



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *NUMBER OF SCREEN MESH WICK* TERHADAP KINERJA
*STRAIGHT HEAT PIPE***

SKRIPSI

RIAN SAPUTRA

07 06 26 7295

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *NUMBER OF SCREEN MESH WICK* TERHADAP KINERJA
*STRAIGHT HEAT PIPE***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

RIAN SAPUTRA

07 06 26 7295

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2011

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

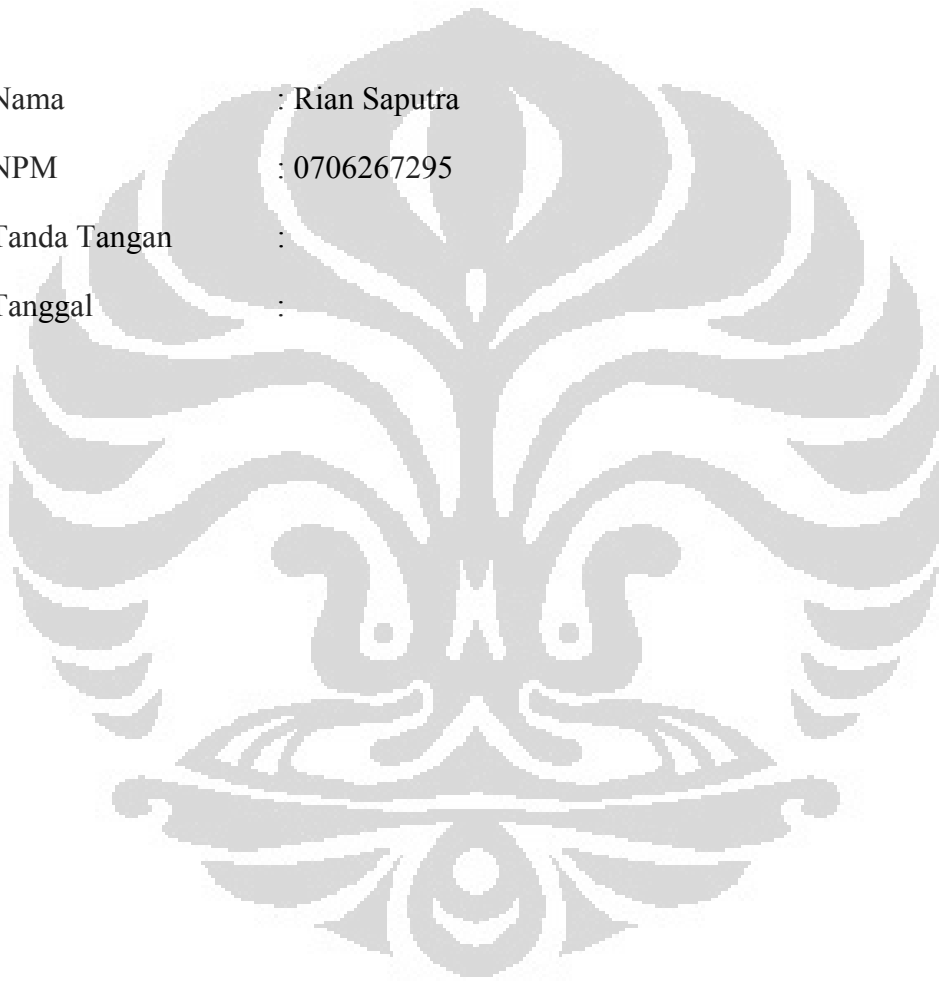
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Rian Saputra

NPM : 0706267295

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rian Saputra

NPM : 0706267295

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : *PENGARUH NUMBER OF SCREEN MESH
WICK TERHADAP KINERJA STRAIGHT HEAT PIPE*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra ()

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

Penguji : Dr. Ir. R. Danardono Agus S. DEA. PE ()

Penguji : Dr. Agus Pamitran, S.T., M.Eng. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia. Dalam penyusunan ini saya ucapkan terimakasih ke beberapa pihak yaitu

1. Orang tua dan keluarga saya yang selalu memberikan dukungan moril dan materiil
2. Prof. Dr-ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
3. Dr.Ir. Harinaldi selaku kepala Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia
4. Ridho Irwansyah, ST selaku asisten laboratorium *heat transfer applied*
5. Bapak Seini selaku teknisi bengkel radiator
6. Seluruh dosen DTM FTUI yang dengan saran dan masukkan-masukkan yang berharga
7. Seluruh karyawan DTM FTUI atas penyediaan saran dan prasaran pengujian selama menjalani skripsi ini
8. M. Iqbal Bimo, Ardhana Prutanto, Sabdo Waluyo, Kapa Cossa J, Hamdalah Hazhar, Gilang A I V dan Tasia Larosa selaku kawan laboratorium selama mengerjakan skripsi ini bersama-sama
9. Muslimah Imaniati Astri dan kawan-kawan lain yang selalu memberikan dukungan moril

Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

Penulis

Universitas Indonesia

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rian Saputra
NPM : 0706267295
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

PENGARUH NUMBER OF SCREEN MESH WICK TERHADAP KINERJA STRAIGHT HEAT PIPE

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 :

Yang menyatakan

(Rian Saputra)

ABSTRAK

Nama : Rian Saputra
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : PENGARUH *NUMBER OF SCREEN MESH WICK*
TERHADAP KINERJA *STRAIGHT HEAT PIPE*

Peningkatan *flux* kalor yang dihasilkan oleh peralatan elektronik khususnya komponen dari CPU komputer harus selalu diiringi dengan pendinginan yang baik. *Flux* kalor pada komponen CPU komputer harus dapat direduksi secara maksimal agar bisa mencapai kemampuan operasi yang optimal dengan tingkat *reliability* yang tinggi. Penggunaan *straight heat pipe* dalam pendinginan tersebut menjadi salah satu solusi alternatif guna menyerap kalor yang dihasilkan. Penelitian ini memperlihatkan pengaruh *number of screen mesh wick* terhadap kinerja *straight heat pipe* yang menggunakan pipa tembaga. *Screen mesh wick* yang digunakan adalah *screen* 100, 200, 250, dan 300 *mesh*. Pengujian dilakukan menggunakan pipa tembaga dengan panjang 200 mm dan berdiameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm dengan fluida kerja air. Hambatan termal diukur melalui *wick* dengan variasi *input* daya yang diberikan oleh pemanas elektrik dengan 6 titik pengukuran temperatur sepanjang *heat pipe* menggunakan termokopel. Didapatkan bahwa semakin besar *number of screen mesh wick* yang digunakan, dapat meningkatkan kinerja *heat pipe* dimana temperatur di bagian *evaporator* dapat direduksi paling besar hingga 20,63% untuk *screen* 300 *mesh* dibanding *screen* 100 *mesh*. Hal ini dikarenakan hambatan termal pada *straight heat pipe* semakin kecil dengan meningkatnya *number of screen mesh wick* yang digunakan. Semakin besar *number of screen mesh wick*, *straight heat pipe* yang diuji menunjukkan nilai *Heat Transfer Coefficient* yang semakin besar pula.

Kata kunci :

Straight heat pipe, number of screen mesh, wick, evaporator, Heat Transfer Coefficient

ABSTRACT

Name : Rian Saputra
Study Program : Mechanical Engineering
Judul : EFFECT OF NUMBER OF SCREEN MESH WICK ON STRAIGHT HEAT PIPE PERFORMANCE

Increased of heat flux generated by electronic equipment in particular components of a computer CPU should always be accompanied with a good cooling. Heat flux on the computer CPU components must be reduced to maximum in order to achieve optimal operating capability with a high level of reliability. The use of straight heat pipes in the cooling of it become one of alternative solution in order to absorb the heat generated. This experiment shows the influence of number of screen mesh wick on performance of straight heat pipe that use copper pipe. Screen mesh wick that used is screen 100, 200, 250, and 300 mesh. The experiment use copper pipe with a length of 200 mm and diameter 6 mm, 8 mm, and 10 mm with working fluid water. Thermal resistant is measured through the wick with a variety of input power supplied by electric heaters with 6 points along the heat pipe temperature measurement using thermocouples. It was found that the greater the number of screen mesh wick which is used, can improve the performance of heat pipes where the temperature at the evaporator can be reduced to the most up to 20.63% for the screen 300 mesh compare to the screen 100 mesh. This is because the thermal resistance on the straight heat pipe decreased with increasing number of screen mesh wick which is used. The greater the number of screen mesh wick, straight heat pipes that are tested show the number of Heat Transfer Coefficient is greater as well.

Keywords :

Straight heat pipe, number of screen mesh, wick, evaporator, Heat Transfer Coefficient

DAFTAR ISI

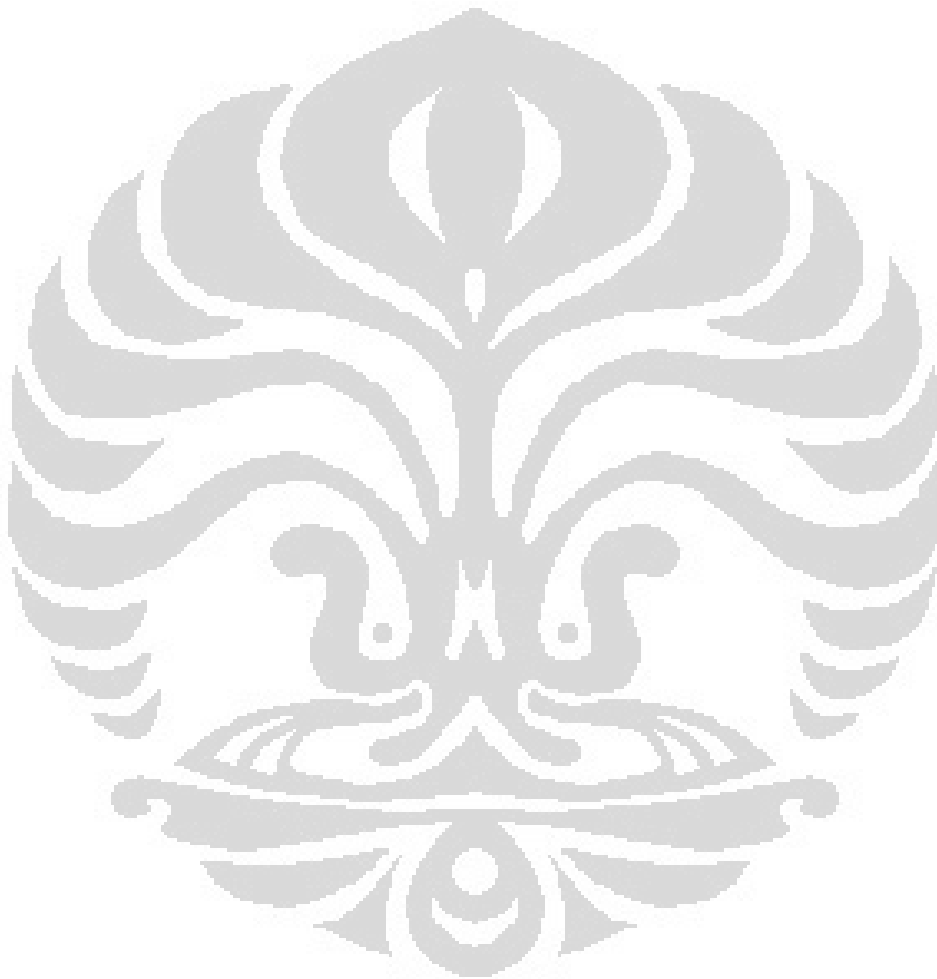
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 <i>LATAR BELAKANG</i>	1
1.2 PERMASALAHAN.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 PEMBATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>HEAT PIPE</i>	6
2.2 PANJANG DAN DIAMETER <i>HEAT PIPE</i>	11
2.3 STRUKTUR <i>WICK</i>	11
2.3.1 Konduktivitas Termal <i>Wick</i> pada <i>Heat Pipe</i>	13
2.3.2 Struktur <i>Wick</i> Homogen	14
2.3.3 Hambatan Termal pada <i>Wick Heat Pipe</i>	16
2.3.4 Pengaruh Kapilaritas	16
2.3.5 Jenis Struktur <i>Wick</i>	17
2.4 FLUIDA KERJA	20

2.4.1 Perubahan Fase Aliran Fluida pada <i>Heat Pipe</i>	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 PERANCANGAN <i>HEAT PIPE</i>	23
3.1.1 Tahapan Perancangan Alat.....	24
3.2 INSTALASI PENGUJIAN	29
3.3 KOMPONEN PENGUJIAN.....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN.....	40
4.2 KINERHA <i>HEAT PIPE</i>	41
4.2.1 Distribusi Temperatur pada <i>Heat Pipe</i>	41
4.2.2 Efek Perbedaan <i>Numbering of Screen Mesh</i> terhadap Laju Perpindahan Panas pada <i>Heat Pipe</i>	47
4.2.3 Efek Perbedaan <i>Numbering of Screen Mesh dan Q</i> terhadap Hambatan Termal pada <i>Heat Pipe</i>	48
4.2.4 Kinerja <i>Straight dan Loop Heat Pipe</i>	51
BAB 5 KESIMPULAN	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

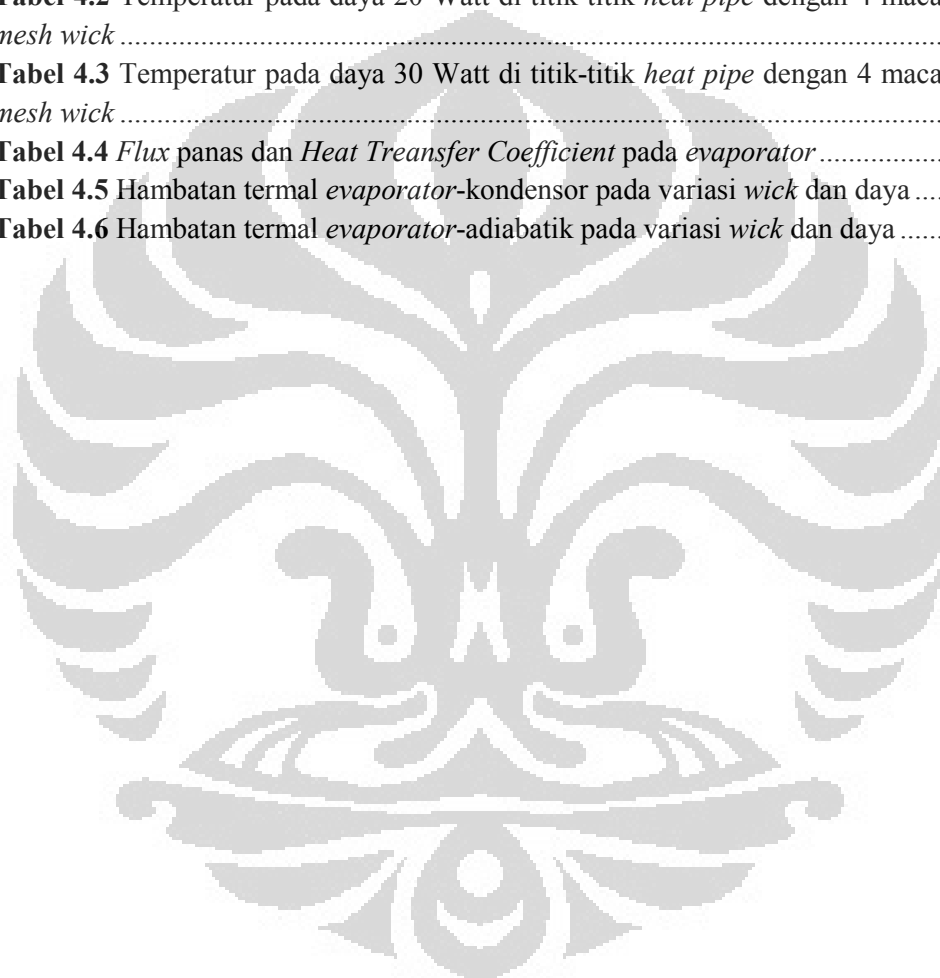
Gambar 2.1 Strukur <i>heat pipe</i>	7
Gambar 2.2 Skema mekanisme hantaran panas pada <i>heat pipe</i>	10
Gambar 2.3 <i>Axial groove wick</i>	17
Gambar 2.4 <i>Wire screen mesh wick</i>	17
Gambar 2.5 <i>Sintered powder wick</i>	18
Gambar 2.6 <i>Fiber-spiral wick</i>	18
Gambar 2.7 Grafik dan tabel hasil pengujian <i>heat pipe</i> dari 4 jenis <i>wick</i> dengan orientasi horizontal dan vertikal (pengaruh gaya gravitasi)	19
Gambar 2.8 <i>Wick</i> dengan proses <i>sintered powder</i>	19
Gambar 2.9 Pengaruh jumlah lapisan <i>screen mesh</i> terhadap hambatan panas	20
Gambar 2.10 Skema mekanisme <i>heat pipe</i> dengan <i>porous wick</i>	22
Gambar 3.1 Pipa tembaga berdiameter 6, 8, dan 10 mm.....	23
Gambar 3.2 <i>Stainless steel screen</i> 100, 200, 250, 300 <i>mesh</i>	24
Gambar 3.3 Proses pemotongan pipa tembaga	24
Gambar 3.4 Bentuk salah satu ujung pipa	25
Gambar 3.5 Penggulungan <i>screen mesh wick</i>	26
Gambar 3.6 Neple dan salah satu <i>heat pipe</i> yang setengah jadi	26
Gambar 3.7 Proses pengelasan timah I	27
Gambar 3.8 Proses pengisian fluida kerja	27
Gambar 3.9 Proses <i>vacuum</i>	28
Gambar 3.10 3 Variasi diameter <i>straight heat pipe</i> yang digunakan dalam pengujian.....	28
Gambar 3.11 Skema pengujian <i>straight heat pipe</i>	30
Gambar 3.12 Posisi termokopel pada <i>heat pipe</i>	31
Gambar 3.13 Data akuisisi NI 9213 dan <i>Chassis NI cDAQ-9172</i>	31
Gambar 3.14 <i>Chassis NI cDAQ 9172</i>	32
Gambar 3.15 National Instruments LabVIEW 8.5	33
Gambar 3.16 Termokopel tipe K.....	34
Gambar 3.17 <i>Power Supply</i>	34
Gambar 3.18 <i>Heater</i>	35
Gambar 3.19 Isolator dengan material <i>polyurethane</i>	36
Gambar 3.20 <i>Glasswool</i>	36
Gambar 3.21 <i>Circulating Thermostatic Bath (CTB)</i>	37
Gambar 3.22 Pompa <i>vacuum</i>	38
Gambar 3.23 <i>Water Reservoir</i>	39
Gambar 4.1 Distribusi temperature <i>heat pipe</i> dengan fluida kerja air, <i>screen mesh wick</i> pada daya (Q) 10 Watt.....	43
Gambar 4.2 Distribusi temperature <i>heat pipe</i> dengan fluida kerja air, <i>screen mesh wick</i> pada daya (Q) 20 Watt.....	44
Gambar 4.3 Distribusi temperature <i>heat pipe</i> dengan fluida kerja air, <i>screen mesh wick</i> pada daya (Q) 30 Watt.....	44
Gambar 4.4 Distribusi temperature <i>heat pipe</i> dengan fluida kerja air, <i>screen 250 mesh wick</i> pada 3 macam daya (Q)	45

Gambar 4.5 Distribusi temperature <i>heat pipe</i> dengan fluida kerja air, <i>screen</i> 200 <i>mesh wick</i> pada variasi diameter <i>heat pipe</i>	46
Gambar 4.6 Efek dari <i>number of screen mesh</i> terhadap HTC evaporator	48
Gambar 4.7 Hambatan termal antara <i>evaporator</i> dan <i>condenser</i> , fluida kerja air.....	50
Gambar 4.8 Hambatan termal antara <i>evaporator</i> dan adiabatik, fluida kerja air.....	50
Gambar 4.9 Hambatan termal antara <i>evaporator</i> dan adiabatik, fluida kerja air, daya (Q) 10 Watt.....	51



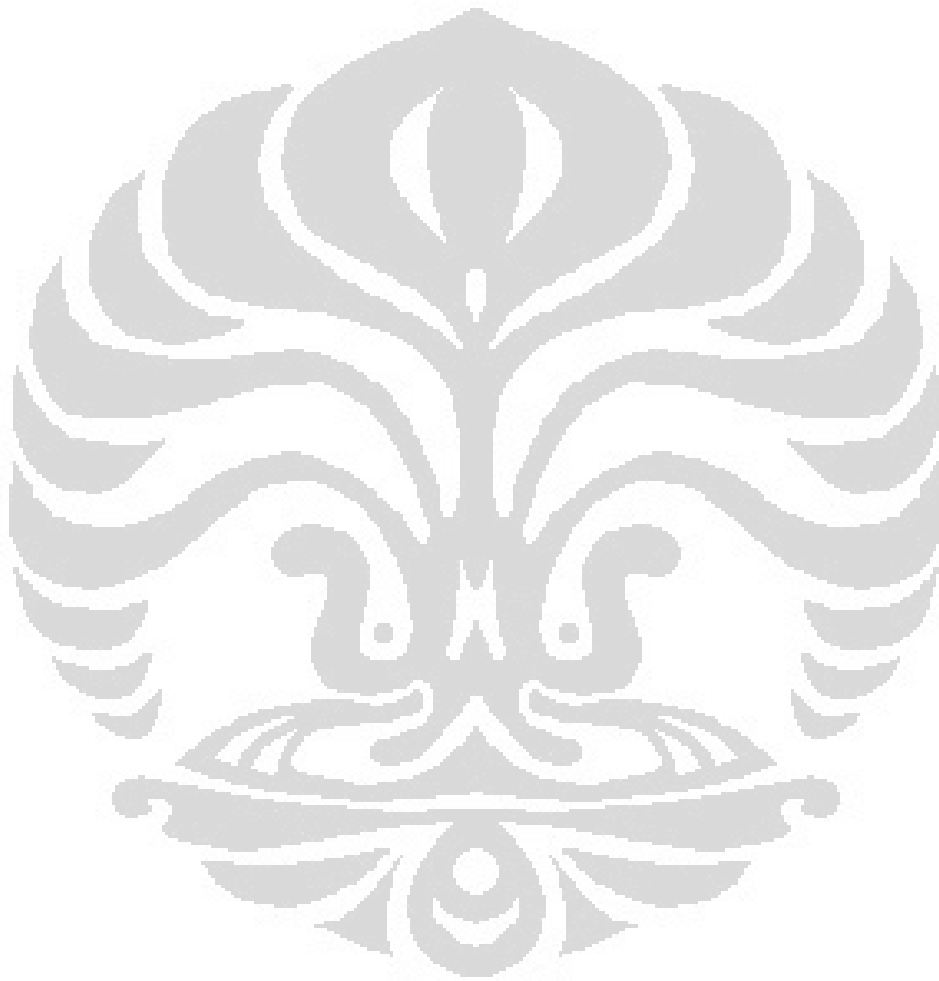
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fluks panas evaporator untuk berbagai jenis kombinasi fluida kerja.....	12
Tabel 2.2 Ukuran pori <i>wick</i> dan permeabilitas	14
Table 2.3 Fluida kerja pada <i>heat pipe</i>	20
Tabel 3.1 Spesifikasi Data Akusisi NI 9213.....	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Circulating Thermostatic Bath	37
Tabel 4.1 Temperatur pada daya 10 Watt di titik-titik <i>heat pipe</i> dengan 4 macam <i>screen mesh wick</i>	41
Tabel 4.2 Temperatur pada daya 20 Watt di titik-titik <i>heat pipe</i> dengan 4 macam <i>screen mesh wick</i>	41
Tabel 4.3 Temperatur pada daya 30 Watt di titik-titik <i>heat pipe</i> dengan 4 macam <i>screen mesh wick</i>	42
Tabel 4.4 Flux panas dan <i>Heat Treansfer Coefficient</i> pada <i>evaporator</i>	47
Tabel 4.5 Hambatan termal <i>evaporator</i> -kondensor pada variasi <i>wick</i> dan daya	49
Tabel 4.6 Hambatan termal <i>evaporator</i> -adiabatik pada variasi <i>wick</i> dan daya	49



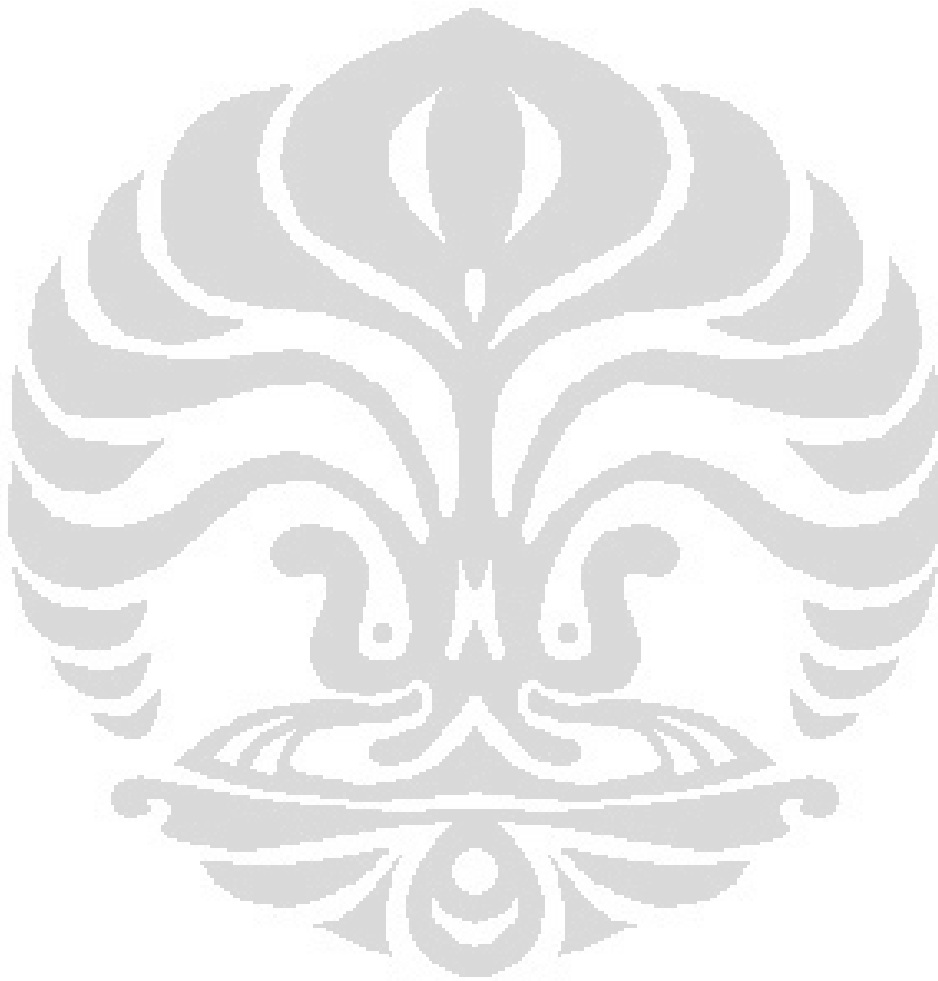
DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Pengujian
- Lampiran 2 Gambar Alat Kerja



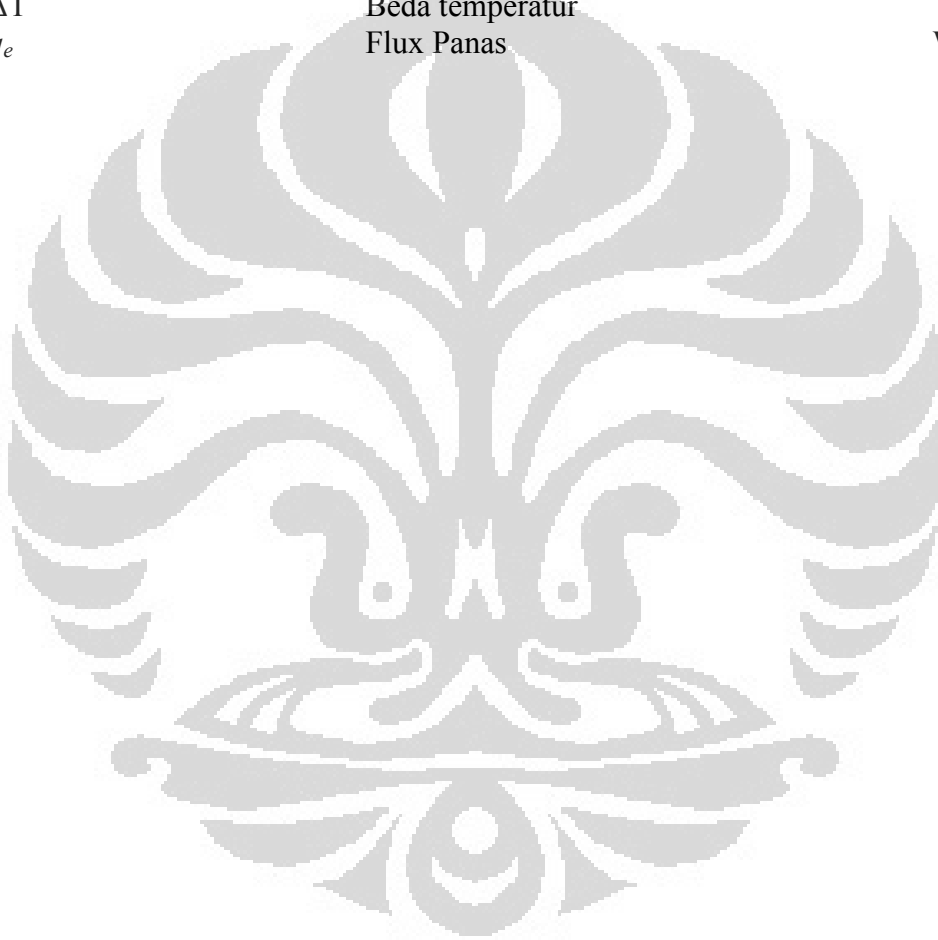
DAFTAR SINGKATAN

- Q Daya pembebanan (kalor)
HTC *Heat Transfer Coefficient*
CTB *Circulating Thermostatic Bath*



DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
I	Arus Listrik	Ampere
k	Konduktivitas termal	W/m.K
L	Panjang	m
Q	Daya	Watt
R_{e-k}	Hambatan termal eva-kon	$^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$
R_{e-a}	Hambatan termal eva-adi	$^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$
T	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
ΔT	Beda temperatur	$^{\circ}\text{C}$
q_e	Flux Panas	Watt/m ²



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Komponen utama dari suatu perangkat komputer 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* [2]. *Heat pipe* sudah diperkenalkan oleh Gaugler pada tahun 1942 sebagai suatu cara pemecahan masalah pendingin piranti elektronik khususnya CPU [3] 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 [5]. 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 [6], pengaturan panas pada *solar battery drive* [7], *heat absorber* modul pada *thermoelectric* hingga sistem *emergency coolingdown* pada reaktor nuklir [8]. Nandy Putra telah melakukan penelitian mengenai perbandingan sistem pendinginan *heat pipe* dengan *heat sink* pada modul *thermoelectric*. Dari penelitian ini diperoleh bahwa pelepasan panas menggunakan *heat pipe* lebih baik dari pada *heat sink* dengan energi dan dimensi yang sama [9].

Faktor-faktor yang mempengaruhi hambatan panas pada *heat pipe* diantaranya yaitu *wick* yang terdapat dalam *heat pipe* dan fluida kerja. Kinerja *heat pipe* dapat diukur dari hambatan panas tersebut. Saat hambatan panas dari *heat pipe* mengecil, maka semakin baik laju perpindahan kalor, sehingga kinerja *heat pipe* semakin baik pula. *Wick* merupakan media untuk fluida kerja (cair) bersirkulasi dengan prinsip kapilaritas. Kapilaritas pada *wick* dapat

terbentuk karena adanya rongga-rongga, sehingga *wick* disebut juga sebagai *porous media*. *Porous media* pada *wick* dapat dibuat dari beberapa jenis, salah satunya menggunakan *screen mesh*. *Wick* disebut *porous media* karena dipengaruhi oleh porositas, tegangan permukaan fluida dengan media porous dan permeabilitas. Atas dasar tersebut penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian dan merancang *heat pipe* dengan mencoba membandingkan kinerja *straight heat pipe* dengan perbedaan *number of screen mesh wick* yang digunakan.

1.2 PERMASALAHAN

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

1. Bagaimana pengaruh perbedaan *number of mesh* pada struktur *screen mesh wick* pada kinerja *straight heat pipe*?
2. Sejauh mana perbedaan jumlah *number of mesh* pada struktur *wick screen mesh* dalam *heat pipe* terhadap hambatan termal maupun laju perpindahan kalornya?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian yang penulis lakukan antara lain:

1. Merancang *straight heat pipe* yang memiliki kinerja baik dengan mengaplikasikan bentuk *wick screen mesh* dengan fluida dasar air sebagai fluida kerja.
2. Menguji pengaruh perbedaan *number of mesh* pada struktur *screen mesh wick* pada kinerja *straight heat pipe*.
3. Mengetahui pengaruh perbedaan besar diameter *pipe* terhadap kinerja *straight heat pipe*.

1.4 PEMBatasan MASALAH

Dalam penelitian ini, batasan masalah meliputi:

1. Penggunaan *screen 100 mesh*, *screen 200 mesh*, *screen 250 mesh*, dan *screen 300 mesh* sebagai *wick heat pipe*.
2. *Heat pipe* dibuat dari pipa tembaga masing-masing dengan panjang 200 mm dan variasi diameter 6 mm, 8 mm dan 10 mm dengan tebal 0.56 mm.
3. Penggunaan sistem berpendingin air pada *straight heat pipe* di bagian kondensor.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian *straight 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 *Heat Pipe*
Perancangan *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 *straight heat pipe* yang telah dirancang.
4. Pengujian *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 *straight heat pipe* yang dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini berisi tentang bagaimana bentuk, manufaktur konstruksi dari *straight heat pipe* yang telah didesain, dan berisi tentang skema pengujian *straight heat pipe* yang menggunakan struktur *screen mesh wick* dan berpendingin air.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tentang hasil dan pembahasan data dan grafik dari pengujian *straight heat pipe* yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN

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

BAB 2

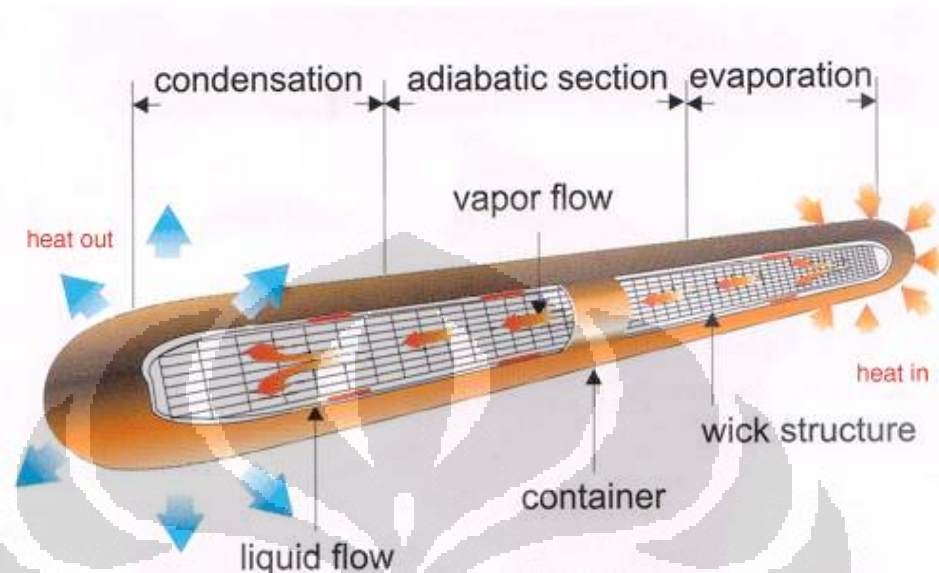
TINJAUAN PUSTAKA

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 (ΔT) 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 kondensor 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 kondensor ke evaporator, tanpa mekanisme kembali fluida kerja yang berawal dari evaporator akan terjadi akumulasi fluida kerja pada bagian kondensor dan akan mengakibatkan keringnya fluida kerja pada bagian evaporator. Untuk itu dibutuhkan suatu

mekanisme aliran kembali dari kondensor ke evaporator dengan menggunakan *wick*. [10]



Gambar 2.1 Struktur *heat pipe* [11]

Konsep *heat pipe* pertama kali dimulai oleh A. M. Perkins dan J. Perkins pada pertengahan 1800-an [12]. Dalam patennya 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 dari General Motor Corp dimana teknologi *heat pipe* sebagai tabung pemindah kalor dipatentkan [14] 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 kondensor 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 [15-16].

Perkembangan *heat pipe* yang cukup baik sampai sekarang didasari sebagian besar oleh karya Cotter yang juga bekerja di *Los Alamos National*

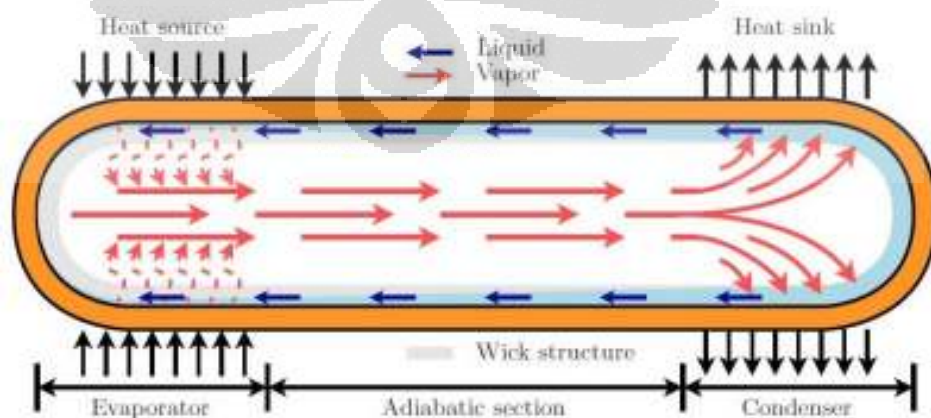
Laboratory. Keaktifannya pada Laboratorium di United States dan Ispra yakni melakukan tinjauan yang sangat penting mengenai teori dan aplikasi dari *heat pipe* [15-16]. Ispra sangat aktif mengembangkan *heat pipe* dengan mengkaji aplikasi teori *heat pipe*. Cheung telah menuangkan aspirasinya pada lebih dari 80 paper teknik terkait dengan pengembangan *heat pipe* [18]. Cheung telah mendemonstrasikan bahwa *heat pipe* mampu mentransfer *flux* panas sebesar 7 kW/cm^2 . 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 [19], 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, Stuttgart 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*.

Di Jepang, dilakukan sebuah penelitian di perusahaan Kisha Seizo Kaisha, pada tahun 1969 mengenai instalasi pemanas udara dengan menggunakan beberapa *heat pipe*. Pemindah panas jenis *heat pipe* ini sangat diminati karena sangat bagus dalam hal konservasi energi dan keramahannya terhadap lingkungan. Hal ini karena *heat pipe* dapat digunakan untuk mengambil kembali panas buangan dari gas buang dan dapat diterapkan pada mesin pendingin pada industri dan rumah tangga [20]. Pada tahun 1990, perusahaan Eropa mengeluarkan aturan untuk mensuplai *heat pipe* dari dalam

negeri dan luar Eropa. Dan hal ini dilakukan dengan sangat cepat. *Alcatel Space*, menggunakan penelitian awal mereka terhadap *aksial heat pipe* dan hasilnya kinerja dari *heat pipe* cukup bagus [21]. Pada saat yang sama, Astrium menjadi penggagas pada *capillary pumped fluid loop system* untuk teknologi French tentang pesawat ruang angkasa yang disebut STENTOR. Pada bulan Desember tahun 2001, *Capillary pumped loop* digunakan oleh NASA pada Teleskop Hubble dan pesawat ruang angkasa.

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* [22]. 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. 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* [22].



Gambar 2.2 Skema mekanisme hantaran panas pada *heat pipe* [23]

2.2 PANJANG DAN DIAMETER *HEAT PIPE*

Diameter dan panjang *heat pipe* mempengaruhi aliran panas pada *heat pipe*. Tekanan antara kondensor dan *evaporator* dibuat berbeda agar suhu panas dapat mengalir dari tempat sumber panas ke tempat pendinginan. Diameter yang besar memungkinkan aliran uap panas dapat mengalir dengan cepat ke bagian pendingin karena luas area penghantaran yang besar. Ukuran panjang *heat pipe* yang pendek akan membuat waktu yang diperlukan oleh uap untuk kembali ke bentuk cairan seperti semula lebih cepat sehingga lebih cepat dalam mendisipasi panas ketika *heat pipe* tidak dipengaruhi oleh gravitasi [14].

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 kondensor 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* [26]. 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 [27]

Fluida kerja	<i>Wick</i>	Temperatur uap (°C)	Fluks panas rata-rata (W/cm ²)
Helium [28]	s/s mesh	-269	0.09
Nitrogen [28]	s/s mesh	-163	1.0
Ammonia [29]	bervariasi	20-40	5-15
Ethanol [30]	4×100 mesh s/s	90	1.1
Methanol [31]	nickel foam	25-30	0.03-0.4
Methanol [31]	nickel foam	30	0.24-2.6
Methanol [31]	1×200 mesh (horiz.)	25	0.09
Methanol [31]	1×200 mesh (-2.5 cm head)	25	0.03
Water [29]	bervariasi	140-180	25-100
Water [30]	Mesh	90	6.3
Water [30]	100 mesh s/s	90	4.5
Water [31]	nickel felt	90	6.5
Water [32]	sintered copper	60	8.2
Mercury [28]	s/s mesh	360	180
Potassium [28]	s/s mesh	750	180
Potassium [29]	Various	700-750	150-250
Sodium [28]	s/s mesh	760	230
Sodium [29]	Various	850-950	200-400
Sodium [33]	3×65 mesh s/s	925	214
Sodium [34]	508×3600 mesh s/s twill	775	1250
Lithium [28]	niobium 1% zirconium	1250	205
Lithium [19]	niobium 1% zirconium	1500	115
Lithium [19]	SGS-tantalum	1600	120
Lithium [35]	W-26 Re grooves	1600	120
Lithium [35]	W-26 Re grooves	1700	120
Silver [28]	Tantalum 5% tungsten	-	410
Silver [35]	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 [36]. 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* [37].

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 [39].

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 [37]. 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 [37]. Konduktivitas termal efektif pada kondisi seri dirumuskan sebagai berikut:

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

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 almunium. Tabel 2.2 menunjukkan ukuran pori dan nilai permeabilitas dari jenis-jenis *mesh* dan kasa.

Tabel 2.2 Ukuran pori *wick* dan permeabilitas [27]

Material dan ukuran <i>mesh</i>	Head kapilaritas ¹ (cm)	Radius pori (cm)	Permeabilitas (m ²)	Porositas (%)
Fiber glass [40]	25.4	-	0,061×10 ⁻¹¹	-
Refrasil sleeving [40]	22.0	-	0,104×10 ⁻¹⁰	-
Refrasil (bulk) [41]	-	-	0,18×10 ⁻¹⁰	-
Refrasil (batt) [41]	-	-	1,00×10 ⁻¹⁰	-
Monel beads [42]				
30–40	14,6	0,052 ²	4,15×10 ⁻¹⁰	40
70–80	39,5	0,019 ²	0,78×10 ⁻¹⁰	40
100–140	64,6	0,013 ²	0,33×10 ⁻¹⁰	40
140–200	75,0	0,009	0,11×10 ⁻¹⁰	40
Felt metal [43]				
FM1006	10,0	0,004	1,55×10 ⁻¹⁰	-
FM1205	-	0,008	2,54×10 ⁻¹⁰	-

Nickel powder [40]				
200 μ	24,6	0.038	$0,027 \times 10^{-10}$	-
500 μ	>40,0	0.004	$0,081 \times 10^{-11}$	-
Nickel fiber [40]				
0.01 mm dia	>40,0	0,001	$0,015 \times 10^{-11}$	68,9
Nickel felt [44]	-	0,017	$6,0 \times 10^{-10}$	89
Nickel foam [44]	-			
Ampornik 220.5	-	0,023	$3,8 \times 10^{-9}$	96
Copper powder				
(sintered) [43]	156,8	0,0009	$1,74 \times 10^{-12}$	52
Copper powder				
(sintered) [45]				
45–56 μ	-	0,0009	-	28,7
100–145 μ	-	0,0021	-	30,5
150–200 μ	-	0,0037	-	35
Nickel 50 [30]	4,8	-	-	62,5
Nickel 50 [46]	-	0,0305	$6,635 \times 10^{-10}$	-
Copper 60 [43]	3,0	-	$8,4 \times 10^{-10}$	-
Nickel 60 [45]	-	0,009	-	-
100 [46]	-	0,0131	$1,523 \times 10^{-10}$	-
100 [47]	-	-	$2,48 \times 10^{-10}$	-
120 [43]	5,4	-	$6,00 \times 10^{-10}$	-
120 ³ [43]	7,9	0,019	$3,50 \times 10^{-10}$	-
2 ⁵ ×120 [48]	-	-	$1,35 \times 10^{-10}$	-
120 [65]	-	-	$1,35 \times 10^{-10}$	-
S/s 180 (22 °C) [50]	8,0	-	$0,5 \times 10^{-10}$	-
2×180 (22 °C) [50]	9,0	-	$0,65 \times 10^{-10}$	-
200 [45]	-	0.0061	$0,771 \times 10^{-10}$	-
200 [43]	-	-	$0,520 \times 10^{-0}$	-
Nickel 200 [40]	23,4	0.004	$0,62 \times 10^{-10}$	68,9
2×200 [48]	-	-	$0,81 \times 10^{-10}$	-
Phosp./bronze 200	-	0.003	$0,46 \times 10^{-10}$	67
[51]				
Titanium 2×200 [45]	-	0.0015	-	67
4×200 [45]	-	0.0015	-	68,4
250 [47]	-	-	$0,302 \times 10^{-10}$	-
Nickel ³ 2×250 [45]	-	0.002	-	66,4
4×250 [45]	-	0.002	-	66,5
325 [45]	-	0.0032	-	-
Phosp/bronze [49]	-	0.0021	$0,296 \times 10^{-10}$	67
S/s (twill) 80 ⁴ [52]	-	0.013	$2,57 \times 10^{-10}$	-
90 ⁴ [52]	-	0.011	$1,28 \times 10^{-10}$	-
120 ⁴ [52]	-	0.008	$0,79 \times 1$	-
250 [48]	-	0.0051	-	-
270 [48]	-	0.0041	-	-
400 [48]	-	0.0029	-	-
450 [52]	-	0.0029	-	-

¹ Dalam tinggi colom air .

² Diameter Partikel.

³ telah di oksidasi.

⁴ Permeabilitas diukur dalam arah benkok.

⁵ 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, *polyethylene* digunakan memindahkan fluks panas yang besar hingga $10.000 \text{ W/m}^2\text{K}$ dari evaporator [53], 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) [55], 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 [56]. 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

kondensor 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 digunakan pada semua jenis *heat pipe*, *heat pipe* dengan fluida kerja dengan *non-wetting* mempunyai kapilaritas lebih baik.

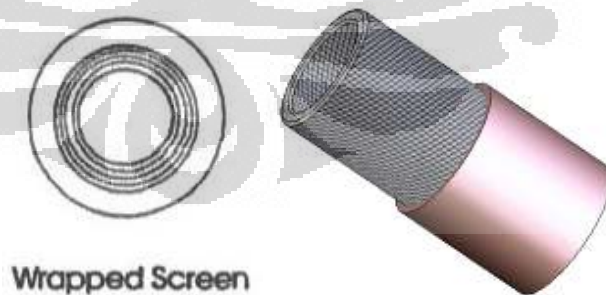
2.3.5 Jenis Struktur *Wick*

Jenis struktur *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*.



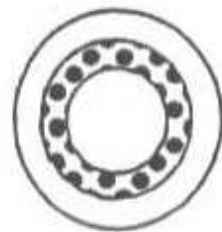
Axial Groove

Gambar 2.3 Axial groove wick



Wrapped Screen

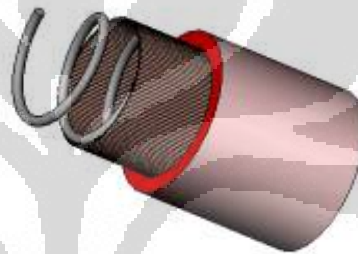
Gambar 2.4 Wire screen mesh wick



Sintered Metal

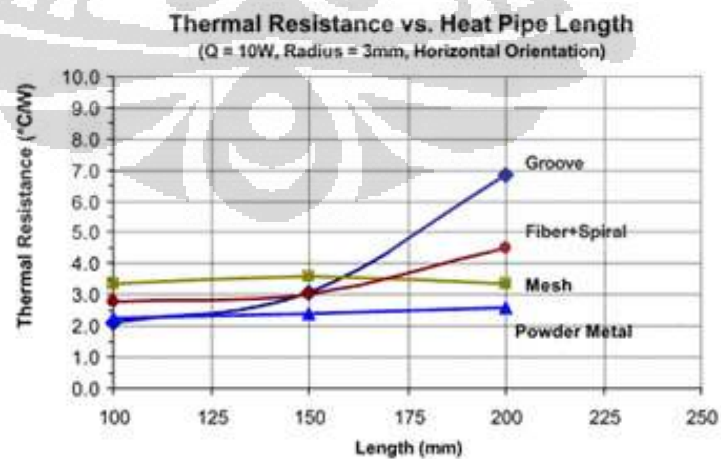


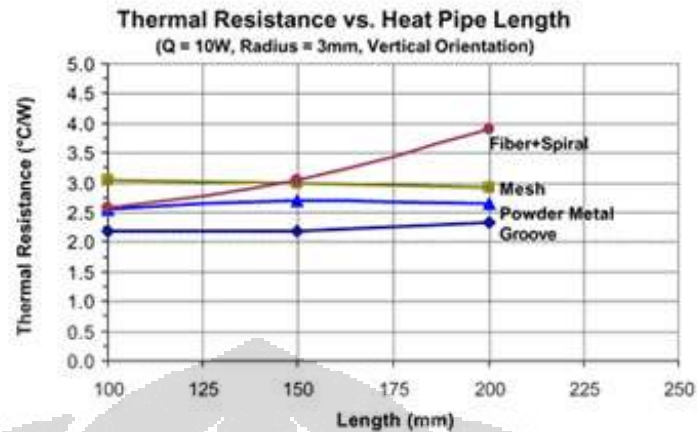
Gambar 2.5 Sintered powder wick



Gambar 2.6 Fiber-spiral wick [25]

Salah satu produsen *heat pipe* melakukan eksperimen yang membandingkan kinerja antara masing-masing struktur *wick* [25] dan diperoleh grafik seperti pada gambar 2.7.





Gambar 2.7 Grafik dan tabel hasil pengujian *heat pipe* dari 4 jenis *wick* dengan orientasi horizontal dan vertikal (pengaruh gaya gravitasi) [25]

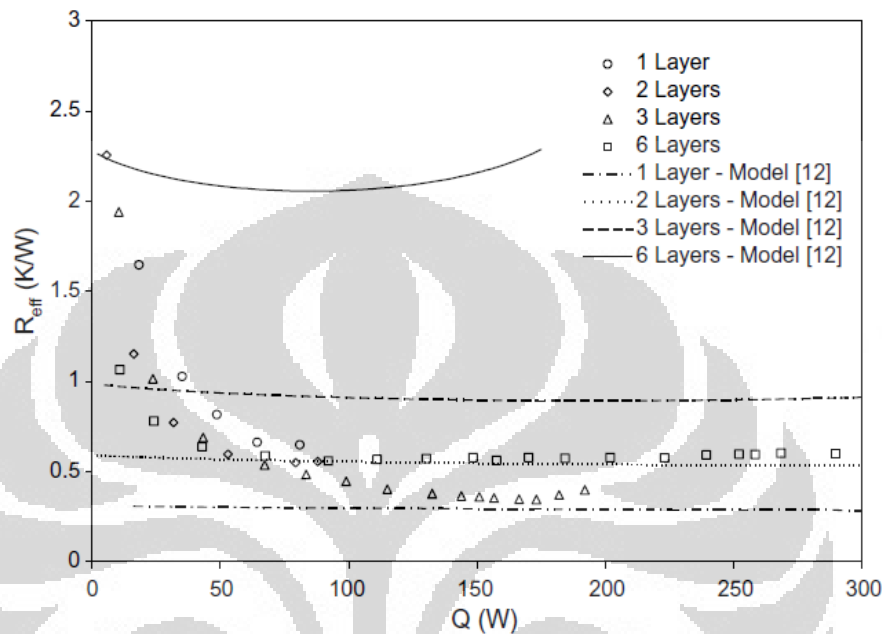
Dari grafik diatas, *heat pipe* dengan struktur *wick* dengan *powder metallurgy* seperti pada gambar 2.8 memiliki tahanan panas yang lebih stabil, baik pengaruh flukstuasi temperatur maupun orientasi gravitasi. Tetapi, berbagai struktur *wick* mempunyai bermacam-macam kelebihan dan kekurangan masing-masing.



Gambar 2.8 *Wick* dengan proses *sintered powder*

Perbandingan jumlah lapisan dalam struktur *screen mesh* berpengaruh terhadap hambatan panas. R. Kempers [24], 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 2.9 Pengaruh jumlah lapisan *screen mesh* terhadap hambatan panas [24]

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 2.2.

Table 2.3 Fluida kerja pada *heat pipe* [54]

Fluida	Titik lebur (°C)	Titik didih pada tekanan ATM (°C)	Temperatur operasi (°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

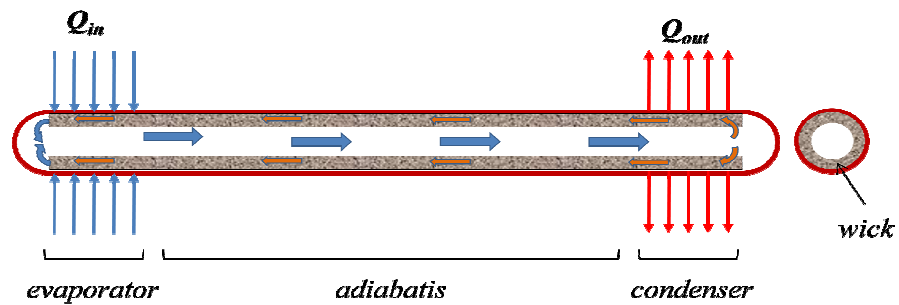
Untuk mendapatkan pemilihan fluida kerja yang tepat pada *heat pipe* [4], beberapa kriteria diantaranya adalah:

- 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 kondensor 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 [13]. 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* [17].

2.4.1 Perubahan Fase Aliran Fluida pada *Heat Pipe*

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



Gambar 2.10 Skema mekanisme *heat pipe* dengan *porous wick*

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 PERANCANGAN *HEAT PIPE*

Heat pipe dibuat dengan menggunakan pipa dengan material tembaga. Pemilihan material pipa didasarkan atas beberapa pertimbangan, diantaranya material pipa harus mempunyai koefisien konduktivitas tinggi, hambatan melintang kecil dan proses pengerjaan yang mudah. Pipa tembaga yang diujikan mempunyai dimensi panjang 200 mm, berdiameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm dengan tebal 0.56 mm.



Gambar 3.1 Pipa tembaga berdiameter 6, 8, dan 10 mm

Kemudian *wick* yang digunakan adalah jenis screen mesh dengan material *stainless steel*. Pemilihan material penyusun *wick*, yaitu mampu dibentuk sebagai *porous media* dengan kecocokan terhadap fluida kerja dan

dinding *heat pipe*nya. *Wick screen mesh* yang digunakan dalam pengujian yaitu *stainless steel screen* 100, 200, 250, dan 300 *mesh*.

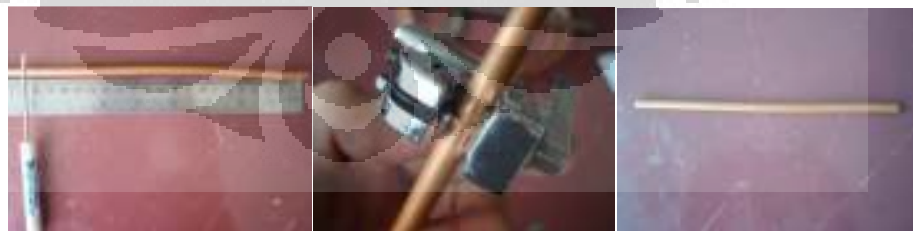


Gambar 3.2 *Stainless steel screen* 100, 200, 250, 300 *mesh*

3.1.1 Tahapan Perancangan Alat

Tahapan perancangan dari *heat pipe* yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Potong pipa tembaga berdiameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm masing-masing 200 mm. Pemotongan dilakukan menggunakan *tube cutter*. Untuk pipa tembaga berdiameter 6 mm dan 8 mm berjumlah 1 masing-masing, sementara untuk pipa tembaga berdiameter 8 mm berjumlah 4.



Gambar 3.3 Proses pemotongan pipa tembaga

2. Buat salah satu ujung dari pipa yang telah dipotong membentuk menyerupai kerucut seperti di Gambar 3.4. Pembentukan kerucut ini dilakukan dengan menggunakan obeng minus dan palu.



Gambar 3.4 Bentuk salah satu ujung pipa

3. Gulung *screen* 100, 200, 250, dan 300 *mesh* sebanyak 4 *layer* menggunakan tangan. Untuk *screen* 100, 250, dan 300 *mesh* di buat gulungan 4 *layer* masing-masing 1, sementara untuk *screen* 200 *mesh* dibuat 3 gulungan. *Screen mesh* yang telah digulung 4 *layer* dimasukkan ke pipa tembaga yang telah dipotong dan dibentuk kerucut di salah satu ujung pada tahapan nomor 1 dan 2.



Gambar 3.5 Penggulungan *screen mesh wick*

4. Setelah 4 *layer screen mesh* dimasukkan ke masing-masing pipa, 1 ujung pipa tembaga (berlawanan dengan ujung yang dibentuk kerucut) di tutup menggunakan neple yang mempunyai katup. Hal ini bertujuan agar *heat pipe* dapat diisi fluida dan di *vacuum*.



Gambar 3.6 Neple dan salah satu *heat pipe* yang setengah jadi

5. Dilakukan pengelasan timah terhadap kedua ujung pipa tembaga, ujung pipa tembaga yang berbentuk kerucut dan ujung pipa tempat *joining neple* dan pipa tembaga.



Gambar 3.7 Proses pengelasan timah

6. *Heat pipe* yang telah di las timah, diisi dengan *aquades* (air) menggunakan suntikan. Pengisian fluida yaitu sebanyak 60% dari total volume *heat pipe* yang telah dibuat. 2,64 ml untuk pipa tembaga berdiameter 6 mm, 4,2 ml untuk pipa tembaga berdiameter 8 mm, dan 6,24 ml untuk pipa tembaga berdiameter 10 mm.



Gambar 3.8 Proses pengisian fluida kerja

7. Untuk memperoleh kondisi *vacuum*, *heat pipe* yang telah diisi fluida kerja dibekukan menggunakan *circulating thermostatic bath* pada temperatur -5°C , setelah fluida di dalam *heat pipe* beku, *heat pipe*

disambungkan ke mesin *vacuum* ke bagian nepel menggunakan selang *vacuum* selama 3 menit untuk *heat pipe* berdiameter 6 mm, 5 menit untuk *heat pipe* berdiameter 8 mm, dan 10 menit untuk *heat pipe* berdiameter 10 mm.



Gambar 3.9 Proses *vacuum*

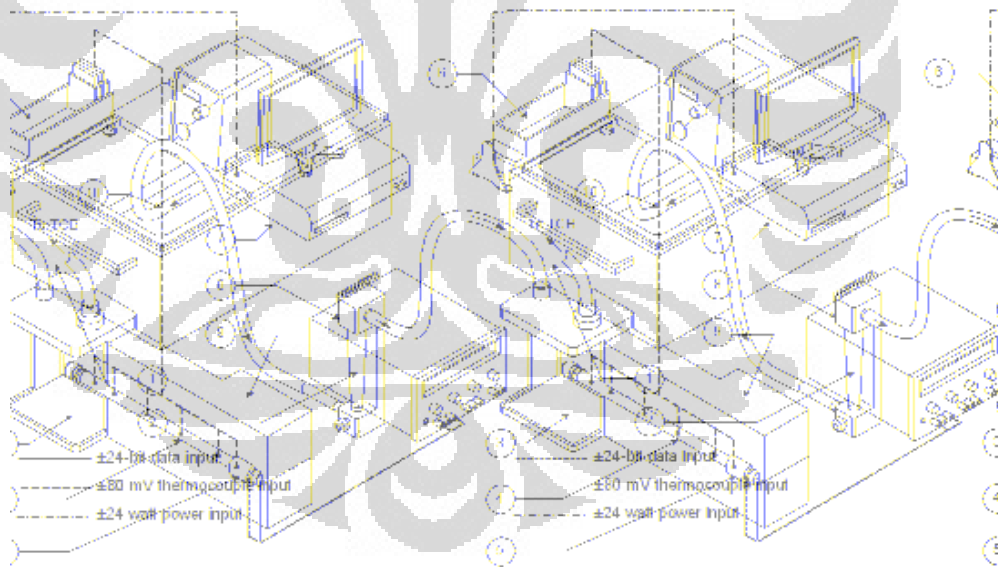


Gambar 3.10 3 Variasi diameter *straight heat pipe* yang digunakan dalam pengujian

3.2 INSTALASI PENGUJIAN

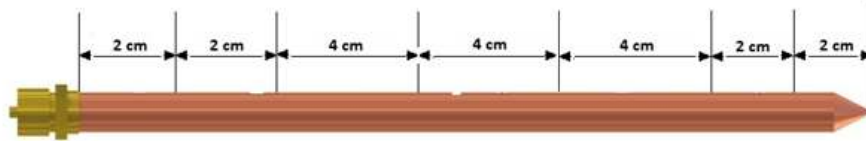
Urutan instalasi dalam pengujian yang dilakukan adalah :

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. Ujung *heat pipe* bagian kondensor dimasukkan ke *water reservoir* .
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 *water reservoir* dengan *connector* pada *Circulating thermostatic bath* (CTB).
7. Ujung termokopel yang lainnya dihubungkan dengan data akuisisi National Instruments NI 9213.
8. Menghidupkan CTB.
9. Menghubungkan Data akuisis dengan computer.
10. Tunggu temperatur CTB hingga temperatur 25⁰ C.
11. Menghidupkan *power supply* sesuai daya yang diinginkan.
12. Pengambilan data dilakukan.



- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. CTB | 6. DAQ system |
| 2. Flow meter | 7. CPU |
| 3. Water reservoir | 8. DC Power supply |
| 4. Heat pipe | 9. Polyethylene |
| 5. Pemanas elektrik | 10. Thermocouple |

Gambar 3.11 Skema pengujian *straight heat pipe*



Gambar 3.12 Posisi termokopel pada *heat pipe*

3.3 KOMPONEN PENGUJIAN

Sejumlah peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian *heat pipe* sebagai berikut :

1. Data Akuisisi

Data akuisisi/*Data Acquisition* (DAQ) adalah alat yang mampu merubah kondisi fisik, sehingga dapat berubah menjadi sinyal numerik yang mampu di manipulasikan oleh komputer. 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, yang merupakan produksi *National Instruments*.



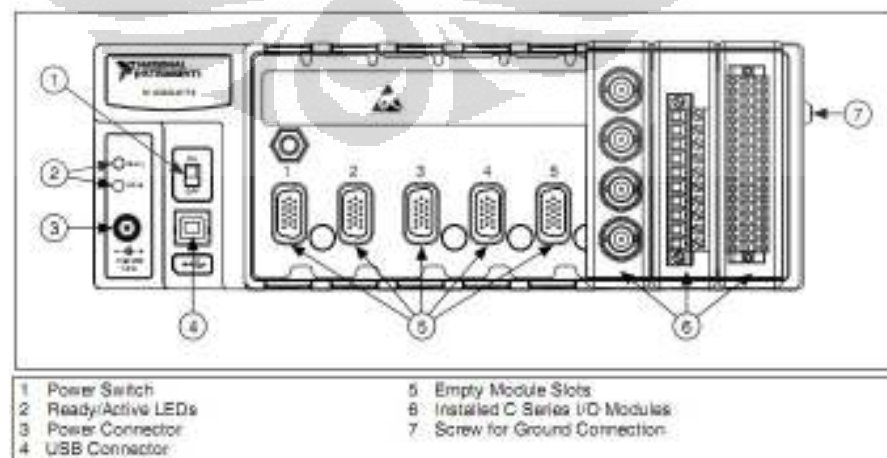
Gambar 3.13 Data akuisisi NI 9213 dan *Chassis* NI cDaq-9172

Data akuisisi ini menggunakan *software* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi Windows 7 dengan menggunakan *software* Lab View 8.5 untuk pengambilan data.

Tabel 3.1 Spesifikasi Data Akuisisi NI 9213

Product Name	NI 9213
Operating System	Windows
Measurement Type	Temperature, Thermocouple, Voltage
Channels	0 – 16
Resolutions	24 bits
Output to Computer	USB
Input Measurement Voltage	-78.125 mV to 78.125 mV
Thermocouple Type	J,K,T,N,E,B,R,S

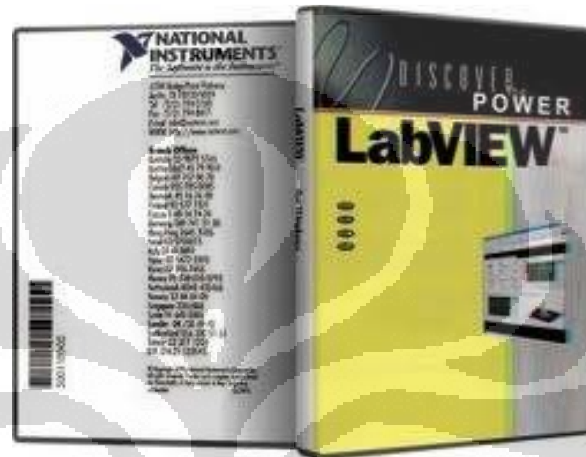
Modul NI 9213 dipasang pada salah satu port yang terdapat pada sasis cDAQ 9172, dari sasis ini akan dihubungkan ke komputer melalui kabel USB (*universal serial bus*) yang selanjutnya dengan bantuan *software* Lab View akan menampilkan hasil pembacaan temperatur dari termokopel.



Gambar 3.14 Chassis NI cDAQ 9172

2. Notebook dan Software

Untuk mengolah sinyal-sinyal digital dari DAQ sehingga hasil dapat ditampilkan dalam bentuk grafik maupun tabel pengujian maka data diproses menggunakan *notebook* dengan *software* LAB View 8.5.



Gambar 3.15 National Instruments LabVIEW 8.5

3. Termokopel

Termokopel adalah alat ukur temperatur yang berupa sambungan antara dua logam yang berbeda dimana menghasilkan tegangan yang terkait dengan perbedaan suhu tersebut. Pada pengujian ini termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K, dengan material pembentuk Kromel dan Alumel yang temperature kerjanya dari antara -200°C sampai 1200°C .

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.



Gambar 3.16 Termokopel tipe K

4. *Power Supply*

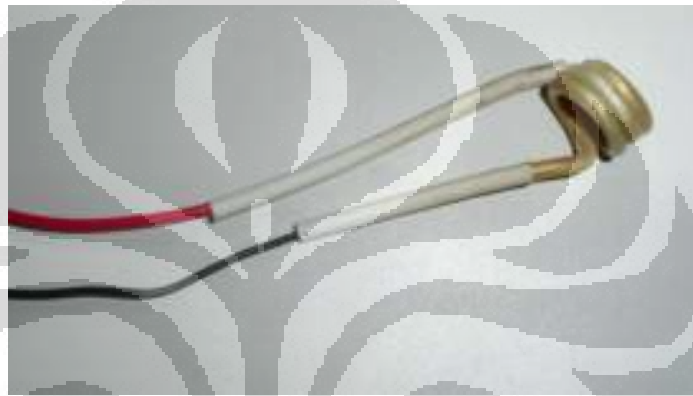
Power supply berfungsi untuk menghasilkan daya listrik. *Power supply* ini mampu mengubah tegangan *Alternating current* (AC) 220 V menjadi tegangan *Directional Curent* (DC) dengan besarnya tegangan yang dapat diatur.



Gambar 3.17 *Power Supply*

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.



Gambar 3.18 *Heater*

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 20cm x 10cm x 10cm. Kalor dari *heat pipe* saat pengujian sebisa mungkin diisolasi agar tidak lepas ke lingkungan.



Gambar 3.19 Isolator dengan material *polyurethane*

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 3.20 *Glasswool*

8. *Circulating Thermostatic Bath (CTB)*



Gambar 3.21 *Circulating Thermostatic Bath (CTB)*

Dalam melakukan pengujian *heat pipe* digunakan satu unit *circulating thermostatic bath* (CTB) untuk mengatur temperatur fluida kerja dan mendorong fluida kerja dingin ke dalam *water block* dan mendinginkan kembali fluida kerja yang menyerap kalor dari sisi panas modul termoelektrik yang diserap oleh *water block*. Pada CTB terdapat beberapa komponen seperti bak penampung air, *temperature controller*, pompa, *heater* dan *chiller*.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Circulating Thermostatic Bath*

Operating temperature range	-20 to 200 C
Temperature adjustment	digital
Temperature indication	digital
Heating power	1 kW

Cooling power	0,2 kW
Refrigeration machine	refrigerant
Refrigerant	R290
Pressure pump	0.2 bar
Bath volume	295x193 mm
Width bath opening WxD	150 mm
Bath depth	265 mm
Height of bath opening	350x560x420 mm
Overall dimensions WxDxH	28 kg

9. 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 3.22 Pompa *vacuum*

10. *Water Reservoir*

Area kondensor akan terdapat di dalam air pada *water reservoir* yang bersirkulasi dan dijaga temperatur konstan melalui aliran yang berasal dari *circulating thermostatic bath*. Area kondensor pada *heat pipe* harus dijaga

pada kondisi temperatur stabil. Temperatur tersebut dibuat untuk memastikan panas mengalir dari evaporator ke kondensor.



Gambar 3.23 *Water Reservoir*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Pada bagian ini akan disajikan data – data dan analisa dari hasil pengujian *straight heat pipe* dengan variasi *numbering of mesh* dari *screen mesh wick*, diameter pipa tembaga yang digunakan. *Heat pipe* yang di uji menggunakan sistem berpendingin air di bagian kondensor.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *straight heat pipe* yang menggunakan *screen* 100, 200, 250, 300 *mesh wick* dengan menggunakan air sebagai fluida kerja, variasi yang digunakan pada pengujian ini adalah daya masukan dari *heater* untuk bagian *evaporator* sebesar 10 Watt, 20 Watt dan 30 Watt dengan temperatur pendingin air 25⁰C di bagian kondensor menggunakan CTB.

Pada pengambilan data selanjutnya, *fixed parameter* yang diambil adalah daya masukan *heater* yang digunakan sebesar 10 Watt dan *screen mesh wick* yang digunakan adalah *screen 200 mesh*. Sedangkan untuk *variable parameter* yang diambil adalah diameter *heat pipe* yang divariasikan menjadi 3 jenis yaitu 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Temperatur pendingin air 25⁰C di bagian kondensor menggunakan CTB.

Pengambilan data dilakukan rata-rata selama 60-105 menit sampai temperature di evaporator tidak naik lagi (mencapai *steady state*). Data diambil sebanyak 1 data per 1 detik dengan menggunakan modul dari *National Instrument* dan kemudian dicatat ke dalam bentuk file dengan menggunakan perangkat lunak *Labview 8.5*. Data yang telah disimpan dalam

bentuk file kemudian diolah dan dianalisa menggunakan program *Microsoft Excel* dan *Origin Lab*.

4.2 KINERJA HEAT PIPE

4.2.1 Distribusi Temperatur pada *Heat Pipe*

Dari pengujian kinerja *heat pipe* melalui pengukuran pada beberapa titik di daerah evaporator, adiabatic, dan kondensor didapatkan rata-rata temperatur pada titik-titik tersebut seperti tabel berikut:

Tabel 4.1 Temperatur pada daya 10 Watt di titik-titik *heat pipe* dengan 4 macam *screen mesh wick*

	Temperatur	Screen Mesh			
		100	200	250	300
10 Watt	T1	82,09	74,57	67,47	64,74
	T2	81,53	70,51	66,11	60,90
	T3	70,83	52,85	44,67	48,61
	T4	52,81	41,80	38,37	35,11
	T5	32,57	27,99	27,14	26,26
	T6	27,34	26,02	26,01	25,36
$\Delta t (te-tc)$		51,85	45,53	40,21	37,01
Hambatan termal		5,19	4,55	4,15	3,70

Tabel 4.2 Temperatur pada daya 20 Watt di titik-titik *heat pipe* dengan 4 macam *screen mesh wick*

	Temperatur	Screen Mesh			
		100	200	250	300
20 Watt	T1	133,39	123,65	115,61	99,40
	T2	117,91	121,03	114,67	97,79
	T3	98,44	98,34	91,54	67,62
	T4	97,13	88,22	69,74	49,00
	T5	43,10	37,33	37,57	28,46
	T6	34,76	31,98	33,75	26,85

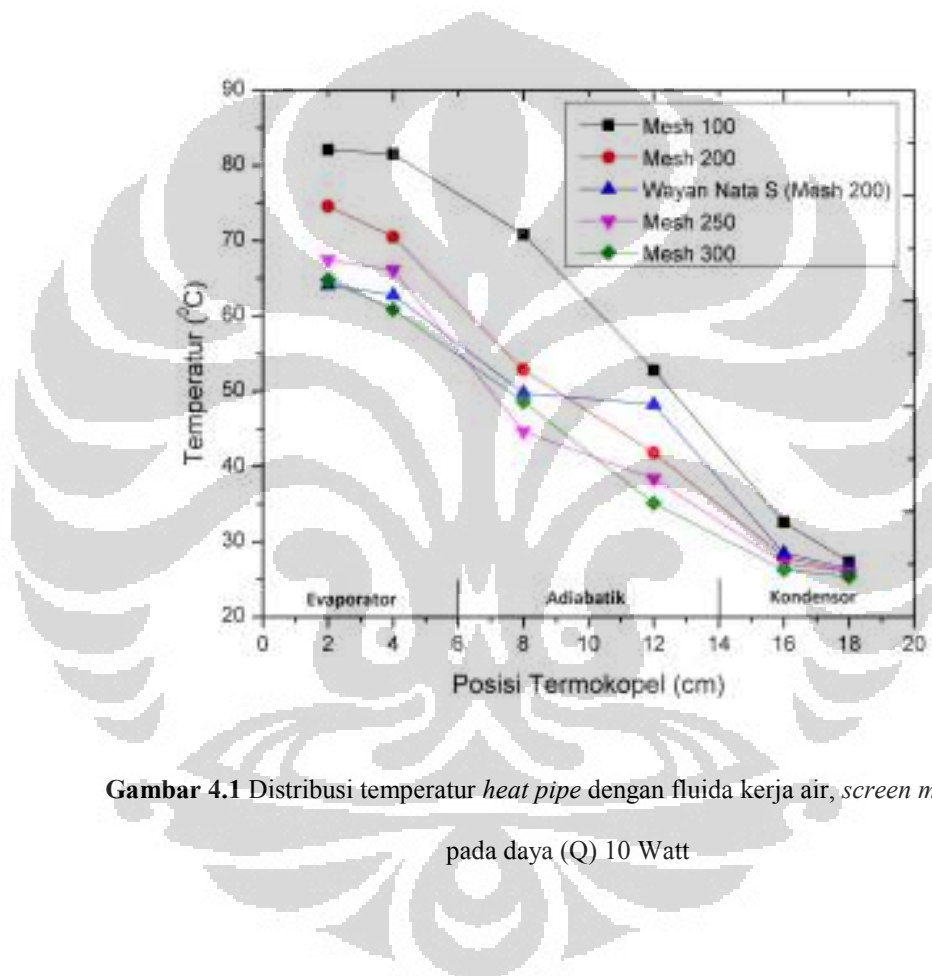
Δt (te-tc)	87,68	86,72	79,48	70,94
Hambatan termal	4,38	4,34	4,09	3,55

Tabel 4.3 Temperatur pada daya 30 Watt di titik-titik *heat pipe* dengan 4 macam *screen mesh wick*

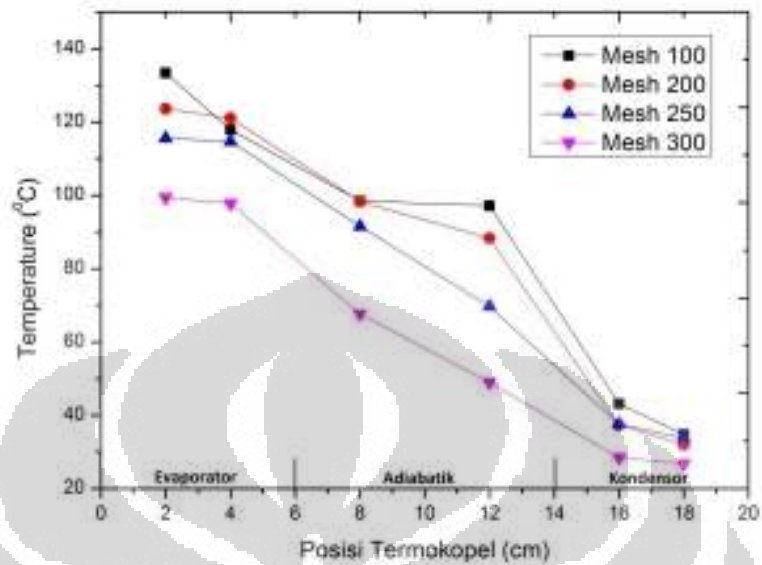
	Temperatur	Screen Mesh			
		100	200	250	300
30 Watt	T1	158,64	144,58	133,53	122,64
	T2	135,80	136,75	128,87	121,27
	T3	100,70	99,62	99,26	98,51
	T4	97,33	96,31	97,82	80,07
	T5	62,92	53,30	44,96	33,23
	T6	45,43	39,67	36,24	31,95
	Δt (te-tc)	93,05	94,18	90,60	89,37
Hambatan termal	3,25	3,24	3,14	2,98	

Dari data ke 3 tabel diatas dan pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 menunjukkan distribusi temperatur pada *heat pipe* dengan menggunakan diameter 8 mm, berbagai *numbering of mesh* dari *screen mesh wick* dan fluida kerja air pada daya (Q) 10 Watt, 15 Watt dan 20 Watt. Temperatur pada sepanjang *heat pipe* menurun dari posisi *evaporator* sampai pada daerah kondensor. Seperti yang terlihat pada ke 3 grafik tersebut, temperatur *heat pipe* pada bagian *evaporator*, dengan semakin besar *numbering* dari *screen mesh* yang digunakan memiliki temperatur yang lebih rendah. Dalam hal ini temperatur *evaporator* paling rendah pada *heat pipe screen 300 mesh wick*, paling tinggi pada *heat pipe screen 100 mesh wick*. Penurunan temperatur bagian *evaporator* cukup signifikan rata-rata 20,63% untuk *screen 300 mesh* dibanding *screen 100 mesh*, 15,65% untuk *screen 250 mesh* dibanding *screen 100 mesh*, dan 8,41% untuk *screen 200 mesh* dibanding *screen 100 mesh*. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar *numbering of mesh* dari *screen mesh wick* memiliki pengaruh yang cukup bagus dalam mereduksi temperatur saat *evaporator* bekerja. Dari

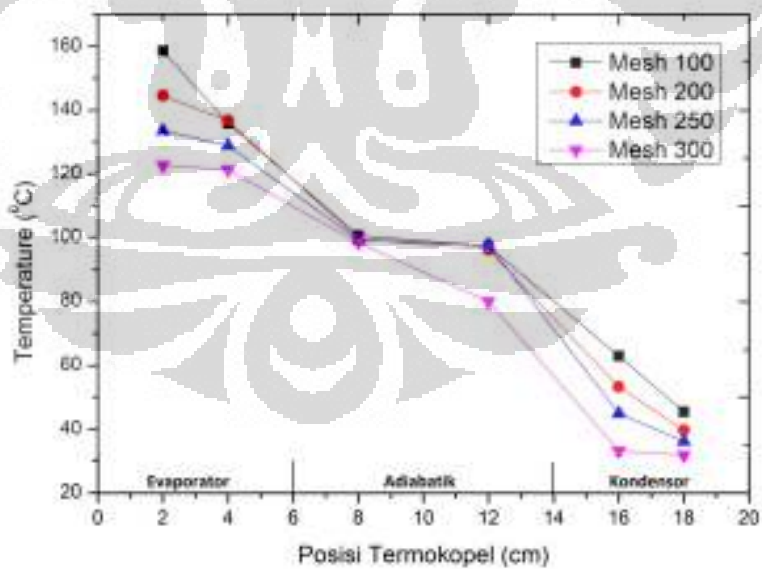
penelitian yang telah dilakukan oleh Wayan Nata S. (Gambar 4.1) dengan *screen 200 mesh wick* dengan layer dan fluida yang sama, menunjukkan temperatur di evaporator lebih rendah yaitu $63,45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sementara dalam penelitian ini untuk *screen 200 mesh wick* menunjukkan temperatur di *evaporator* $72,54\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan kinerja *straight heat pipe* dari penelitian Wayan Nata S. [56] mempunyai performa lebih baik.



Gambar 4.1 Distribusi temperatur *heat pipe* dengan fluida kerja air, *screen mesh wick* pada daya (Q) 10 Watt

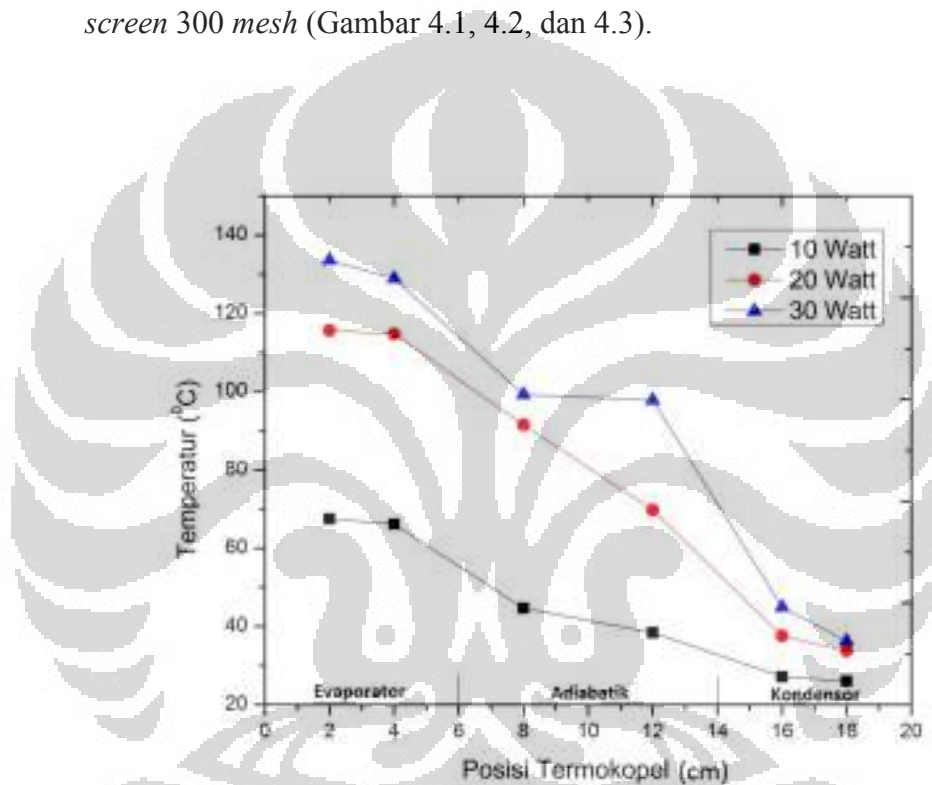


Gambar 4.2 Distribusi temperatur *heat pipe* dengan fluida kerja air, *screen mesh wick* pada daya (Q) 20 Watt



Gambar 4.3 Distribusi temperatur *heat pipe* dengan fluida kerja air, *screen mesh wick* pada daya (Q) 30 Watt

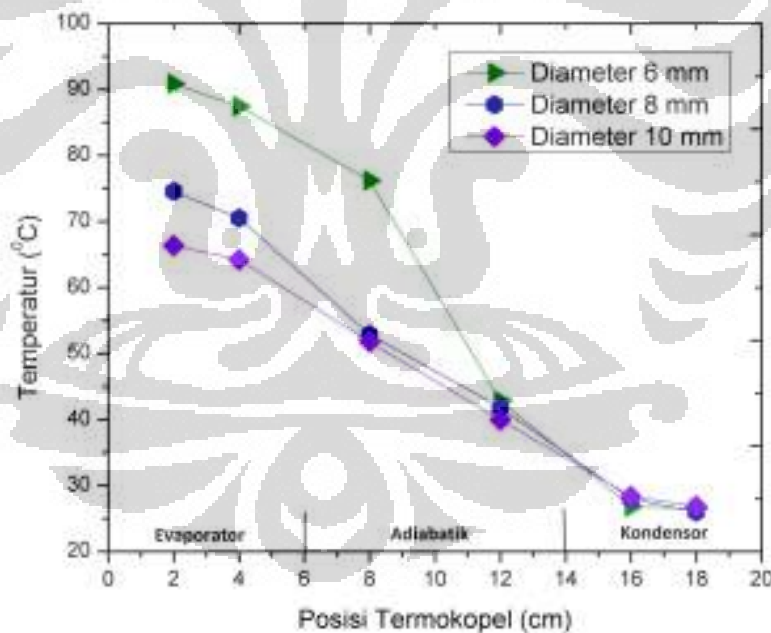
Pembebanan atau pemberian kalor (Q) pada *evaporator* juga berpengaruh terhadap distribusi temperatur pada *heat pipe*. Gambar 4.4 memperlihatkan distribusi temperatur *heat pipe screen 250 mesh* dengan fluida kerja air pada pembebanan (Q) 10 Watt, 15 Watt, dan 20 Watt. Penambahan pembebanan menyebabkan temperatur *evaporator* meningkat baik pada *heat pipe* dengan *screen 100 mesh* maupun *heat pipe* dengan *screen 300 mesh* (Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3).



Gambar 4.4 Distribusi temperatur *heat pipe* dengan fluida kerja air, *screen 250 mesh wick* pada 3 macam daya (Q)

Pada gambar 4.5 memperlihatkan distribusi temperatur *heat pipe screen 200 mesh* dengan fluida kerja air pada pembebanan (Q) 10 Watt dengan diameter pipa tembaga 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Pada *heat pipe* diameter 6 mm memiliki temperatur *evaporator* $89,17^{\circ}\text{C}$, lebih besar dibanding temperatur *evaporator heat pipe* diameter 8 mm terjadi yaitu $72,54^{\circ}\text{C}$. Sementara untuk *heat pipe* diameter 10 mm memiliki temperatur *evaporator* $65,29^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini terjadi karena dengan bertambahnya

diameter dari *heat pipe* berarti memperbesar luasan dari penampang *heat pipe*. 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 *evaporator* (T_e) sehingga $T_e.T_c$ yang terbentuk akan lebih kecil. Disamping itu dengan bertambahnya diameter dari *heat pipe* maka volume dari *wick* pada *heat pipe* sebagai tempat dari adanya *porous media* juga akan lebih besar. Bertambahnya volume *wick* akan menambah bidang *porous media* sehingga debit dari kondensasi uap dibagian kondensor akan meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap kinerja *heat pipe* sehingga proses perpindahan kalor terjadi lebih cepat.



Gambar 4.5 Distribusi temperatur *heat pipe* dengan fluida kerja air, screen 200 mesh wick pada variasi diameter *heat pipe*

4.2.2 Efek Perbedaan *Numbering of Screen Mesh* terhadap Laju Perpindahan Panas pada *Heat Pipe*

Flux panas pada bagian *evaporator* dapat ditentukan dari besarnya panas yang diberikan (Q) dibagi dengan luasan *evaporator*, yakni:

$$q_e = \frac{Q}{(2\pi r_o l_e)}$$

Jika $Q = 10$ Watt, maka

$$\begin{aligned} q_e &= \frac{10}{(\pi \times 0,008 \times 0,04)} \\ &= 9952,53 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan kalor (HTC) dari bagian *evaporator* dapat dihitung melalui perbandingan antara *flux* panas di *evaporator* dengan perbedaan temperatur ΔT *evaporator*-kondensor, yakni:

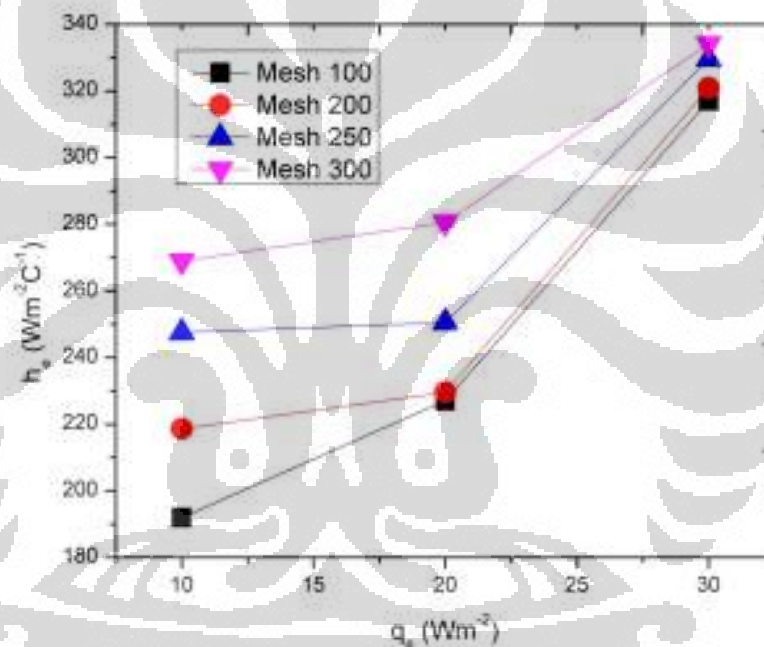
$$\begin{aligned} h_e &= \frac{q_e}{\Delta T} \\ &= \frac{9952,53 \text{ Watt}}{54,75} = 181,77 \text{ Watt/}^\circ\text{C m}^2 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama untuk beberapa nilai Q dan beberapa *screen mesh wick* yang digunakan, maka diperoleh nilai *flux* panas pada *evaporator* seperti pada table 4.4 berikut:

Tabel 4.4 *Flux* panas dan *Heat Treansfer Coefficient* pada *evaporator*

Q (Watt)	Q _{evap} (watt/m ²)	h _e (Watt/ ⁰ Cm ²)			
		Mesh 100	Mesh 200	Mesh 250	Mesh 300
10	9.952,23	191,93	218,58	247,48	268,94
20	19.904,46	227,00	229,53	250,44	280,57
30	29.856,69	317,01	320,88	329,54	334,10

Dari table 4.4 dan gambar 4.6 menunjukkan semakin besar fluks panas yang diberikan pada *heat pipe*, semakin besar pula koefisien perpindahan kalornya. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa *screen 300 mesh wick* memiliki HTC paling besar dibanding dengan *screen 250, 200, dan 100 mesh wick*. Begitu pula dengan semakin besar *numbering of screen mesh wick* yang digunakan, maka semakin besar pula koefisien perpindahan kalor yang didapat.



Gambar 4.6 Efek dari *number of screen mesh* terhadap HTC evaporator-kondensor

4.2.3 Efek Perbedaan *Numbering of Screen Mesh* dan Q terhadap Hambatan Termal pada *Heat Pipe*

Hambatan termal pada *heat pipe* dihitung berdasarkan kondisi temperatur pada bagian *evaporator* dengan temperatur pada daerah kondensor dan *evaporator*-adiabatik terhadap pembebanan yang diberikan.

Material penyusun *wick* mempengaruhi hambatan panas *heat pipe*. Pada *screen mesh wick*, material penyusun adalah *stainless steel* dengan konduktivitas termal $k = 40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Selain itu ada kapilaritas yang mempengaruhi hambatan panas pada *heat pipe*.

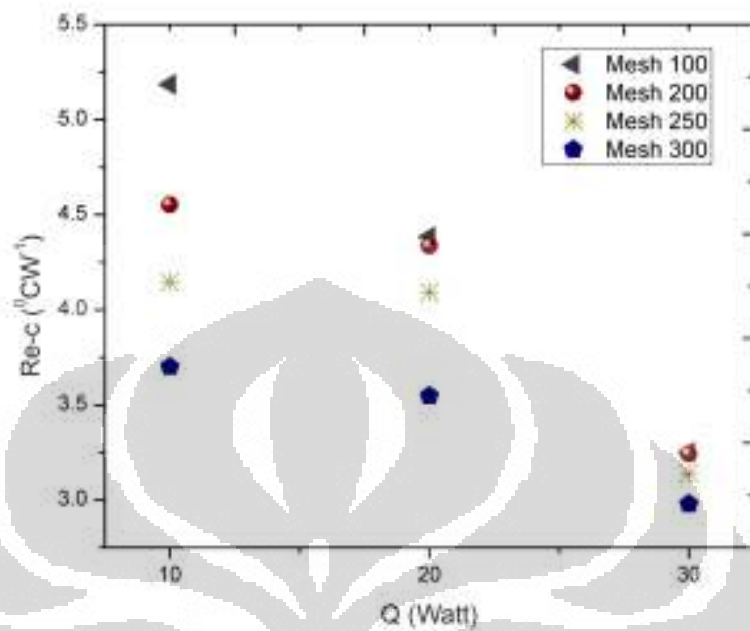
Tabel 4.5 Hambatan termal *evaporator-kondensor* pada variasi *wick* dan daya

Q (Watt)	Re-c ($^{\circ}\text{C/Watt}$)			
	Mesh 100	Mesh 200	Mesh 250	Mesh 300
10	5,19	4,55	4,15	3,70
20	4,38	4,34	4,09	3,55
30	3,25	3,24	3,14	2,98

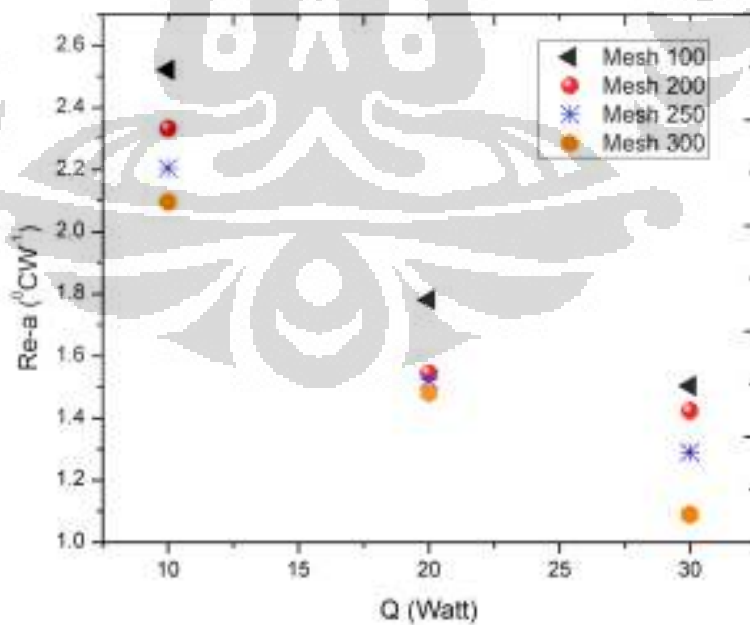
Tabel 4.6 Hambatan termal *evaporator-adiabatik* pada variasi *wick* dan daya

Q (Watt)	Re-a ($^{\circ}\text{C/Watt}$)			
	Mesh 100	Mesh 200	Mesh 250	Mesh 300
10	2,52	2,33	2,21	2,10
20	1,78	1,54	1,52	1,48
30	1,50	1,42	1,29	1,09

Gambar 4.7 dan table 4.5 memperlihatkan bahwa hambatan termal *evaporator-kondensor* pada *screen 300 mesh wick* mempunyai nilai yang paling kecil yaitu $3,70^{\circ}\text{C/Watt}$ jika daya yang diberikan sebesar 10 Watt. Untuk daya yang sama *heat pipe* yang menggunakan *screen 250 mesh wick* mempunyai hambatan lebih besar yaitu $4,15^{\circ}\text{C/Watt}$, *screen 200 mesh wick* hambatan termalnya sebesar $4,55^{\circ}\text{C/Watt}$, dan *screen 100 mesh wick* dengan hambatan termal paling besar dengan nilai $5,19^{\circ}\text{C/Watt}$. Hal ini menunjukkan dengan bertambahnya *numbering of screen mesh wick* menyebabkan nilai hambatan termal menjadi kecil. Dengan daya lebih besar yang diberikan oleh *heater* pada *evaporator* juga menyebabkan nilai hambatan termal dari *heat pipe* menjadi kecil.



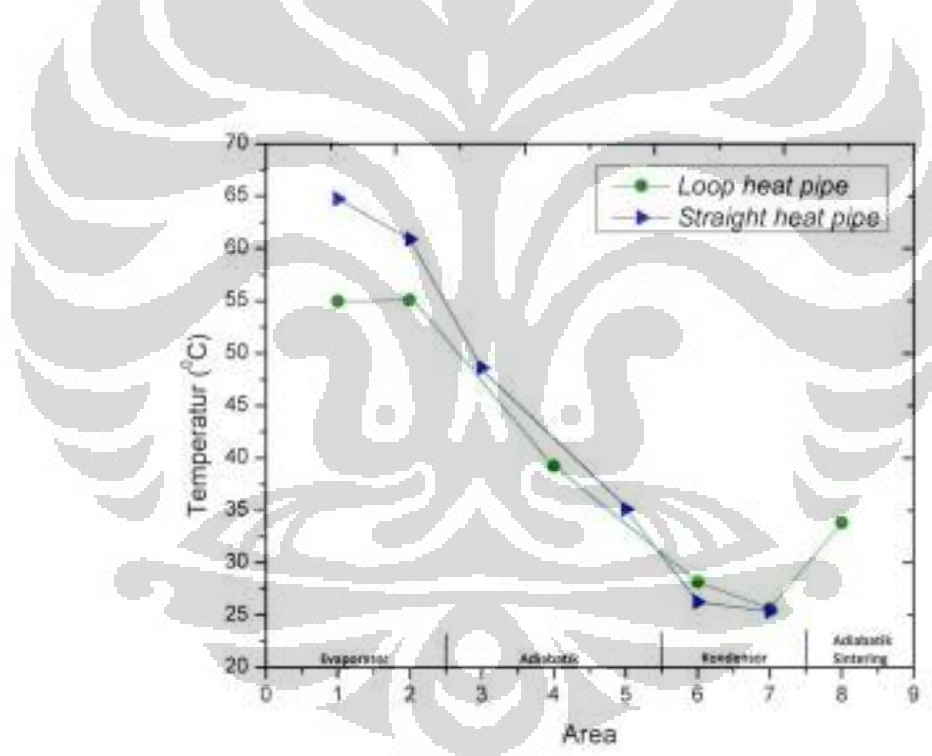
Gambar 4.7 Hambatan termal antara *evaporator* dan *condenser*, fluida kerja air



Gambar 4.8 Hambatan termal antara *evaporator* dan adiabatik, fluida kerja air

4.2.4 Kinerja *Straight* dan *Loop Heat Pipe*

Pada gambar 4.9 dapat dilihat kinerja dari *straight heat pipe* dan *loop heat pipe*. *Straight heat pipe* menggunakan *screen 300 mesh wick*, sementara *loop heat pipe* menggunakan *copper 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* $55,01^{\circ}\text{C}$, sementara *straight heat pipe* menunjukkan $62,82^{\circ}\text{C}$ pada temperatur *evaporator*. Salah satu factor yang mempengaruhi hal ini adalah penggunaan *sintering wick* pada *loop heat pipe*.



Gambar 4.9 Distribusi temperature *straight* dan *loop heat pipe* dengan daya (Q) 10 Watt

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Setelah serangkaian pengujian terhadap *heat pipe* ini dilakukan, dimulai dari uji perbedaan *numbering of screen mesh wick*, perbedaan diameter pipa tembaga, dan pengujian perbedaan daya masukan dari *heater* yang digunakan, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. *Heat pipe* dengan *screen 300 mesh wick* mempunyai temperatur paling rendah di bagian *evaporator* dibandingkan dengan *screen mesh wick* yang mempunyai *number of mesh* yang lebih kecil yaitu 250, 200, dan 100 *mesh*.
2. *Heat Transfer Coefficient* (HTC) yang merupakan perbandingan *heat flux evaporator* dengan perbedaan temperatur *evaporator-kondesor*, *screen 300 mesh wick* mempunyai HTC paling besar dibandingkan dengan 250, 200, dan 100 *mesh*. *Heat pipe* dengan diameter 100 mm memiliki HTC paling besar dibanding *heat pipe* diameter 8 mm dan 6 mm.
3. Hambatan termal *heat pipe* antara *evaporator-condenser* merupakan kondisi temperatur pada bagian *evaporator* dengan temperatur pada daerah kondensor terhadap pembebanan yang diberikan. Dari 100, 200, 250, dan 300 *mesh* yang digunakan dalam pengujian, *screen 100 mesh wick* memiliki hambatan termal paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

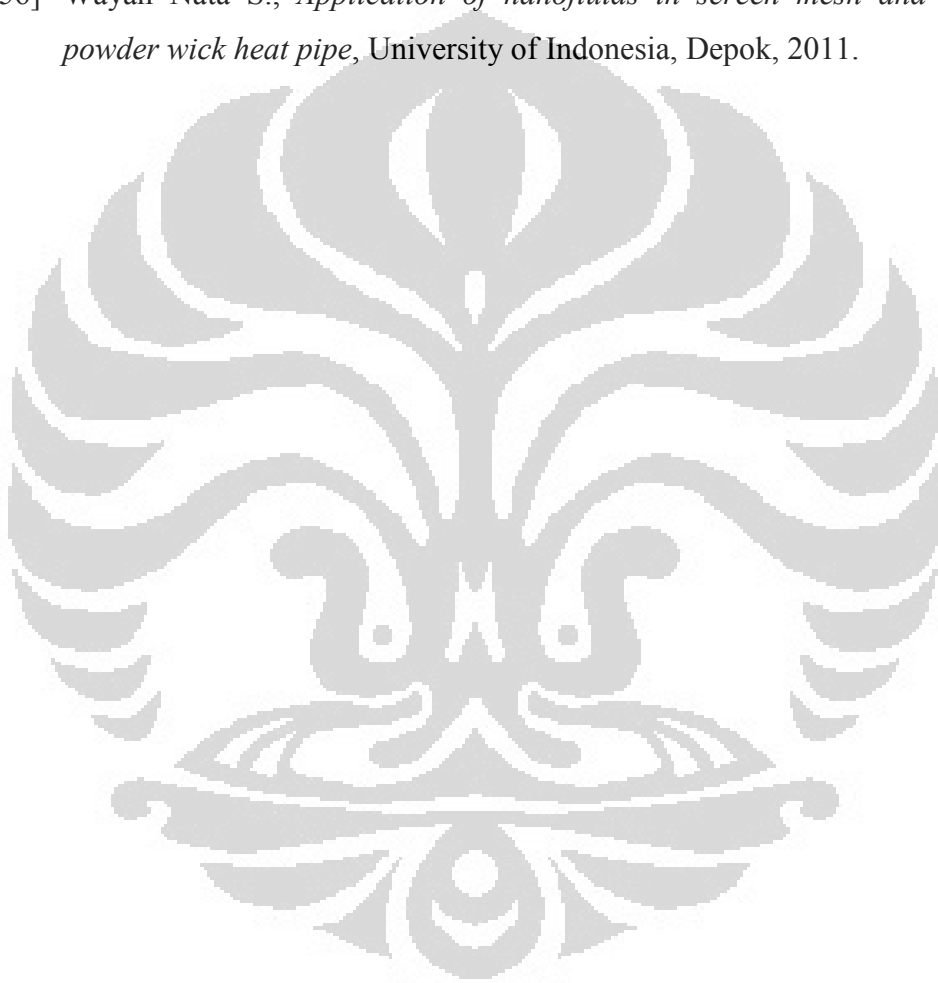
- [1] Masaru Ommi, Tushiro Fukumoto, *State-of-the-art Technologies of Micro Heat-Pipe Heat-Sinks for Notebook PCs*. Thermal Products Dept., Electronic Components Division and Components and Mounting Technology Development.
- [2] K.S.Kim, M.H. Won, J.W. Kim, B.J. Back, *Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU*, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 1137–1144.
- [3] David Reay, Peter Kew. *Heat Pipe, Theory, Design and Applications, 5th Edition*. Butterworth-Heinemann USA: Elsevier. (2006)
- [4] D. Reay, P. Kew, *Heat pipe teory, desain and applications*, 5th edition, Elsevier, 2006
- [5] <http://siboys.com/pdf.word/cp-Siboysprosesor-S.pdf>
- [6] 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.
- [7] V. Barantsevich, V. Shabalkin, *Heat pipes for thermal control of ISS solar battery drive*, Research Institute of Electromechanics: Moscow, Russia , 2003.
- [8] Igor I. Sviridenko, *Heat exchangers based on low temperature heat pipes for autonomous emergency WWER cooldown systems*, Applied Thermal Engineering, 2006.
- [9] Nandy P., Raldi A.K., *Pengembangan Sistem Pendinginan Thermoelectric dan Heat Pipe pada Prototipe Kotak Sampel Darah Portabel*. Universitas Indonesia. 2007.
- [10] 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.
- [11] <http://ignaciolarioja.blogspot.com/2010/07/heatpipes.html>
- [12] King, C.R. *Perkins' hermetic tube boilers*. Engineer, Vol. 152, pp 405–406, 1931.

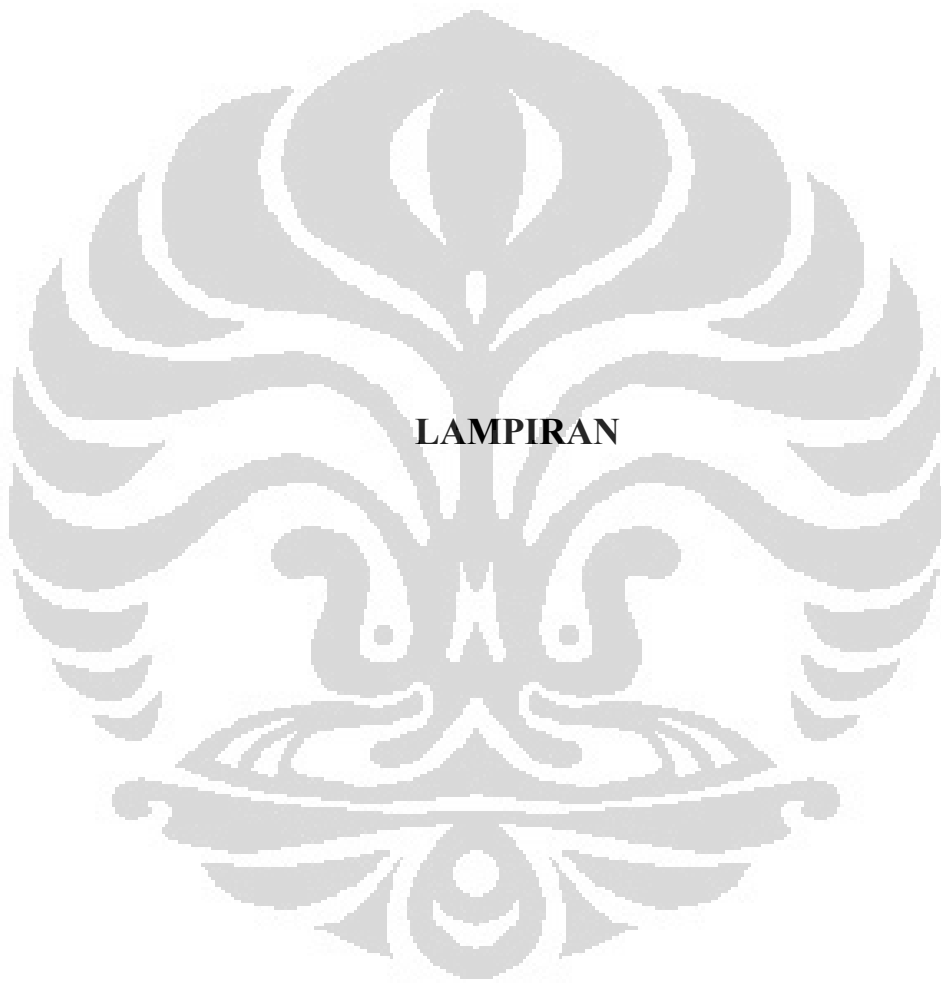
- [13] S.W. Chi, *Heat Pipe Theory and Practice*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976.
- [14] Gaugler, R.S. *Heat Transfer Devices*. US Patent No. 2350348, Appl. 21 Desember 1942. Published 6 Juni 1944.
- [15] Grover, G.M. *Evaporation-Condensation Heat Transfer Device*. US Patent No. 3229759. Appl. 2 Desember 1963. Published 18 January 1966.
- [16] Feldman, K.T. and Whiting, G.H. *The Heat Pipe and Its Potentialities*. Eng. Dig., Vol. 28 No. 3, pp 86–86, (1967).
- [17] G.P. Petersen, *An Introduction to Heat Pipes*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994.
- [18] Cheung, H. *A critical review of heat pipe theory and applications*. USAEC Report UCRL-50453. Lawrence Radiation Laboratory, University of California, 1968.
- [19] Busse, V.A. *Heat pipe research in Europe*. Euratom Report. EUR 4210 f, 1969. REFERENCES 143
- [20] Patrick. J Bernnan. *Heat Pipe Design Hanbook*. National Aeronautics and Space Administration Goddards Space Flight Centre 20771. (1979).
- [21] Hoa, C., Demolder, B. and Alexandre, A. *Roadmap for Developing Heat Pipes for ALCATEL SPACE's satellites*. Appl. Therm. Eng., Vol. 23, pp 1099–1108, (2003).
- [22] Blackshield™. *Mengenal Teknologi Heat Pipe*. (2008).
- [23] <http://heatpipe.nl/index.php?page=heatpipe&lang=EN>
- [24] 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.
- [25] <http://www.enertron-inc.com/enertron-products/heat-pipe-design.php>
- [26] D. Reay, P. Kew, *Heat pipe teory, desain and applications*, 5th edition, Elsevier, 2006
- [27] P. Dunn, D.A. Reay, *Heat Pipes*, 2nd edn., Pergamon Press, Oxford, England, 1978.

- [28] Lidbury, J.A. *A helium heat pipe*. Nimrod Design Group Report NDG-72-11, Rutherford Laboratory, England, 1972.
- [29] Groll, M. *Wärmerohre als Bauelemente in der Wärme-und Kältetechnik. Brennst-Waerme-kraft.*, Vol. 25, No. 1, 1973 (German).
- [30] Marto, P.J. and Mosteller, W.L. *Effect of nucleate boiling on the operation of low temperature heat pipes*. ASME Paper 69-HT-24
- [31] Phillips, E.C. *Low temperature heat pipe research program*. NASA CR-66792, 1970
- [32] Keser, D. *Experimental determination of properties of saturated sintered wicks*. 1st International Heat Pipe Conference, Stuttgart, 1973.
- [33] Moritz, K. and Pruschek, R. *Limits of energy transport in heat pipes*. *Chem. Ing. Technik.*, Vol. 41, No. 1, 2, 1969 (German)
- [34] Vinz, P. and Busse, C.A. *Axial heat transfer limits of cylindrical sodium heat pipes between $25W/cm^2$ and $15,5kW/cm^2$* . 1st International Heat Pipe Conference, Paper 2-1, Stuttgart, 1973.
- [35] Quataert, D., Busse, C.A. and Geiger, F. *Long term behaviour of high temperature tungsten-rhenium heat pipes with lithium or silver as working fluid*. 1st International Heat Pipe Conference, Paper 4-4, Stuttgart, 1973.
- [36] Takaoka, T. et al. *Development of long heat pipes and heat pipe applied products*. Fujikura Technical Review, pp 77-93, 1985
- [37] Busse, C.A. *Pressure Drop In The Vapour Phase of Long Heat Pipes*. Thermionic Conversion Specialists Conference, Palo Alto, CA, October, (1967).
- [38] Kaudinga, J.V. et al. *Experimental investigation of a heat pipe with carbon fibre wick*. Proceedings of the 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990. Hemisphere, New York, 1991.
- [39] Fabian Korn. *Heat Pipes and its Applications*. Sweden: Dep. Of Energy Science, Faculty of Engineering, Lund University. Heat and Mass Transport (2008) MVK 160.
- [40] Schroff, A.M. and Armand, M. *Le Caloduc*. Rev. Tech. Thomson-CSF., Vol. 1, No. 4, 1969 (French).

- [41] Farran, R.A. and Starner, K.E., *Determining wicking properties of compressible materials for heat pipe applications*, Proceedings of Aviation and Space Conference, Beverley Hills, California, June 1968
- [42] Ferrell, J.K. and Alleavitch, J. *Vaporisation heat transfer in capillary wick structures*, Department of Chemical Engineering Report, North Carolina University, Raleigh, USA, 1969.
- [43] Freggens, R.A., *Experimental determination of wick properties for heat pipe applications*, 4th Intersociety Energy Conference Engineering Conference, Washington DC, 22–26 September 1969, pp 888–897
- [44] Phillips, E.C. and Hinderman, J.D. *Determination of properties of capillary media useful in heat pipe design*. ASME Paper 69-HT-18, 1969.
- [45] Birnbreier, H. and Gammel, G. *Measurement of the effective capillary radius and the permeability of different capillary structures*. 1st International Heat Pipe Conference, Paper 5–4, Stuttgart, October 1973.
- [46] Langston, L.S. and Kunz, H.R. *Liquid transport properties of some heat pipe wicking materials*. ASME Paper 69-HT-17, 1969
- [47] McKinney, B.G. *An experimental and analytical study of water heat pipes for moderate temperature ranges*. NASA-TM-X53849. Marshall Space Flight Center, Alabama: June 1969.
- [48] Calimbas, A.T. and Hulett, R.H. *An avionic heat pipe*. ASME Paper 69-HT-16, New York, 1969.
- [49] Katzoff, S. *Heat pipes and vapour chambers for thermal control of spacecraft*. AIAA Paper 67–310, 1967
- [50] Hoogendoorn, C.J. and Nio, S.G. *Permeability studies on wire screens and grooves*. 1st International Heat Pipe Conference, Paper 5–3, Stuttgart, October 1973
- [51] Chun, K.R. *Some experiments on screen wick dry-out limits*. ASME Paper 71-WA/HT- 6, 1971.
- [52] Ivanovskii, M.N. et al. *Investigation of heat and mass transfer in a heat pipe with a sodium coolant*. High Temp., Vol. 8, No. 2, pp 299–304, 1970.
- [53] P.H. Forchheimer. Z. Ver. Dtsch. Ing. 45:1782-1788, 1901.

- [54] Calvin C. Silverstein, *Design and technology of heat pipes for cooling and heat exchange hand book*, Taylor & Francis, 1992.
- [55] Wei-Chiang Wei, Shung-Wen Kang, Sheng Hong Tsai, Shih-Yu Yang, *Experimental Investigation of Silver Nano-Fluid on Heat Pipethermal Performance*, Journal Applied Termal Engineering, Sciencedirect, (2006).
- [56] Wayan Nata S., *Application of nanofluids in screen mesh and sintered powder wick heat pipe*, University of Indonesia, Depok, 2011.





**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 100 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
82,11	81,56	70,85	52,82	32,67	27,41
82,11	81,54	70,85	52,82	32,67	27,45
82,10	81,53	70,85	52,82	32,67	27,45
82,10	81,53	70,83	52,82	32,65	27,42
82,10	81,54	70,85	52,81	32,64	27,43
82,10	81,54	70,85	52,82	32,64	27,42
82,10	81,55	70,84	52,82	32,63	27,41
82,10	81,54	70,84	52,82	32,61	27,30
82,10	81,55	70,84	52,83	32,61	27,41
82,11	81,55	70,84	52,82	32,63	27,42
82,11	81,55	70,86	52,83	32,63	27,35
82,09	81,53	70,83	52,81	32,62	27,28
82,10	81,53	70,84	52,82	32,59	27,25
82,09	81,54	70,85	52,82	32,60	27,30
82,09	81,54	70,84	52,81	32,58	27,27
82,11	81,53	70,85	52,82	32,56	27,32
82,11	81,54	70,84	52,82	32,53	27,17
82,10	81,54	70,83	52,82	32,52	27,23
82,09	81,53	70,83	52,81	32,52	27,31
82,08	81,53	70,84	52,82	32,55	27,38
82,09	81,53	70,83	52,82	32,56	27,35
82,10	81,53	70,84	52,81	32,57	27,32
82,09	81,53	70,84	52,82	32,57	27,41
82,09	81,52	70,83	52,81	32,58	27,36
82,09	81,52	70,83	52,80	32,57	27,33
82,09	81,53	70,83	52,80	32,56	27,27
82,08	81,53	70,82	52,80	32,56	27,25
82,09	81,53	70,84	52,81	32,56	27,23
82,08	81,52	70,83	52,80	32,55	27,27
82,10	81,54	70,84	52,81	32,55	27,29
82,10	81,53	70,84	52,81	32,55	27,36
82,09	81,53	70,83	52,80	32,57	27,45
82,09	81,53	70,83	52,81	32,57	27,36
82,09	81,53	70,83	52,81	32,58	27,33
82,09	81,53	70,83	52,81	32,59	27,29

82,09	81,53	70,83	52,80	32,59	27,40
82,10	81,51	70,83	52,80	32,60	27,32
82,09	81,52	70,81	52,80	32,57	27,36
82,08	81,51	70,81	52,80	32,57	27,41
82,09	81,52	70,83	52,80	32,57	27,42



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 200 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
74,37	70,34	52,72	41,71	27,98	26,09
74,45	70,38	52,76	41,72	28,00	26,11
74,48	70,42	52,78	41,75	28,02	26,11
74,53	70,46	52,82	41,77	28,02	26,00
74,53	70,49	52,83	41,78	28,00	25,97
74,57	70,54	52,87	41,81	28,02	26,00
74,63	70,57	52,91	41,83	28,02	26,02
74,69	70,61	52,93	41,85	28,04	26,06
74,72	70,64	52,96	41,87	28,05	26,06
74,76	70,68	52,99	41,88	28,03	25,96
74,84	70,73	53,03	41,91	28,02	26,00
74,85	70,75	53,05	41,93	27,99	25,94
74,87	70,80	53,07	41,94	27,99	26,02
74,91	70,84	53,11	41,97	27,97	26,11
74,95	70,87	53,14	41,99	27,97	26,08
74,22	70,16	52,57	41,61	27,94	25,97
74,25	70,20	52,61	41,62	27,93	25,96
74,27	70,24	52,63	41,65	27,95	25,99
74,31	70,27	52,67	41,67	27,96	25,97
74,35	70,31	52,69	41,69	27,98	26,05
74,37	70,34	52,72	41,71	27,98	26,09
74,45	70,38	52,76	41,72	28,00	26,11
74,48	70,42	52,78	41,75	28,02	26,11
74,53	70,46	52,82	41,77	28,02	26,00
74,53	70,49	52,83	41,78	28,00	25,97
74,57	70,54	52,87	41,81	28,02	26,00
74,63	70,57	52,91	41,83	28,02	26,02
74,69	70,61	52,93	41,85	28,04	26,06
74,72	70,64	52,96	41,87	28,05	26,06
74,76	70,68	52,99	41,88	28,03	25,96
74,84	70,73	53,03	41,91	28,02	26,00
74,85	70,75	53,05	41,93	27,99	25,94
74,87	70,80	53,07	41,94	27,99	26,02
74,91	70,84	53,11	41,97	27,97	26,11
74,95	70,87	53,14	41,99	27,97	26,08

74,22	70,16	52,57	41,61	27,94	25,97
74,25	70,20	52,61	41,62	27,93	25,96
74,27	70,24	52,63	41,65	27,95	25,99
74,31	70,27	52,67	41,67	27,96	25,97
74,35	70,31	52,69	41,69	27,98	26,05



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 250 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
67,50	66,14	44,68	38,38	27,16	26,15
67,50	66,14	44,71	38,41	27,19	26,19
67,49	66,14	44,67	38,39	27,11	26,02
67,49	66,15	44,69	38,39	27,21	26,11
67,48	66,16	44,77	38,39	27,16	26,32
67,48	66,13	44,65	38,38	27,16	26,27
67,49	66,13	44,59	38,39	27,21	26,25
67,49	66,13	44,76	38,41	27,22	25,86
67,49	66,12	44,66	38,39	27,14	25,96
67,48	66,13	44,73	38,36	27,15	25,91
67,48	66,14	44,95	38,40	27,10	26,02
67,48	66,14	45,03	38,40	27,13	26,16
67,48	66,12	44,88	38,36	27,11	26,25
67,48	66,11	44,53	38,38	27,05	25,79
67,47	66,12	44,19	38,37	27,05	25,85
67,48	66,14	44,36	38,37	27,06	25,80
67,48	66,11	44,33	38,37	27,08	25,96
67,49	66,11	44,46	38,36	27,11	26,01
67,47	66,11	44,46	38,35	27,11	25,76
67,46	66,11	44,55	38,34	27,17	25,79
67,47	66,11	44,75	38,37	27,06	25,96
67,48	66,12	44,81	38,37	27,09	25,86
67,47	66,11	45,05	38,34	27,14	25,91
67,47	66,12	45,06	38,36	27,11	26,22
67,47	66,11	45,04	38,41	27,15	25,84
67,48	66,12	45,12	38,39	27,19	25,96
67,47	66,11	44,94	38,37	27,12	26,06
67,46	66,11	44,50	38,38	27,19	26,13
67,48	66,10	44,49	38,36	27,17	26,28
67,47	66,11	44,53	38,37	27,17	25,96
67,46	66,10	44,18	38,36	27,09	26,08
67,46	66,10	44,50	38,36	27,20	26,07
67,46	66,10	44,70	38,37	27,21	26,12
67,46	66,10	44,63	38,35	26,93	26,21
67,46	66,10	44,88	38,34	27,33	26,03

67,46	66,10	44,76	38,36	27,11	26,26
67,47	66,10	44,67	38,38	27,15	26,05
67,46	66,11	44,60	38,36	27,23	26,05
67,44	66,08	44,61	38,36	27,24	25,87
67,45	66,08	44,59	38,35	27,39	25,96



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 300 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
64,70	60,86	48,54	34,93	26,29	25,30
64,71	60,86	48,53	34,98	26,27	25,27
64,70	60,86	48,53	35,00	26,22	25,25
64,72	60,88	48,53	35,07	26,24	25,31
64,71	60,87	48,53	34,92	26,21	25,32
64,71	60,87	48,54	34,84	26,25	25,38
64,71	60,86	48,53	35,05	26,25	25,35
64,72	60,88	48,54	35,12	26,27	25,37
64,71	60,87	48,54	34,92	26,30	25,31
64,72	60,88	48,55	34,89	26,29	25,29
64,73	60,88	48,55	34,75	26,28	25,31
64,72	60,88	48,54	34,93	26,28	25,38
64,71	60,88	48,54	34,68	26,24	25,34
64,71	60,86	48,53	35,08	26,23	25,34
64,72	60,88	48,55	34,95	26,26	25,30
64,72	60,88	48,55	35,03	26,22	25,30
64,72	60,89	48,56	35,06	26,21	25,36
64,72	60,88	48,56	35,06	26,17	25,35
64,73	60,89	48,57	35,09	26,18	25,38
64,72	60,89	48,57	35,09	26,20	25,41
64,73	60,88	48,57	35,10	26,20	25,30
64,73	60,88	48,58	35,10	26,20	25,36
64,72	60,88	48,57	35,09	26,21	25,28
64,74	60,89	48,60	35,12	26,24	25,37
64,72	60,89	48,59	35,10	26,23	25,44
64,74	60,90	48,60	35,12	26,26	25,41
64,73	60,89	48,59	35,12	26,30	25,38
64,73	60,90	48,61	35,12	26,33	25,40
64,74	60,89	48,62	35,13	26,26	25,32
64,74	60,90	48,62	35,13	26,22	25,32
64,73	60,90	48,61	35,11	26,21	25,37
64,73	60,90	48,61	35,12	26,23	25,38
64,74	60,88	48,61	35,12	26,27	25,28
64,73	60,90	48,61	35,12	26,29	25,35
64,75	60,90	48,62	35,12	26,30	25,33

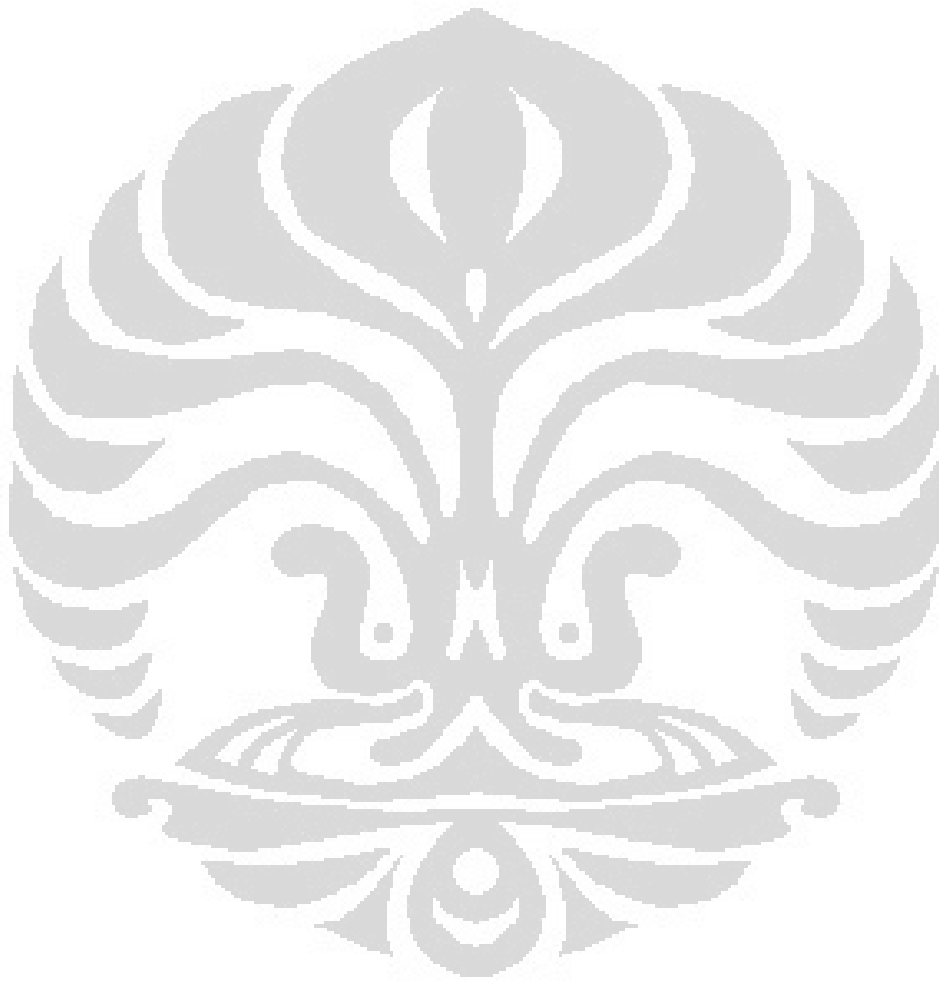
64,74	60,90	48,62	35,11	26,28	25,36
64,75	60,90	48,62	35,12	26,28	25,38
64,74	60,91	48,61	35,10	26,29	25,36
64,75	60,91	48,62	35,11	26,31	25,39
64,75	60,93	48,63	35,11	26,34	25,43



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 100 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 20 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
133,46	117,81	98,41	97,22	42,88	34,63
133,47	117,86	98,43	97,18	42,85	33,69
133,44	117,88	98,42	97,14	42,87	34,29
133,40	117,90	98,43	97,13	42,91	33,39
133,37	117,91	98,43	97,10	42,87	34,44
133,36	117,91	98,42	97,09	42,80	34,52
133,35	117,91	98,43	97,10	42,82	34,38
133,35	117,92	98,43	97,10	42,79	33,69
133,34	117,87	98,42	97,08	43,03	33,95
133,34	117,91	98,44	97,10	42,92	34,56
133,33	117,90	98,44	97,09	42,90	34,90
133,33	117,91	98,43	97,10	42,91	34,80
133,33	117,92	98,45	97,11	42,93	35,12
133,35	117,89	98,45	97,15	42,96	34,90
133,40	117,85	98,45	97,21	42,99	35,15
133,44	117,85	98,44	97,24	43,00	35,26
133,45	117,84	98,43	97,22	42,94	35,34
133,46	117,86	98,43	97,18	42,97	33,50
133,43	117,88	98,43	97,15	42,87	34,14
133,41	117,91	98,44	97,15	42,92	35,05
133,38	117,91	98,42	97,11	42,88	34,95
133,38	117,92	98,45	97,13	43,00	34,47
133,35	117,92	98,44	97,10	43,05	35,22
133,34	117,89	98,43	97,09	42,99	35,25
133,34	117,91	98,44	97,10	43,10	34,80
133,35	117,92	98,45	97,09	43,14	35,41
133,33	117,91	98,44	97,09	43,23	34,65
133,34	117,93	98,44	97,09	43,29	35,35
133,33	117,92	98,45	97,11	43,18	35,69
133,36	117,91	98,45	97,15	43,15	33,91
133,39	117,86	98,44	97,20	43,17	34,74
133,47	117,85	98,43	97,23	43,12	35,13
133,49	117,85	98,42	97,20	43,12	34,72
133,45	117,90	98,43	97,16	43,04	33,35
133,43	117,90	98,42	97,12	43,06	34,31

133,42	117,91	98,44	97,13	43,05	34,98
133,42	117,97	98,43	97,12	43,08	34,63
133,42	117,92	98,43	97,10	43,08	34,31
133,42	117,91	98,44	97,09	43,14	34,31
133,44	117,95	98,44	97,10	43,23	35,11



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 200 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 20 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
123,64	121,05	98,35	88,37	37,49	32,42
123,65	121,05	98,35	88,36	37,51	32,10
123,66	121,05	98,36	88,37	37,54	32,00
123,66	121,05	98,36	88,36	37,56	32,24
123,64	121,05	98,35	88,35	37,53	32,55
123,65	121,04	98,36	88,35	37,53	32,00
123,64	121,04	98,34	88,32	37,50	31,39
123,65	121,05	98,35	88,33	37,51	31,95
123,63	121,05	98,34	88,33	37,52	32,27
123,58	121,05	98,35	88,33	37,47	32,44
123,60	121,05	98,37	88,33	37,48	32,19
123,61	121,05	98,35	88,33	37,52	32,33
123,63	121,04	98,35	88,31	37,53	31,31
123,65	121,04	98,35	88,31	37,50	31,70
123,65	121,04	98,35	88,30	37,46	32,07
123,64	121,03	98,34	88,29	37,44	32,34
123,63	121,04	98,34	88,29	37,46	32,09
123,62	121,03	98,34	88,28	37,42	31,65
123,64	121,04	98,34	88,25	37,40	32,19
123,66	121,03	98,34	88,21	37,37	32,22
123,68	121,03	98,36	88,21	37,38	32,43
123,70	121,03	98,35	88,21	37,39	31,63
123,71	121,03	98,34	88,18	37,33	32,04
123,71	121,02	98,34	88,19	37,29	32,06
123,70	121,03	98,34	88,20	37,32	32,35
123,69	121,03	98,34	88,22	37,37	32,60
123,68	121,03	98,36	88,24	37,38	32,41
123,67	121,04	98,35	88,23	37,35	31,27
123,66	121,03	98,34	88,22	37,32	32,03
123,65	121,02	98,33	88,22	37,33	32,24
123,64	121,03	98,34	88,24	37,34	32,06
123,64	121,04	98,34	88,25	37,35	31,77
123,61	121,02	98,33	88,23	37,33	31,99
123,61	121,03	98,33	88,24	37,33	32,08
123,62	121,02	98,32	88,23	37,33	32,25

123,61	121,03	98,32	88,24	37,35	32,17
123,59	121,03	98,32	88,23	37,31	31,34
123,61	121,02	98,32	88,23	37,29	31,70
123,62	121,03	98,34	88,22	37,30	31,83
123,62	121,02	98,32	88,23	37,26	31,29



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 250 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 20 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
115,64	114,65	91,49	69,65	37,55	33,48
115,64	114,66	91,49	69,65	37,58	34,03
115,63	114,66	91,48	69,65	37,55	33,79
115,63	114,67	91,50	69,66	37,56	33,11
115,64	114,65	91,49	69,65	37,57	33,57
115,63	114,65	91,48	69,65	37,58	33,67
115,66	114,66	91,49	69,65	37,58	33,75
115,67	114,67	91,49	69,66	37,54	33,87
115,67	114,66	91,48	69,68	37,55	33,50
115,66	114,68	91,49	69,69	37,57	32,99
115,66	114,67	91,50	69,70	37,54	33,39
115,65	114,68	91,51	69,70	37,53	32,97
115,63	114,67	91,50	69,69	37,47	32,81
115,63	114,66	91,50	69,69	37,49	33,46
115,64	114,67	91,51	69,69	37,52	33,86
115,66	114,67	91,51	69,69	37,51	33,35
115,65	114,66	91,52	69,68	37,49	33,70
115,66	114,67	91,53	69,70	37,52	33,81
115,64	114,67	91,52	69,69	37,55	32,70
115,63	114,67	91,53	69,71	37,51	33,45
115,63	114,67	91,53	69,72	37,54	33,76
115,62	114,67	91,56	69,72	37,53	33,88
115,62	114,67	91,56	69,70	37,53	34,13
115,62	114,67	91,55	69,71	37,53	34,20
115,64	114,67	91,58	69,71	37,59	34,18
115,62	114,67	91,57	69,72	37,58	34,31
115,61	114,65	91,54	69,71	37,57	34,01
115,59	114,65	91,54	69,72	37,53	32,88
115,59	114,66	91,53	69,73	37,50	33,36
115,61	114,67	91,52	69,75	37,49	33,29
115,60	114,67	91,53	69,75	37,53	33,66
115,60	114,66	91,53	69,75	37,54	34,02
115,60	114,67	91,53	69,75	37,59	34,18
115,60	114,68	91,54	69,76	37,64	34,31
115,60	114,67	91,54	69,76	37,62	33,28

115,60	114,67	91,53	69,73	37,62	33,37
115,60	114,67	91,54	69,76	37,65	33,79
115,62	114,68	91,57	69,76	37,69	33,76
115,62	114,67	91,55	69,76	37,63	33,18
115,63	114,67	91,56	69,75	37,52	33,49



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 300 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 20 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
99,17	97,75	67,58	48,93	28,48	26,84
99,20	97,76	67,58	48,97	28,45	26,76
99,57	97,78	67,57	48,98	28,48	26,82
99,14	97,77	67,59	49,00	28,42	26,96
99,68	97,80	67,60	49,02	28,43	26,91
99,26	97,79	67,60	49,03	28,44	26,78
99,37	97,80	67,61	49,08	28,53	26,67
99,66	97,80	67,61	49,05	28,57	26,70
99,19	97,78	67,60	48,94	28,50	26,78
99,54	97,74	67,58	48,72	28,44	26,82
99,39	97,71	67,57	48,71	28,48	26,73
99,45	97,72	67,57	48,77	28,58	26,73
99,41	97,73	67,59	48,83	28,63	26,86
99,44	97,75	67,59	48,88	28,59	27,00
99,42	97,77	67,60	48,92	28,55	27,10
99,39	97,77	67,59	48,95	28,56	27,11
99,43	97,78	67,59	48,98	28,63	27,10
99,38	97,79	67,61	49,00	28,65	27,02
99,40	97,78	67,60	49,02	28,58	26,91
99,40	97,80	67,61	49,04	28,58	27,03
99,31	97,79	67,61	49,05	28,56	26,81
99,36	97,80	67,61	49,08	28,48	26,74
99,34	97,81	67,63	49,14	28,44	26,89
99,39	97,81	67,61	49,05	28,44	26,85
99,45	97,77	67,60	48,80	28,46	26,86
99,38	97,73	67,58	48,74	28,45	26,86
99,51	97,73	67,59	48,79	28,43	26,70
99,44	97,73	67,59	48,83	28,44	26,83
99,46	97,75	67,59	48,90	28,49	26,93
99,44	97,76	67,60	48,94	28,52	26,96
99,40	97,77	67,60	48,97	28,49	27,00
99,41	97,80	67,62	49,02	28,53	26,88
99,40	97,80	67,62	49,04	28,49	26,86
99,39	97,81	67,63	49,07	28,35	26,88
99,41	97,81	67,63	49,07	28,41	26,87

99,36	97,81	67,63	49,08	28,40	26,87
99,37	97,83	67,64	49,10	28,43	26,92
99,40	97,83	67,65	49,13	28,44	26,81
99,36	97,83	67,65	49,14	28,45	26,68
99,41	97,82	67,64	49,01	28,46	26,71



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 100 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 30 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
158,69	136,20	100,67	97,29	62,69	45,37
158,68	136,16	100,67	97,29	62,79	45,36
158,67	136,22	100,68	97,29	62,68	45,23
158,67	136,24	100,69	97,28	62,69	42,96
158,63	136,23	100,68	97,29	62,65	43,53
158,63	136,38	100,70	97,30	62,71	45,17
158,63	136,21	100,70	97,29	62,63	43,47
158,68	136,07	100,67	97,38	62,53	41,65
158,80	136,02	100,65	97,44	62,49	42,62
158,91	135,96	100,62	97,47	62,47	41,36
158,92	135,93	100,62	97,46	62,61	43,66
158,85	135,90	100,61	97,39	62,75	44,77
158,77	135,86	100,63	97,35	62,63	46,03
158,69	135,87	100,62	97,32	62,66	43,66
158,64	135,88	100,64	97,29	62,64	44,72
158,61	135,88	100,64	97,27	62,64	45,16
158,60	135,86	100,65	97,27	62,73	44,97
158,59	135,88	100,67	97,26	62,66	44,07
158,57	135,88	100,66	97,27	62,63	42,33
158,57	135,85	100,68	97,28	62,79	43,97
158,56	135,86	100,69	97,26	62,68	44,73
158,53	135,82	100,69	97,26	62,67	44,25
158,54	135,89	100,70	97,30	62,73	44,74
158,57	135,79	100,69	97,33	62,71	44,85
158,68	135,73	100,68	97,38	62,76	44,47
158,75	135,66	100,68	97,41	62,77	44,75
158,79	135,66	100,67	97,40	62,88	45,65
158,74	135,68	100,68	97,37	62,89	46,25
158,70	135,83	100,67	97,35	62,85	46,63
158,67	135,81	100,68	97,33	62,97	46,72
158,65	135,85	100,69	97,31	63,10	45,50
158,65	135,89	100,70	97,30	63,02	45,89
158,63	135,84	100,70	97,30	63,11	46,12
158,61	135,88	100,70	97,30	63,04	45,68
158,59	135,78	100,71	97,30	63,08	44,77

158,59	135,79	100,74	97,31	63,12	45,21
158,58	135,82	100,73	97,32	63,06	44,90
158,59	135,86	100,74	97,33	63,01	45,53
158,63	135,82	100,74	97,37	63,02	45,90
158,73	135,73	100,73	97,45	62,89	45,96



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 200 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 30 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
144,55	136,72	99,64	96,34	53,09	40,28
144,61	136,69	99,63	96,37	53,13	40,44
144,64	136,67	99,62	96,38	53,11	39,50
144,66	136,67	99,63	96,39	53,19	39,78
144,66	136,66	99,63	96,35	53,23	40,27
144,64	136,67	99,62	96,33	53,16	40,68
144,60	136,69	99,62	96,32	53,34	41,05
144,58	136,70	99,63	96,28	53,28	41,20
144,56	136,71	99,63	96,28	53,23	41,25
144,55	136,72	99,63	96,28	53,22	41,26
144,55	136,74	99,64	96,26	53,18	41,04
144,54	136,74	99,63	96,26	53,07	40,74
144,52	136,75	99,64	96,26	53,18	40,74
144,51	136,77	99,64	96,27	53,17	40,17
144,50	136,77	99,64	96,26	53,14	40,66
144,51	136,76	99,64	96,27	53,08	40,25
144,54	136,76	99,64	96,31	53,07	40,58
144,63	136,74	99,64	96,41	53,04	39,69
144,70	136,70	99,62	96,42	53,24	40,29
144,71	136,69	99,61	96,38	53,11	39,74
144,67	136,70	99,62	96,36	53,19	40,60
144,62	136,71	99,61	96,32	53,18	39,79
144,60	136,73	99,61	96,31	53,26	39,62
144,58	136,74	99,62	96,30	53,20	39,19
144,54	136,74	99,62	96,27	53,28	39,14
144,53	136,76	99,61	96,28	53,45	39,98
144,53	136,75	99,61	96,27	53,52	39,86
144,52	136,78	99,62	96,27	53,40	40,15
144,52	136,78	99,63	96,27	53,31	40,28
144,52	136,79	99,64	96,27	53,39	37,92
144,52	136,80	99,64	96,29	53,44	39,57
144,57	136,78	99,63	96,35	53,40	40,31
144,60	136,75	99,61	96,37	53,38	40,63
144,64	136,74	99,62	96,40	53,17	40,64
144,66	136,73	99,61	96,38	53,22	39,63

144,63	136,73	99,61	96,34	53,24	39,34
144,60	136,74	99,60	96,31	53,23	38,37
144,58	136,77	99,62	96,29	53,25	39,70
144,55	136,77	99,60	96,27	53,27	39,66
144,53	136,79	99,61	96,26	53,18	39,02



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 250 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 30 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
133,50	128,87	99,26	97,81	45,08	36,20
133,43	128,87	99,25	97,80	45,12	36,72
133,44	128,87	99,26	97,81	45,13	35,67
133,48	128,86	99,25	97,81	45,14	36,16
133,48	128,87	99,25	97,80	45,16	36,03
133,49	128,86	99,25	97,80	45,16	36,32
133,48	128,86	99,26	97,80	45,17	36,69
133,50	128,85	99,25	97,80	45,11	36,47
133,55	128,85	99,26	97,81	45,11	36,02
133,57	128,86	99,26	97,83	45,15	36,43
133,59	128,84	99,25	97,83	45,12	36,69
133,61	128,85	99,26	97,84	45,10	36,63
133,63	128,84	99,26	97,85	45,07	35,74
133,62	128,84	99,25	97,83	45,08	35,91
133,62	128,87	99,26	97,85	45,10	36,24
133,61	128,86	99,26	97,84	45,13	36,49
133,60	128,85	99,26	97,82	45,16	36,34
133,59	128,87	99,27	97,83	45,13	35,76
133,59	128,87	99,27	97,83	45,10	35,89
133,57	128,87	99,27	97,82	45,07	36,31
133,56	128,88	99,27	97,81	45,05	36,35
133,56	128,86	99,25	97,82	45,10	35,51
133,58	128,87	99,26	97,82	45,06	36,05
133,58	128,87	99,25	97,82	45,06	36,38
133,57	128,87	99,25	97,81	45,02	34,57
133,55	128,86	99,25	97,81	44,98	35,04
133,54	128,87	99,25	97,81	45,02	35,43
133,56	128,87	99,26	97,82	45,09	36,06
133,54	128,88	99,27	97,82	45,10	36,06
133,55	128,87	99,26	97,82	45,10	35,05
133,54	128,86	99,25	97,82	45,11	35,51
133,53	128,87	99,26	97,81	45,13	36,28
133,54	128,86	99,25	97,83	45,09	36,22
133,56	128,87	99,27	97,83	45,12	36,30
133,55	128,86	99,25	97,82	45,09	36,00

133,55	128,87	99,26	97,81	45,06	35,95
133,56	128,87	99,26	97,83	45,13	35,87
133,54	128,86	99,26	97,82	45,03	35,00
133,54	128,87	99,27	97,82	44,96	35,51
133,53	128,87	99,26	97,82	44,96	36,24



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 300 Mesh* Diameter
Pipa 8 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 30 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
122,46	121,31	98,54	80,12	33,28	30,96
122,73	121,25	98,49	79,81	33,28	31,72
122,83	121,21	98,47	79,76	33,33	32,14
122,80	121,22	98,49	79,81	33,34	32,40
122,78	121,23	98,48	79,86	33,23	31,56
122,67	121,25	98,49	79,90	33,37	31,91
122,67	121,27	98,50	79,96	33,43	30,97
122,62	121,26	98,50	80,00	33,36	31,39
122,38	121,29	98,51	80,05	33,40	31,81
122,65	121,29	98,51	80,08	33,38	32,15
122,41	121,28	98,51	80,10	33,25	32,27
122,65	121,31	98,52	80,13	33,25	31,91
122,47	121,30	98,53	80,15	33,44	31,77
122,97	121,31	98,54	80,17	33,38	31,44
122,43	121,30	98,53	80,17	33,49	30,53
122,99	121,30	98,52	80,14	33,58	30,90
122,86	121,26	98,49	79,97	33,29	31,45
122,91	121,22	98,47	79,81	33,36	32,03
122,74	121,21	98,47	79,79	33,31	32,27
122,71	121,21	98,46	79,84	33,02	32,41
122,65	121,23	98,48	79,89	33,02	32,52
122,70	121,24	98,48	79,94	33,10	31,91
122,64	121,26	98,49	80,00	33,32	31,95
122,61	121,27	98,49	80,05	33,30	32,22
122,62	121,27	98,49	80,08	33,10	32,34
122,59	121,28	98,49	80,09	33,27	32,36
122,61	121,29	98,51	80,12	33,12	32,41
122,58	121,29	98,51	80,14	33,04	31,57
122,59	121,30	98,53	80,16	33,16	31,78
122,55	121,30	98,52	80,18	33,10	31,98
122,59	121,30	98,52	80,22	32,98	32,31
122,62	121,30	98,52	80,20	33,13	31,68
122,70	121,27	98,51	80,05	33,24	32,02
122,69	121,25	98,51	80,00	33,34	31,81
122,70	121,26	98,53	80,02	33,46	32,16

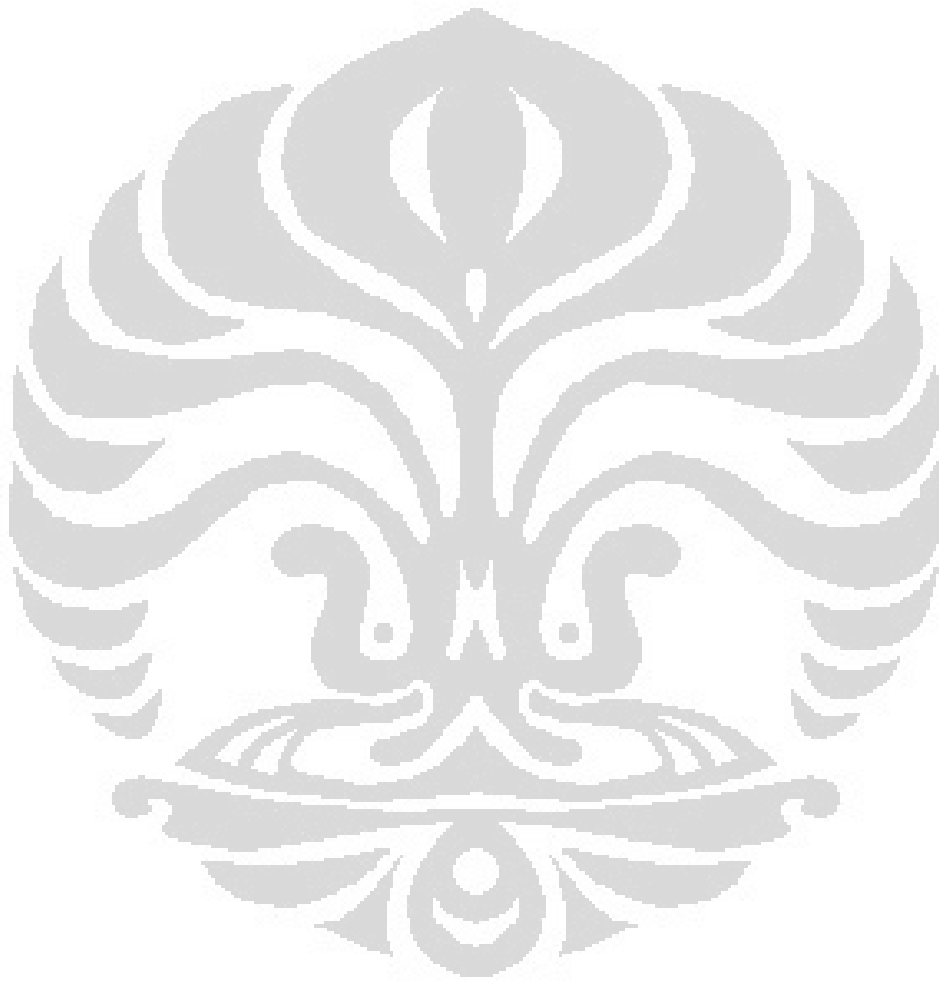
122,69	121,26	98,51	80,02	33,37	31,83
122,68	121,28	98,53	80,05	33,30	31,15
122,71	121,27	98,53	80,08	33,35	31,86
122,67	121,29	98,53	80,09	33,46	32,14
122,65	121,28	98,52	80,10	33,46	31,10



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 200 Mesh* Diameter
Pipa 6 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
90,84	46,00	76,00	42,79	26,13	26,51
90,85	46,01	76,01	42,80	25,68	26,43
90,83	46,02	76,02	42,79	25,64	26,44
90,85	46,03	76,03	42,79	25,85	26,46
90,86	46,04	76,04	42,77	25,92	26,37
90,85	46,05	76,05	42,80	26,17	26,43
90,84	46,05	76,05	42,80	26,10	26,49
90,86	46,06	76,06	42,81	26,16	26,53
90,85	46,06	76,06	42,78	26,26	26,53
90,89	46,09	76,09	42,80	26,23	26,48
90,86	46,07	76,07	42,81	26,26	26,46
90,85	46,09	76,09	42,81	26,40	26,51
90,88	46,09	76,09	42,81	26,57	26,46
90,87	46,11	76,11	42,79	26,67	26,50
90,84	46,11	76,11	42,79	26,70	26,43
90,88	46,11	76,11	42,82	26,66	26,40
90,87	46,14	76,14	42,81	26,58	26,45
90,88	46,14	76,14	42,81	26,49	26,52
90,85	46,13	76,13	42,80	26,47	26,58
90,86	46,14	76,14	42,80	26,46	26,62
90,90	46,15	76,15	42,79	26,44	26,54
90,87	46,17	76,17	42,81	26,52	26,48
90,86	46,18	76,18	42,81	26,56	26,50
90,89	46,19	76,19	42,80	26,64	26,60
90,91	46,19	76,19	42,82	26,79	26,53
90,90	46,19	76,19	42,81	26,93	26,50
90,87	46,20	76,20	42,82	26,93	26,53
90,90	46,21	76,21	42,81	26,84	26,55
90,87	46,21	76,21	42,81	26,79	26,53
90,88	46,23	76,23	42,82	26,82	26,55
90,85	46,22	76,22	42,79	26,84	26,56
90,86	46,25	76,25	42,80	26,91	26,54
90,82	46,23	76,23	42,79	26,84	26,50
90,87	46,24	76,24	42,80	26,90	26,52
90,85	46,25	76,25	42,82	26,81	26,46

90,84	46,27	76,27	42,80	26,73	26,45
90,92	46,27	76,27	42,81	26,74	26,51
90,90	46,28	76,28	42,84	26,76	26,46
90,82	46,28	76,28	42,79	26,72	26,46
90,84	46,30	76,30	42,81	26,89	26,51



**Data Pengujian *Straight Heat Pipe Screen 200 Mesh* Diameter
Pipa 10 mm dengan Daya *Heater* Elektrik 10 Watt**

Evaporator 1	Evaporator 2	Adiabatik 1	Adiabatik 2	Kondensor 1	Kondensor 2
66,35	64,24	51,78	40,00	28,36	26,86
66,35	64,23	51,78	40,00	28,33	26,87
66,35	64,24	51,77	39,99	28,20	26,86
66,34	64,23	51,77	39,99	28,19	26,92
66,34	64,23	51,77	39,99	28,21	26,92
66,34	64,23	51,78	40,00	28,18	26,94
66,34	64,23	51,78	39,99	28,12	26,92
66,35	64,23	51,77	39,99	28,15	26,90
66,34	64,23	51,78	39,99	28,18	26,92
66,35	64,23	51,78	40,00	28,24	26,88
66,35	64,23	51,78	39,99	28,31	26,87
66,35	64,22	51,78	39,99	28,32	26,89
66,33	64,21	51,76	39,98	28,34	26,86
66,35	64,22	51,78	39,98	28,39	26,85
66,35	64,22	51,77	39,98	28,39	26,87
66,34	64,22	51,76	39,98	28,41	26,85
66,35	64,22	51,77	39,97	28,44	26,84
66,35	64,22	51,77	39,98	28,42	26,85
66,34	64,23	51,77	39,98	28,38	26,87
66,34	64,21	51,77	39,98	28,42	26,86
66,34	64,23	51,77	39,98	28,40	26,87
66,34	64,22	51,77	39,98	28,37	26,88
66,34	64,22	51,78	39,97	28,35	26,88
66,34	64,21	51,76	39,96	28,36	26,82
66,35	64,23	51,78	39,98	28,39	26,83
66,35	64,20	51,76	39,96	28,37	26,81
66,35	64,23	51,78	39,97	28,38	26,89
66,36	64,22	51,77	39,98	28,42	26,85
66,36	64,22	51,78	39,97	28,44	26,91
66,34	64,22	51,76	39,96	28,36	26,88
66,34	64,21	51,76	39,97	28,34	26,83
66,36	64,22	51,77	39,97	28,38	26,87
66,34	64,22	51,76	39,97	28,39	26,85
66,34	64,22	51,76	39,96	28,26	26,81
66,35	64,21	51,76	39,96	28,19	26,81

66,34	64,22	51,77	39,96	28,20	26,97
66,34	64,21	51,78	39,96	28,22	26,76
66,35	64,22	51,79	39,96	28,29	27,10
66,34	64,21	51,78	39,97	28,38	26,72
66,35	64,22	51,76	39,96	28,42	26,85



