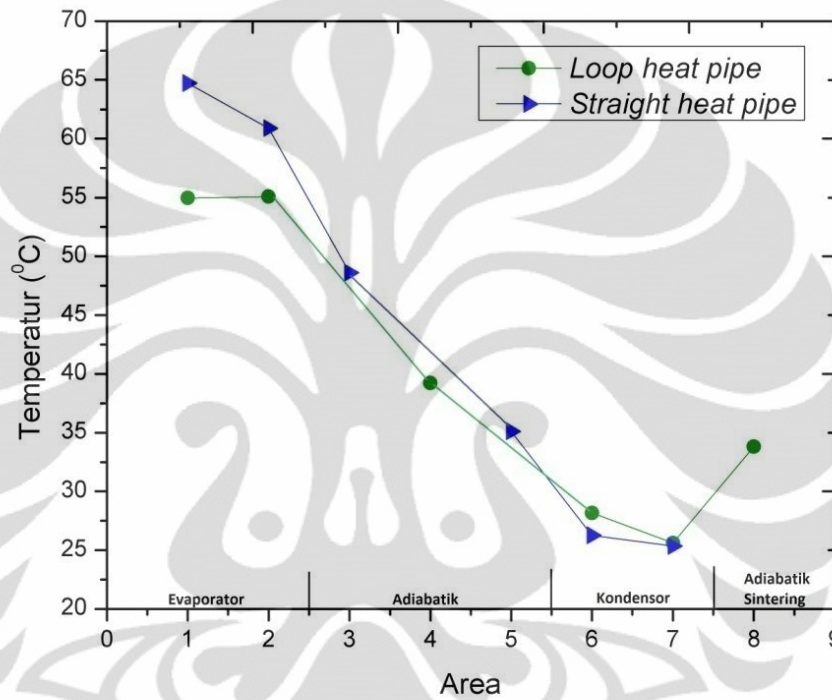


**Gambar 4.8** Hambatan termal diantara evaporator dan daerah adiabatik, fluida kerja air, dan nano – air

#### 4.4 Kinerja *Straight* dan *Loop Heat Pipe*

Pada gambar 4.10 dapat dilihat kinerja dari *straight heat pipe* dan *loop heat pipe*. *Straight heat pipe* menggunakan *screen 300 mesh wick*, sementara *loop heat pipe* menggunakan *sintering wick*. Untuk fluida kerja, keduanya menggunakan air. Beban yang diberikan juga sama yaitu 10 Watt. Kinerja *loop heat pipe* menunjukkan performa yang lebih baik dengan temperatur *evaporator* 55,01 °C, sementara *straight heat pipe* menunjukkan 62,82 °C pada temperatur *evaporator*. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal ini adalah penggunaan *sintering wick* pada *loop heat pipe* dan juga banyaknya fluida yang dapat di tampung oleh *loop heat pipe* terutama pada bagian evaporator, hal ini

membuktikan bahwa performa *loop heat pipe* lebih baik dibanding *straight heat pipe*.



**Gambar 4.9** Distribusi temperatur *loop heat pipe* dibandingkan dengan *straight heat pipe*, dengan kalor masukan 10 Watt

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

1. Perbedaan tipe kondensator berpengaruh terhadap peningkatan kinerja *loop heat pipe* dimana pada penggunaan tipe kondensator *double pipe* dapat mereduksi temperatur pada bagian *evaporator* rata-rata  $17,13^{\circ}\text{C}$  dan pada tipe kondensator *sink fan* dapat mereduksi rata-rata  $10,62^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan pendinginan natural atau pada kondisi tidak memakai kondensator.
2. Perbedaan gravitasi pada performa *loop heat pipe* berpengaruh terhadap peningkatan kinerja *loop heat pipe*, posisi kondensator yang berada diatas *evaporator* secara vertikal atau pada sudut  $90^{\circ}$  paling baik dengan mereduksi temperatur pada bagian *evaporator* rata-rata  $12,40^{\circ}\text{C}$  terhadap sudut  $0^{\circ}$  atau pada posisi dimana kondensator berada sejajar dengan *evaporator* secara horizontal, dan juga mereduksi temperatur pada bagian *evaporator* rata-rata  $15,39^{\circ}\text{C}$  terhadap sudut  $-90^{\circ}$  atau pada posisi dimana kondensator berada dibawah *evaporator* secara horizontal.
3. Hambatan termal pada daerah *evaporator* sampai dengan adiabatik lajur uap terendah terjadi pada *loop heat pipe* dengan pemakaian fluida kerja nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air 5% pada pembebanan 10 Watt dan 20 Watt yaitu masing-masing  $0,56^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$  dan  $0,38^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ . Namun pada pembebanan 30 Watt

fluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air 1% mempunyai hambatan termal terendah yaitu  $0.88^\circ\text{C}/\text{Watt}$ .

4. Perbandingan kinerja *loop heat pipe* pada penggunaan tipe kondensor *double pipe* lebih baik dalam mereduksi temperature *evaporator*. Hal ini dikarenakan pendinginan pada kondensor menggunakan air yang bersirkulasi dengan *circulating thermostatic bath* (CTB) sebagai pendingin menjadikan temperatur pada kondensor konstan.
5. Perbedaan sudut atau pengaruh gravitasi sangat berpengaruh pada performa *loop heat pipe*, posisi kondensor yang berada diatas evaporator secara vertikal atau pada sudut  $90^\circ$  paling baik. Hal ini dikarenakan pada evaporator terdapat banyak fluida yang berfungsi sebagai penghantar dan pereduksi panas.
6. Kinerja *loop heat pipe* yang menggunakan *sintering wick* menunjukkan kinerja lebih baik dari *straight heat pipe* yang menggunakan *screen mesh wick*. Hal ini dikarenakan penggunaan *sintering wick* pada *loop heat pipe* dan juga banyaknya fluida yang dapat di tampung oleh *loop heat pipe* terutama pada bagian evaporator.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masaru Ommi, Tushiro Fukumoto, *State-of-the-art Technologies of Micro Heat-Pipe Heat-Sinks for Notebook PCs*. Thermal Products Dept., Electronic Components Division and Components and Mounting Technology Development.
- [2] K.S.Kim, M.H. Won, J.W. Kim, B.J. Back, *Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU*, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 1137–1144.
- [3] <http://siboys.com/pdf.word/cp-Siboysprosesor-S.pdf>
- [4] W. Chuna, Y.H. Kang, H.Y. Kwakb, Y.S. Leeb, *An experimental study of the utilization of heat pipes for solar water heaters*, Applied Thermal Engineering 19 (1999) 807-817.
- [5] V. Barantsevich, V. Shabalkin, *Heat pipes for thermal control of ISS solar battery drive*, Research Institute of Electromechanics: Moscow, Russia , 2003.
- [6] Igor I. Sviridenko, *Heat exchangers based on low temperature heat pipes for autonomous emergency WWER cooldown systems*, Applied Thermal Engineering, 2006.
- [7] Nandy P., Raldi A.K., *Pengembangan Sistem Pendinginan Thermoelectric dan Heat Pipe pada Prototipe Kotak Sampel Darah Portabel*. Universitas Indonesia. 2007.
- [8] Yu.F. Maydanik, *Loop heat pipes*. Institute of Thermal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Amundsen St. 106, Ekaterinburg 620016, Russia. 2004.
- [9] Ji Li, Daming Wang, G.P. Peterson, *Experimental studies on a high performance compact loop heat pipe with a square flat evaporator*, China and United States.
- [10] Sergey V. Vershinin, Yury F. Maydanik, *Hysteris Phenomena in Loop Heat Pipe*, Rusia. 2006

- [11] A. Hamilton, J.Hu, An electronic cryoprobe for cryosurgery using heat pipes and thermoelectric coolers : a preliminary report, *Journal of Medical Engineering & Technology*, May/June 1993.
- [12] <http://ignaciolarioja.blogspot.com/2010/07/heatpipes.html>
- [13] Perkins, L.P. and Buck, W.E., Improvements in devices for the diffusion or transference of heat. UK Patent No. 22272, London, 1892.
- [14] Gaugler, R.S. *Heat Transfer Devices*. US Patent No. 2350348, Appl. 21 Desember 1942. Published 6 Juni 1944.
- [15] Grover, G.M. *Evaporation-Condensation Heat Transfer Device*. US Patent No. 3229759. Appl. 2 Desember 1963. Published 18 January 1966.
- [16] Cheung, H. *A critical review of heat pipe theory and applications*. USAEC Report UCRL-50453. Lawrence Radiation Laboratory, University of California, 1968.
- [17] Busse, V.A. *Heat pipe research in Europe*. Euratom Report. EUR 4210 f, 1969. REFERENCES 143
- [18] Blackshield<sup>TM</sup>. *Mengenal Teknologi Heat Pipe*. (2008).
- [19] [http://china-heatpipe.net/heatpipe04/03/2006-10-1/061018556408\\_0\\_32.htm](http://china-heatpipe.net/heatpipe04/03/2006-10-1/061018556408_0_32.htm)
- [20] D. Reay, P. Kew, *Heat pipe teory, desain and applications*, 5th edition, Elsevier, 2006
- [21] P. Dunn, D.A. Reay, *Heat Pipes*, 2nd edn., Pergamon Press, Oxford, England, 1978.
- [22] Takaoka, T. et al. *Development of long heat pipes and heat pipe applied products*. Fujikura Technical Review, pp 77–93, 1985
- [23] Schimizu, A. et al. *Characteristics of a heat pipe with carbon fibre wick*. Proceedings of the 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990. Hemisphere, New York, 1991.
- [24] Fabian Korn. *Heat Pipes and its Applications*. Sweden: Dep. Of Energy Science, Faculty of Engineering, Lund University. Heat and Mass Transport (2008) MVK 160.
- [25] Phillips, E.C. and Hinderman, J.D. *Determination of properties of capillary media useful in heat pipe design*. ASME Paper 69-HT-18, 1969.



- [26] P.H. Forchheimer. *Z. Ver. Dtsch. Ing.* 45:1782-1788, 1901.
- [27] Brautsch, A. and Kew P.A. *The Effect of Surface Conditions on Boiling Heat Transfer From Mesh Wicks*, Proceedings of 12th International Heat Transfer Conference, Elsevier SAS, Grenoble, (2002).
- [28] Calvin C. Silverstein, *Design and technology of heat pipes for cooling and heat exchange hand book*, Taylor & Francis, 1992.
- [29] <http://www.enertron-inc.com/enertron-products/heat-pipe-design.php>
- [30] R. Kempers, et al, *Effect of number of mesh layers and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes*, *Journal of Applied Thermal Engineering* 26 589–595, 2006.
- [31] D. Reay, P. Kew, *Heat pipe theory, design and applications*, 5th edition, Elsevier, 2006
- [32] S.W. Chi, *Heat Pipe Theory and Practice*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976.
- [33] G.P. Petersen, *An Introduction to Heat Pipes*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994.
- [34] <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-95/lang/en>
- [35] S. Ergun. *Fluid Flow Through Packed Columns*. *Chem. Eng. Prog.* 48:89-94, (1952).
- [36] Sarit K. Das, Stephen U. S. Choi, Wenhua Yu, T. Pradeep. *Nanofluid Science and Technology*. John Wiley and Son Corporation. (2007).
- [37] Emily Pfautsch. *Forced Convection In Nanofluids Over a Flat Plate*. University of Missouri (2008).
- [38] Pawel Keblinski. *Nano Fluids for Thermal Transport*. Elsevier. *Materials today* (2005), ISSN 1369 7021, 36-44.
- [39] Mapa, Sana Nazhar. *Heat Transfer In Mini Heat Exchanger Using Nanofluids*. Northern Illinois University, DeKalb, (2005).
- [40] Sarit. K. Das, Stephen U.S. *Nanofluid, Science and Technology*. A John Wiley & Sons Incorporation. (2008)

- [41] Shung-Weng Kang, *Effect of Nanofluid Concentration on Heat Pipe Thermal Performance*, Taiwan: Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering Tamkang University.
- [42] Seok Pil Jang, *Effect of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity*, Journal of Heat Transfer : 129 (2007) 617-623.
- [43] J. Weisman and B.S. Pei, *Prediction of Critical Heat Flux in Flow Boiling at Low Qualities*, Int. J. Heat Mass Transfer Vol.26, pp.1463 (1999).
- [44] Kyu Hyung Do, Hyo Jun Ha, Seok Pil Jang. *Thermal resistance of screen Mesh Wick Heat Pipe Using The Water-Based  $Al^2O_3$  nanofluids*. Elsevier. International Journal of Heat and Mass Transfer, volume 25, issues 25-26 (2010) 5888-5894.
- [45] Qing Mo, Jingtao Liang. *Operational performance of a cryogenic loop heat pipe with insufficient working fluid inventory*. Technical Institute of Physics and Chemistry, CAS, Beijing 100080, China.
- [46] Jentung Ku. *Operating Characteristics of Loop Heat Pipes*. NASA Goddard Space Flight Center.



**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *double pipe* daya  
Heater Elektrik 10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
54.959.992	54.959.992	39.235.490	39.235.490	28.150.437	25.614.696
54.948.895	55.071.744	39.241.564	28.163.932	25.617.390	33.790.619
54.955.746	55.071.620	39.225.733	28.151.617	25.601.587	33.788.205
54.974.205	55.078.377	39.231.659	28.174.393	25.614.966	33.799.651
54.969.875	55.074.273	39.226.141	28.170.427	25.608.916	33.791.818
54.963.503	55.086.351	39.236.084	28.176.103	25.615.298	33.804.327
54.959.258	55.071.756	39.238.845	28.159.576	25.598.730	33.789.946
54.948.824	55.077.522	39.232.842	28.166.619	25.602.794	33.791.233
54.964.814	55.072.362	39.233.540	28.167.784	25.602.348	33.795.594
54.954.321	55.066.820	39.228.388	28.156.830	25.599.435	33.785.155
54.954.849	55.073.873	39.235.751	28.160.589	25.612.194	33.805.822
54.956.603	55.080.126	39.235.704	28.165.831	25.609.381	33.802.116
54.956.471	55.067.395	39.228.287	28.154.888	25.601.408	33.793.060
54.957.575	55.079.523	39.231.453	28.162.686	25.616.601	33.799.673
54.946.380	55.077.778	39.240.158	28.174.010	25.603.978	33.794.925
54.955.385	55.073.283	39.234.244	28.158.837	25.610.438	33.791.956
54.962.129	55.074.402	39.236.287	28.169.409	25.622.419	33.798.126
54.950.492	55.063.666	39.224.970	28.155.216	25.603.120	33.784.465
54.961.672	55.067.196	39.235.142	28.153.764	25.610.194	33.786.453
54,96	55,08	39,23	28,17	25,61	33,80

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *double pipe* daya  
Heater Elektrik 20 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
76.501.310	76.817.698	49.286.223	30.969.595	26.127.622	39.924.185
76.512.636	76.815.151	49.370.810	30.906.836	26.125.229	39.927.965
76.525.191	76.821.665	49.453.698	30.850.061	26.139.310	39.921.166
76.547.692	76.853.564	49.480.466	30.809.025	26.135.523	39.932.441
76.562.857	76.861.122	49.436.615	30.760.327	26.141.231	39.940.351
76.577.511	76.851.387	49.484.139	30.701.494	26.138.811	39.946.378
76.575.415	76.845.486	49.544.561	30.659.049	26.135.500	39.942.199
76.578.721	76.847.450	49.601.627	30.614.281	26.139.595	39.945.560
76.564.514	76.845.773	49.587.518	30.598.435	26.136.947	39.932.709
76.562.568	76.854.120	49.605.873	30.592.405	26.141.395	39.945.744
76.556.577	76.854.170	49.663.264	30.639.234	26.144.672	39.938.743
76.534.765	76.849.363	49.666.541	30.701.811	26.145.252	39.931.809
76.517.812	76.862.617	49.655.307	30.775.377	26.134.938	39.935.275
76.504.900	76.852.166	49.639.119	30.852.215	26.140.996	39.936.934
76.495.118	76.871.696	49.706.454	30.922.213	26.143.825	39.946.779
76.488.385	76.859.145	49.645.032	30.982.868	26.145.878	39.933.110
76.485.863	76.857.966	49.547.219	31.055.022	26.144.895	39.929.409
76.475.495	76.852.297	49.483.703	31.123.836	26.137.905	39.930.697
76.487.367	76.852.310	49.503.583	31.175.175	26.147.825	39.936.852
76,48	76,86	49,63	31,16	26,14	39,94

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *double pipe* daya  
Heater Elektrik 30 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
103.249.884	104.578.061	62.923.684	38.629.996	26.757.152	47.228.564
103.231.274	104.577.046	63.104.950	38.538.555	26.743.680	47.215.561
103.244.420	104.576.431	63.248.717	38.453.661	26.745.356	47.228.740
103.258.256	104.580.795	63.332.187	38.350.550	26.741.979	47.224.971
103.266.577	104.577.159	63.419.142	38.250.062	26.747.941	47.225.172
103.256.476	104.586.238	63.333.557	38.208.877	26.751.677	47.221.831
103.268.294	104.598.966	63.211.017	38.282.322	26.745.779	47.224.632
103.255.373	104.586.715	62.818.604	38.367.685	26.742.951	47.222.082
103.243.054	104.611.406	62.346.455	38.450.459	26.746.494	47.224.431
103.257.953	104.636.022	62.258.110	38.562.530	26.757.559	47.240.497
103.259.029	104.623.330	62.336.099	38.738.290	26.761.421	47.256.727
103.267.739	104.622.339	62.393.869	38.889.396	26.754.193	47.265.458
103.253.114	104.615.605	62.373.051	38.961.381	26.744.099	47.242.657
103.251.134	104.621.975	62.313.898	39.016.755	26.755.434	47.251.300
103.230.044	104.615.768	62.224.084	39.014.137	26.739.430	47.233.323
103.201.860	104.611.266	62.200.100	38.979.089	26.743.128	47.244.642
103.203.765	104.626.039	62.467.061	38.907.700	26.757.277	47.262.607
103.204.529	104.621.612	62.627.477	38.809.653	26.745.853	47.253.876
103.210.432	104.598.174	62.870.345	38.719.745	26.747.734	47.245.547
103,21	104,60	62,65	38,65	26,75	47,25

**Data Pengujian Loop Heat Pipe dengan tipe Kondensor double pipe pada 0°  
daya Heater Elektrik 10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
67.116.182	67.725.278	45.132.402	27.599.596	26.549.154	38.255.720
67.102.965	67.724.602	45.123.564	27.584.175	26.536.711	38.255.487
67.123.257	67.718.693	45.136.386	27.585.696	26.544.683	38.258.588
67.109.605	67.719.597	45.135.942	27.581.103	26.542.159	38.255.180
67.112.626	67.718.139	45.119.971	27.590.189	26.555.400	38.267.593
67.108.179	67.713.917	45.130.875	27.598.736	26.548.292	38.254.640
67.121.085	67.739.585	45.147.100	27.591.518	26.550.972	38.271.187
67.112.872	67.725.551	45.127.242	27.582.849	26.553.350	38.259.415
67.124.019	67.739.832	45.133.986	27.590.621	26.545.697	38.257.541
67.118.178	67.742.276	45.128.531	27.584.389	26.550.285	38.262.078
67.124.416	67.733.287	45.137.785	27.590.799	26.538.275	38.268.652
67.126.733	67.740.082	45.136.505	27.597.551	26.544.113	38.275.110
67.117.382	67.724.911	45.127.047	27.586.563	26.535.877	38.265.142
67.111.171	67.730.568	45.119.859	27.569.596	26.524.652	38.264.291
67.115.271	67.715.410	45.119.022	27.579.101	26.529.329	38.260.260
67.113.351	67.719.760	45.120.931	27.584.032	26.519.524	38.258.079
67.126.701	67.714.075	45.124.241	27.584.863	26.528.648	38.272.343
67.114.379	67.724.371	45.124.689	27.586.239	26.533.019	38.251.379
67.108.369	67.714.779	45.129.256	27.588.577	26.533.748	38.259.390
67,11	67,72	45,12	27,58	26,53	38,26

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *double pipe* pada  $-90^{\circ}$   
daya Heater Elektrik 10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
69.888.826	70.939.432	43.711.721	26.582.350	26.945.495	39.255.871
69.893.608	70.935.485	43.709.309	26.573.912	26.937.060	39.241.842
69.893.893	70.934.875	43.704.382	26.573.744	26.937.813	39.247.594
69.894.327	70.924.790	43.709.584	26.575.112	26.931.352	39.238.020
69.894.503	70.928.994	43.705.453	26.591.185	26.941.203	39.241.386
69.889.558	70.941.955	43.701.125	26.582.182	26.938.650	39.243.869
69.895.778	70.938.102	43.720.804	26.601.709	26.948.731	39.247.235
69.901.916	70.947.149	43.713.870	26.602.727	26.946.526	39.252.338
69.896.937	70.946.199	43.717.896	26.601.520	26.949.463	39.247.503
69.896.645	70.938.969	43.701.048	26.597.304	26.948.472	39.238.784
69.902.241	70.940.760	43.713.066	26.605.826	26.968.732	39.250.165
69.905.897	70.945.086	43.719.490	26.598.993	26.967.197	39.248.420
69.893.790	70.941.038	43.713.121	26.589.299	26.961.191	39.250.220
69.894.773	70.934.635	43.707.768	26.589.620	26.958.058	39.240.750
69.887.238	70.939.187	43.706.710	26.583.479	26.955.142	39.249.248
69.893.315	70.938.773	43.715.588	26.593.187	26.955.867	39.243.364
69.909.133	70.936.684	43.709.390	26.590.577	26.950.956	39.247.158
69.893.505	70.932.696	43.692.198	26.592.001	26.957.675	39.237.867
69.894.576	70.924.591	43.697.818	26.582.508	26.950.028	39.233.266
69,89	70,92	43,70	26,58	26,95	39,23



**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *sinkfan* daya Heater  
Elektrik 10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
58.939.553	59.125.253	45.495.987	26.995.074	26.060.870	39.356.551
58.945.560	59.132.159	45.502.497	26.990.413	26.081.321	39.365.143
58.943.774	59.133.965	45.505.451	26.998.251	26.114.511	39.368.795
58.937.257	59.131.266	45.489.143	26.987.425	26.090.773	39.369.928
58.931.714	59.121.007	45.476.987	26.991.872	26.099.832	39.357.254
58.945.184	59.126.394	45.493.967	26.996.474	26.157.893	39.373.411
58.948.374	59.123.520	45.498.315	26.996.290	26.181.211	39.367.995
58.939.911	59.121.795	45.493.631	26.988.535	26.176.906	39.361.466
58.938.425	59.123.228	45.492.359	26.996.221	26.159.944	39.367.926
58.939.429	59.129.845	45.495.862	26.993.797	26.158.440	39.369.626
58.942.147	59.136.155	45.496.338	27.000.036	26.180.812	39.371.015
58.938.064	59.131.624	45.487.240	27.003.909	26.233.992	39.365.967
58.935.577	59.125.768	45.493.336	26.994.682	26.279.130	39.363.218
58.942.548	59.129.371	45.489.497	26.997.685	26.306.094	39.360.725
58.945.677	59.128.907	45.494.237	27.002.504	26.337.640	39.367.082
58.938.847	59.120.955	45.480.783	26.992.279	26.343.303	39.353.787
58.946.954	59.122.999	45.495.071	27.002.202	26.341.944	39.366.555
58.947.935	59.136.554	45.501.722	27.017.252	26.293.652	39.363.454
58.937.901	59.120.009	45.493.415	27.019.396	26.252.025	39.356.697
58,94	59,12	45,49	27,01	26,28	39,36

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *sinkfan* daya Heater  
Elektrik 20 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
82.863.055	82.950.379	64.172.186	29.229.442	28.957.853	49.071.386
82.870.931	82.954.672	64.176.932	29.236.145	28.936.522	49.072.103
82.864.103	82.958.368	64.175.477	29.228.450	28.937.098	49.079.444
82.879.988	82.963.953	64.188.463	29.354.558	28.953.861	49.087.336
82.874.541	82.966.790	64.182.562	29.227.443	28.945.512	49.086.358
82.875.486	82.965.945	64.190.232	29.109.171	28.934.533	49.080.763
82.878.622	82.955.870	64.194.716	29.170.059	28.944.186	49.083.926
82.891.599	82.972.430	64.198.516	29.279.865	28.941.418	49.086.400
82.898.228	82.985.777	64.210.979	29.235.207	28.945.005	49.097.151
82.885.527	82.969.269	64.200.731	29.214.593	28.928.752	49.083.663
82.887.011	82.979.485	64.205.129	29.291.468	28.920.623	49.090.354
82.897.409	82.978.688	64.205.676	29.189.106	28.923.482	49.087.969
82.889.350	82.997.274	64.207.695	29.346.704	28.925.551	49.096.778
82.899.452	82.983.641	64.205.032	29.254.152	28.921.212	49.094.320
82.905.460	82.994.352	64.215.752	29.166.121	28.910.602	49.105.800
82.905.784	82.994.899	64.218.093	29.135.206	28.916.680	49.100.707
82.896.669	82.994.293	64.209.418	29.111.148	28.906.176	49.100.998
82.905.115	82.995.350	64.228.181	29.180.011	28.896.459	49.100.258
82.902.018	83.005.911	64.236.510	29.072.750	28.923.386	49.102.328
82,91	83,00	64,22	29,21	28,91	49,10

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tipe Kondensor *sinkfan* daya Heater  
Elektrik 30 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
112.375.899	113.757.670	78.161.851	33.799.300	32.397.963	62.177.440
112.401.093	113.751.576	78.070.807	33.811.684	32.394.330	62.173.434
112.394.886	113.770.772	78.014.331	33.805.191	32.398.823	62.190.168
112.364.432	113.764.796	77.768.334	33.774.689	32.404.471	62.187.176
112.334.430	113.772.204	77.842.994	33.865.421	32.400.268	62.185.304
112.322.503	113.775.468	78.043.129	33.958.831	32.400.815	62.191.670
112.329.492	113.769.531	78.101.719	33.897.723	32.396.882	62.195.893
112.350.662	113.776.652	78.200.489	33.889.806	32.402.698	62.197.999
112.365.240	113.771.731	78.254.488	33.958.265	32.403.914	62.204.123
112.410.914	113.769.117	78.363.573	33.989.251	32.402.191	62.207.370
112.448.213	113.769.465	78.242.183	33.947.061	32.397.504	62.208.836
112.506.314	113.774.294	78.033.021	33.929.972	32.401.463	62.218.543
112.515.885	113.773.663	77.989.882	33.820.458	32.397.848	62.219.489
112.538.394	113.787.340	78.100.712	33.929.172	32.391.270	62.225.383
112.568.908	113.767.056	77.920.710	33.915.584	32.374.456	62.215.200
112.600.621	113.788.127	77.739.208	33.896.572	32.400.311	62.231.319
112.617.527	113.799.373	77.692.344	33.871.999	32.388.301	62.227.410
112.575.621	113.798.275	77.798.669	33.830.634	32.385.819	62.231.259
112.497.390	113.825.486	78.116.630	33.858.983	32.398.173	62.237.748
112,45	113,80	78,16	33,87	32,38	62,23

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tanpa Kondensor daya Heater  
Elektrik 10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
67.415.677	69.154.951	49.903.033	36.029.191	34.433.400	33.842.769
67.405.040	69.161.061	49.891.378	36.027.619	34.428.791	45.022.822
67.429.182	69.182.248	49.913.048	36.029.907	34.429.475	45.030.033
67.431.239	69.190.545	49.904.256	36.032.062	34.427.706	45.034.982
67.443.093	69.191.610	49.907.403	36.022.921	34.420.873	45.040.095
67.463.694	69.204.859	49.910.616	36.026.886	34.428.057	45.049.464
67.473.980	69.199.143	49.927.682	36.036.957	34.428.679	45.037.103
67.486.590	69.198.961	49.930.586	36.022.407	34.429.285	45.040.844
67.504.350	69.213.966	49.922.134	36.029.187	34.430.718	45.051.033
67.500.976	69.208.039	49.929.139	36.030.179	34.428.855	45.038.455
67.520.989	69.216.348	49.941.605	36.019.468	34.432.054	45.033.136
67.531.443	69.217.323	49.939.274	36.015.716	34.422.585	45.029.618
67.539.952	69.227.700	49.938.347	36.016.982	34.423.139	45.019.487
67.553.402	69.235.441	49.944.240	36.013.362	34.427.191	45.015.040
67.570.084	69.247.993	49.952.918	36.013.857	34.424.115	45.004.050
67.580.048	69.246.975	49.948.673	36.009.680	34.421.897	45.007.283
67.588.739	69.281.471	49.952.283	36.011.371	34.428.410	45.016.587
67.592.979	69.318.746	49.958.579	36.015.420	34.431.929	45.030.565
67.387.686	69.335.935	49.962.308	36.013.753	34.430.795	45.029.220
67,55	69,26	49,95	36,01	34,43	45,01

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tanpa Kondensor daya Heater  
Elektrik 20 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
88.381.150	93.583.113	66.600.753	38.262.145	32.033.036	52.192.632
88.415.761	93.916.393	66.633.372	38.285.640	32.082.722	52.202.280
88.452.707	94.318.349	66.642.412	38.295.815	32.110.908	52.195.432
88.484.179	94.590.834	66.664.041	38.319.951	32.147.114	52.224.682
88.541.594	95.027.870	66.670.083	38.327.471	32.150.904	52.257.572
88.572.077	95.181.811	66.671.198	38.324.836	32.177.216	52.243.089
88.610.160	95.040.540	66.689.943	38.353.541	32.219.548	52.244.041
88.644.469	94.893.181	66.709.561	38.374.475	32.249.645	52.293.179
88.694.251	94.379.881	66.720.915	38.391.348	32.284.723	52.340.854
88.740.114	94.144.794	66.727.705	38.398.974	32.313.672	52.368.709
88.762.054	94.327.296	66.740.500	38.417.547	32.362.644	52.391.499
88.804.832	94.347.559	66.761.958	38.440.784	32.372.351	52.398.328
88.843.259	94.489.002	66.782.892	38.447.529	32.381.315	52.436.571
88.884.322	94.325.725	66.804.349	38.472.921	32.430.404	52.425.730
88.918.714	94.094.869	66.813.139	38.481.552	32.450.739	52.422.306
88.960.823	93.703.997	66.822.711	38.505.699	32.470.858	52.454.508
88.981.537	93.469.197	66.859.387	38.520.560	32.515.741	52.481.795
89.019.913	93.292.636	66.883.229	38.537.230	32.537.137	52.586.505
88.158.604	94.144.794	66.902.048	38.550.709	31.579.019	52.681.521
88,84	94,05	66,83	38,42	32,37	52,48

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan tanpa Kondensor daya Heater  
Elektrik 30 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
125.299.882	129.299.882	84.630.699	47.677.464	40.056.905	69.112.259
125.187.945	129.187.945	84.648.368	47.732.233	40.063.117	69.122.877
125.102.197	129.102.197	84.670.712	47.852.347	40.091.713	69.154.951
125.008.510	129.008.510	84.681.809	47.972.992	40.111.009	69.161.061
125.796.813	129.796.813	84.695.561	47.961.603	40.128.887	69.182.248
125.649.320	129.649.320	84.736.449	47.904.773	40.151.272	69.190.545
125.474.444	129.474.444	84.729.482	47.824.192	40.170.635	69.191.610
125.313.656	129.313.656	84.758.743	47.843.329	40.180.952	69.204.859
125.115.254	129.115.254	84.789.335	47.930.097	40.202.106	69.199.143
125.918.053	129.918.053	84.811.426	47.973.834	40.234.351	69.198.961
125.777.231	129.777.231	84.839.530	47.893.464	40.238.408	69.213.966
125.590.918	129.590.918	85.173.873	47.857.049	40.266.744	69.208.039
125.349.965	129.349.965	85.221.170	47.946.488	40.282.519	69.216.348
125.382.572	129.382.572	85.266.610	48.004.424	40.295.446	69.217.323
125.606.895	129.606.895	85.302.152	47.989.848	40.321.480	69.227.700
125.565.759	129.565.759	85.352.245	47.919.783	40.339.956	69.235.441
125.485.868	128.485.868	85.405.237	47.884.498	40.358.995	69.247.993
125.866.286	124.866.286	85.429.329	47.917.169	40.381.804	69.246.975
125.392.484	129.392.484	85.473.638	47.870.697	40.390.597	69.235.441
125,45	128,80	85,16	47,87	40,38	69,23

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 1% daya *Heater* Elektrik  
10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
61.689.395	63.203.269	52.409.666	29.930.088	25.713.269	37.021.687
61.558.805	63.150.992	52.484.243	29.814.459	25.448.117	36.911.254
61.546.045	63.169.850	52.490.846	29.721.454	25.451.141	36.849.921
61.514.452	63.127.963	52.431.461	29.755.343	25.506.050	36.912.458
61.631.418	63.219.978	52.519.784	29.895.213	25.544.881	37.079.052
61.591.416	63.023.286	52.494.082	29.679.603	25.308.017	36.828.996
61.583.547	63.277.052	52.456.642	29.729.787	25.363.108	37.016.468
61.639.205	63.114.545	52.603.855	29.751.002	25.436.918	36.777.680
61.701.013	63.146.279	52.601.259	29.804.092	25.431.973	36.978.762
61.755.954	63.200.520	52.581.517	29.020.278	25.551.384	37.030.294
61.624.550	63.086.221	52.540.281	29.802.967	25.519.379	36.907.169
61.691.695	63.235.161	52.763.950	29.915.181	25.550.582	36.927.777
61.613.517	63.207.467	52.662.471	29.780.589	25.441.410	36.920.585
61.603.271	63.187.587	52.718.327	29.785.729	25.468.229	36.924.080
61.633.450	63.221.560	52.634.094	29.787.465	25.475.270	36.908.693
61.638.965	63.225.727	52.499.520	29.838.028	25.447.739	36.936.197
61.571.198	63.140.511	52.392.216	29.895.566	25.489.443	36.743.877
61.685.811	63.289.136	52.554.367	29.894.635	25.666.251	37.005.955
61.471.481	63.225.135	52.484.632	29.920.540	25.469.033	36.930.349
61,63	63,19	52,56	29,85	25,43	36,98

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 1% daya *Heater* Elektrik  
20 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
90.909.734	92.059.758	78.701.629	30.252.395	26.212.737	44.602.514
90.906.261	92.063.022	78.687.870	30.251.598	26.212.398	44.608.125
90.921.472	92.090.151	78.724.971	30.266.234	26.218.565	44.612.871
90.920.813	92.090.614	78.717.376	30.256.150	26.214.433	44.631.625
90.916.708	92.096.165	78.705.225	30.251.034	26.213.905	44.645.074
90.937.597	92.104.491	78.674.801	30.252.425	26.222.214	44.645.421
90.934.508	92.129.031	78.592.268	30.271.760	26.243.695	44.636.011
90.952.785	92.143.954	78.460.313	30.279.662	26.283.190	44.643.035
90.974.942	92.168.599	78.547.983	30.277.759	26.251.790	44.648.034
90.975.538	92.182.001	78.723.375	30.278.368	26.229.133	44.667.040
90.975.684	92.186.640	78.836.320	30.277.140	26.207.626	44.664.068
90.985.719	92.187.024	78.925.553	30.273.172	26.199.956	44.660.576
90.989.720	92.196.194	78.992.879	30.271.295	26.199.684	44.656.737
90.993.562	92.204.533	78.981.491	30.282.568	26.210.540	44.675.504
90.001.313	92.215.436	78.962.587	30.283.608	26.204.903	44.679.209
90.997.420	92.207.945	78.016.894	30.268.152	26.199.294	44.662.536
90.998.675	92.222.904	78.023.964	30.268.287	26.193.209	44.685.527
90.013.688	92.234.336	78.079.889	30.279.278	26.201.708	44.684.142
90.010.348	92.244.247	78.126.242	30.270.583	26.206.804	44.684.249
90,01	92,24	78,13	30,27	26,21	44,70



**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 1% daya *Heater* Elektrik  
30 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
115.055.753	122.221.650	92.038.970	36.713.337	27.703.926	53.445.639
115.038.694	122.209.212	92.837.134	36.708.172	27.691.349	53.430.669
115.023.229	122.209.749	92.378.051	36.706.198	27.695.346	53.429.401
115.016.412	122.218.444	92.338.210	36.720.398	27.678.347	53.435.735
115.028.930	122.220.893	92.323.815	36.723.310	27.699.477	53.438.825
115.021.572	122.204.000	92.515.136	36.697.465	27.693.677	53.435.188
115.017.612	122.217.589	92.560.105	36.697.848	27.694.754	53.428.599
115.030.140	122.218.683	92.819.786	36.701.685	27.688.260	53.435.520
115.044.801	122.219.622	92.623.057	36.697.146	27.693.355	53.431.953
115.045.226	122.232.115	92.374.518	36.712.870	27.713.819	53.442.933
115.032.881	122.220.501	92.100.034	36.721.776	27.697.008	53.436.866
115.532.796	122.211.764	92.705.848	36.708.676	27.698.074	53.433.861
115.029.518	122.221.707	92.930.042	36.722.071	27.699.609	53.436.707
115.026.628	122.226.570	92.929.291	36.742.474	27.708.211	53.444.652
115.031.186	122.225.645	92.122.464	36.752.279	27.714.415	53.450.031
115.027.071	122.229.744	92.122.464	36.746.570	27.709.348	53.441.042
115.027.180	122.233.041	92.122.464	36.768.143	27.710.610	53.451.487
115.015.693	122.239.361	92.122.464	36.770.370	27.709.863	53.453.004
115.016.692	122.222.594	92.122.464	36.758.581	27.707.184	53.442.975
115,01	122,24	92,13	36,77	27,71	53,44

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 5% daya *Heater* Elektrik  
10 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
63.721.531	66.420.359	59.773.500	29.062.223	25.568.029	38.302.683
63.730.674	66.437.782	59.783.603	29.084.274	25.573.743	38.321.543
63.709.576	66.412.221	59.761.244	29.062.837	25.573.715	38.303.291
63.717.918	66.430.859	59.755.202	29.073.246	25.584.139	38.319.742
63.721.267	66.419.199	59.734.660	29.072.771	25.587.813	38.303.782
63.708.429	66.417.570	59.704.145	29.057.285	25.570.922	38.306.226
63.718.645	66.428.674	59.700.214	29.067.777	25.590.419	38.316.836
63.720.839	66.424.147	59.665.877	29.068.419	25.567.548	38.314.510
63.715.840	66.435.278	59.655.883	29.067.198	25.576.008	38.312.618
63.731.116	66.433.073	59.627.492	29.070.226	25.583.420	38.321.765
63.718.204	66.443.240	59.621.264	29.073.769	25.588.352	38.319.804
63.708.919	66.423.883	59.588.908	29.057.558	25.561.974	38.306.723
63.716.798	66.429.068	59.595.033	29.058.283	25.569.155	38.314.047
63.715.936	66.443.213	59.587.623	29.059.699	25.568.960	38.322.739
63.711.351	66.439.752	59.576.692	29.061.437	25.569.086	38.316.485
63.728.977	66.438.551	59.567.134	29.063.195	25.579.837	38.328.703
63.718.306	66.452.077	59.554.589	29.053.846	25.573.472	38.319.225
63.719.380	66.444.415	59.517.316	29.047.352	25.571.118	38.306.876
63.718.320	66.453.660	59.500.682	29.052.710	25.572.796	38.322.201
63,72	66,45	59,48	29,06	25,57	38,32

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 5% daya *Heater* Elektrik  
20 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
93.674.127	98.762.848	88.657.523	30.188.571	26.063.185	47.717.935
93.671.402	98.768.211	88.763.577	30.188.309	26.060.157	47.716.998
93.675.610	98.776.248	88.630.131	30.194.909	26.061.483	47.719.658
93.677.753	98.782.441	88.632.269	30.198.479	26.069.675	47.718.425
93.686.641	98.787.749	88.727.078	30.198.160	26.074.885	47.732.137
93.673.825	98.784.125	88.678.484	30.195.378	26.073.935	47.715.369
93.691.224	98.797.962	88.654.435	30.204.686	26.082.588	47.737.211
93.677.332	98.778.198	88.544.113	30.192.310	26.071.547	47.719.584
93.683.175	98.790.121	88.440.720	30.195.762	26.072.939	47.720.724
93.684.919	98.795.241	88.471.780	30.192.497	26.065.052	47.724.972
93.692.318	98.806.926	88.695.365	30.205.117	26.074.726	47.736.957
93.701.266	98.802.627	88.961.221	30.202.564	26.076.310	47.737.155
93.694.649	98.788.580	88.898.446	30.202.681	26.075.276	47.736.139
93.705.121	98.797.723	88.886.959	30.197.556	26.069.901	47.731.089
93.688.129	98.804.526	88.836.886	30.196.240	26.069.501	47.742.007
93.699.947	98.813.895	88.720.208	30.188.590	26.066.661	47.733.790
93.702.264	98.819.813	88.690.515	30.190.502	26.073.879	47.736.804
93.706.774	98.807.022	88.758.800	30.190.066	26.063.764	47.741.352
93.707.479	98.819.193	88.735.555	30.185.279	26.070.249	47.743.194
93,71	98,82	88,63	30,17	26,06	47,74

**Data Pengujian *Loop Heat Pipe* dengan nano fluida 5% daya *Heater* Elektrik  
30 Watt**

Evaporator1	Evaporator2	Adiabatik1	Kondensor1	Kondensor2	Adiabatik2
120.221.650	127.055.753	93.038.970	35.713.337	26.703.926	57.445.639
120.209.212	127.038.694	93.837.134	35.708.172	26.691.349	57.430.669
120.209.749	127.023.229	93.378.051	35.706.198	26.695.346	57.429.401
120.218.444	127.016.412	93.338.210	35.720.398	26.678.347	57.435.735
120.220.893	127.028.930	93.323.815	35.723.310	26.699.477	57.438.825
120.204.000	127.021.572	93.515.136	35.697.465	26.693.677	57.435.188
120.217.589	127.017.612	93.560.105	35.697.848	26.694.754	57.428.599
120.218.683	127.030.140	93.819.786	35.701.685	26.688.260	57.435.520
120.219.622	127.044.801	93.623.057	35.697.146	26.693.355	57.431.953
120.232.115	127.045.226	93.374.518	35.712.870	26.713.819	57.442.933
120.220.501	127.032.881	93.100.034	35.721.776	26.697.008	57.436.866
120.211.764	127.032.796	93.705.848	35.708.676	26.698.074	57.433.861
120.221.707	127.029.518	93.930.042	35.722.071	26.699.609	57.436.707
120.226.570	127.026.628	93.929.291	35.742.474	26.708.211	57.444.652
120.225.645	127.031.186	93.122.464	35.752.279	26.714.415	57.450.031
120.229.744	127.027.071	93.616.435	35.746.570	26.709.348	57.441.042
120.233.041	127.027.180	93.426.519	35.768.143	26.710.610	57.451.487
120.239.361	127.015.693	93.408.537	35.770.370	26.709.863	57.453.004
120.222.594	127.016.692	93.022.329	35.758.581	26.707.184	57.442.975
120,22	127,01	93,14	35,75	26,72	57,45