

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *HEATSINK* PADA *HEAT PIPE*  
SEBAGAI *PASSIVE HEAT EXCHANGER* PADA SIMULASI *DATA CENTER***

**Diajukan oleh:**

**ILHAM HAMDI**

**D021 19 1062**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *HEATSINK* PADA *HEAT PIPE*  
SEBAGAI *PASSIVE HEAT EXCHANGER* PADA SIMULASI *DATA CENTER***

Disusun dan diajukan oleh

**ILHAM HAMDI**  
**D021191062**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 13 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyctujui,

Pembimbing Utama,



**Prof. Dr. Ir. Zurvati Djafar, MT.**  
NIP 19680301 199702 2 001

Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME**  
NIP 19600302 198609 1 001

Ketua Program Studi,



**Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT**  
NIP 19770707 200511 1 001



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ilham Hamdi  
NIM : D021191062  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Analisis Pengaruh Penggunaan Heatsink Pada Heat Pipe Sebagai Passive Heat Exchanger Pada Simulasi Data Center*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 5 Agustus 2024

ing Menyatakan  
  
ILHAM HAMDI



## ABSTRAK

**ILHAM HAMDI.** *Analisis Pengaruh Penggunaan Heatsink Pada Heat Pipe Sebagai Passive Heat Exchanger Pada Simulasi Data Center* (dibimbing oleh Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah)

Transformasi digital dalam semua aspek kehidupan masyarakat membutuhkan *data center* untuk menyimpan server yang berisi data pengguna. Untuk memastikan server-server tersebut dapat mengelola data dengan baik tanpa ada gangguan, temperatur ruang *data center* harus dijaga pada temperatur 18-27°C. Tetapi konsumsi listrik untuk sistem pendinginan ini sangat besar, hingga mencapai 50% dari total listrik yang digunakan di *data center*. Pemanfaatan *heat pipe* dan *heat sink* sebagai *passive heat exchanger* dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut.

Penelitian ini menganalisis penggunaan heat sink pada rangkaian heat pipe untuk meningkatkan efisiensi penyerapan kalor udara dengan membandingkan dua konfigurasi rangkaian *heat pipe* yaitu dengan heatsink dan tanpa heatsink. Dalam studi ini, eksperimen dilakukan menggunakan heatsink berbahan aluminium dan heat pipe berbahan tembaga dengan fluida kerja air, dan diuji pada berbagai tingkat tegangan heater (25V, 50V, 75V dan 100V). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan *heatsink* pada rangkaian *heat pipe* dapat meningkatkan penyerapan kalor udara dengan kenaikan ( $\Delta\dot{Q}_{PHE}$ ) yaitu berturut-turut, 2.98W, 8.39W, 13.78W dan 22.12W. secara persentase, rangkaian *heat pipe* dengan *heatsink* dapat menurunkan pendinginan *cooler* yaitu 21.65%, 19.69%, 18.41% dan 17.74%. Sehingga disimpulkan bahwa rangkaian *heat pipe* dengan *heatsink* lebih efektif dari pada rangkaian *heat pipe* tanpa menggunakan *heatsink*.

**Kata Kunci:** *heat pipe, heat sink, data center, passive heat exchanger.*



## ABSTRACT

**Ilham Hamdi.** Analysis of the Impact of Using Heatsink on Heat Pipe as a Passive Heat Exchanger in Data Center Simulation (supervised by Zuryati Djafar and Wahyu H. Piarah)

Digital transformation in all aspects of society requires data centers to store servers containing user data. To ensure these servers manage data effectively without disruption, the temperature in the data center must be maintained between 18–27°C. However, the electricity consumption for cooling systems is substantial, accounting for up to 50% of the total electricity used in data centers. The utilization of heat pipes and heatsinks as passive heat exchangers can offer a solution to this issue.

This study analyzes the use of heatsinks in heat pipe configurations to enhance the efficiency of air heat absorption by comparing two configurations: with and without heatsinks. In this study, experiments were conducted using aluminum heatsinks and copper heat pipes with water as the working fluid, tested at various heater voltages (25V, 50V, 75V, and 100V). The results showed that the use of heatsinks in the heat pipe configuration increased air heat absorption with increments ( $\Delta\dot{Q}_{PHE}$ ) of 2.98W, 8.39W, 13.78W, and 22.12W, respectively. In terms of percentage, the heat pipe configuration with heatsinks reduced cooler workload by 21.65%, 19.69%, 18.41%, and 17.74%, respectively. It is concluded that the heat pipe configuration with heatsinks is more effective than the configuration without heatsinks.

**Keywords:** heat pipe, heatsink, data center, passive heat exchanger.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	XI
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
KATA PENGANTAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1    Latar belakang .....	1
I.2    Rumusan masalah.....	2
I.3    Tujuan penelitian .....	3
I.4    Batasan masalah .....	3
I.5    Manfaat penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
II.1 <i>Data center</i> .....	4
II.2    Heat sink.....	6
II.3    Heat pipe.....	7
II.4    Komponen Dasar <i>Heat pipe</i> .....	8
II.5    Kinerja Heat pipe.....	10
BAB III METODELOGI PENELITIAN .....	12
III.1    Waktu dan Tempat Penelitian .....	12
III.2    Metode Penelitian.....	12
III.3    Variabel Penelitian.....	12
Alat dan Bahan Penelitian .....	13
Desain Prototipe Simulasi <i>Data Center</i> .....	22
Variasi rangkaian <i>heat pipe</i> .....	22



III.7	Prosedur Penelitian.....	24
III.8	Alur Penelitian.....	25
III.9	Jadwal Penelitian.....	26
BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN.....		27
IV.1	Analisis Data dan Perhitungan.....	27
IV.2	Grafik dan Pembahasan.....	33
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		46
V.1	Simpulan.....	46
V.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....		48
LAMPIRAN.....		50



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sistem pendinginan di data center.....	4
Gambar 2 Skema sistem pendinginan <i>heat pipe</i> .....	5
Gambar 3 Prinsip kerja hipe pipe.....	7
Gambar 4 Jenis truktur wick .....	9
Gambar 5 Peta lokasi penelitian.....	12
Gambar 6 Fan.....	13
Gambar 7 Heating Element.....	14
Gambar 8 Voltage Regulator .....	14
Gambar 9 Anemometer .....	15
Gambar 10 Termokopel.....	15
Gambar 11 Temperature Input Module .....	15
Gambar 12 Heat pipe .....	16
Gambar 13 Plat besi .....	16
Gambar 14 Akrilik.....	17
Gambar 15 Insulasi .....	17
Gambar 16 Refrigerant R134a .....	17
Gambar 17 Kompresor.....	18
Gambar 18 Pipa Tembaga .....	18
Gambar 19 Plat Aluminium .....	19
Gambar 20 Pipa kapiler.....	19
Gambar 21 Filter .....	19
Gambar 22 Toggle switch on/off.....	20
Gambar 23 Adapter .....	20
Gambar 24 Manifold Gauge.....	21
Gambar 25 Manometer/Pressure Gauge .....	21
26 Multimeter digital.....	21
27 Rangkaian alat pengujian simulasi data center .....	22
28 Model rangkaian heat pipe 1 .....	22





Gambar 29 Model rangkaian heat pipe 2 .....	22
Gambar 30 Skema rancangan instalasi pengujian.....	23
Gambar 31 Area pengambilan temperatur .....	23
Gambar 32 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 33 Sejarah Temperatur udara sebelum passive heat exchanger .....	33
Gambar 34 Sejarah Temperatur Udara Setelah Passive Heat Exchanger .....	34
Gambar 35 Sejarah Temperatur Udara (Tu) Sebelum Cooler .....	35
Gambar 36 Sejarah Temperatur Udara (Tu) Setelah Cooler .....	36
Gambar 37 $\Delta Tu$ Sebelum dan Setelah Passive Heat Exchanger.....	37
Gambar 38 $\Delta Tu$ passive heat exchanger karena penambahan sink.....	38
Gambar 39 $\Delta Tu$ Sebelum dan Setelah cooler .....	39
Gambar 40 Grafik penyerapan kalor udara passive heat exchanger ( <i>QPHE</i> ).....	40
Gambar 41 Diagram Kenaikan <i>QPHE</i> karena penambahan sink .....	41
Gambar 42 Diagram laju pelepasan kalor heater ke udara .....	43
Gambar 43 Grafik penyerapan kalor udara pada cooler .....	43
Gambar 44 Diagram penurunan $Q_c$ pada cooler.....	44
Gambar 45 Diagram persentase penurunan kerja Cooler .....	45
Gambar 46 Sifat Udara Pada Tekanan 1 atm (Cengel tabel A-15).....	56
Gambar 47 Pemasangan termokopel pada modul labview .....	57
Gambar 48 Pemasangan PHE pada saluran udara .....	57
Gambar 49 Dokumentasi saat pengambilan data .....	58



## DAFTAR TABEL

Table 1. Konduktivitas termal berbagai bahan.....	6
Table 2. Fluida kerja Heat pipe .....	9
Table 3. Jadwal penelitian.....	26
Table 4. Data Rangkaian temperatur yang digunakan dalam perhitungan.....	27
Table 5. Kalor udara yang diserap (Watt) .....	27
Table 6. Kalor Heater .....	27
Table 7. Kalor yang diserap per batang <i>heat pipe</i> .....	30
Table 8. Data kenaikan dan penurunan temperatur (°C).....	31
Table 9. Data hasil perhitungan Kenaikan $\dot{Q}_{phe}$ dan penurunan $\dot{Q}_c$ (W).....	31
Table 10. Data Persentase penurunan kerja <i>cooler</i> (%) .....	32
Table 11. Hasil pengambilan data rangkaian <i>Heat pipe</i> dan fin tegangan 25V .....	50
Table 12. Hasil pengambilan data rangkaian <i>Heat pipe</i> dan sink tegangan 50V .....	50
Table 13. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe dan sink tegangan 75V .....	51
Table 14. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe dan sink tegangan 100V .....	51
Table 15. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe tanpa <i>sink</i> tegangan 25V .....	52
Table 16. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe tanpa sink tegangan 50V .....	52
Table 17. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe tanpa sink tegangan 75V .....	53
Table 18. Hasil pengambilan data rangkaian Heat pipe tanpa sink tegangan 100V .....	53
Table 19. Hasil pengambilan data rangkaian tanpa <i>passive heat exchanger</i> .....	54
Table 20. Penyerapan dan pelepasan kalor dalam saluran .....	55



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celcius
$^{\circ}\text{F}$	Derajat Fahrenheit
R	Hambatan termal
HP & sink	<i>Heat pipe</i> dan <i>sink</i>
$\Delta\dot{Q}_{phe}$	Kenaikan Penyerapan kalor pada <i>passive heat exchanger</i> karena penggunaan <i>sink</i>
kJ/kg	Kilojoule/kilogram
$\text{kg}/\text{m}^3$	Kilogram/meter kubik
kg/s	Kilogram/second
kWh	kiloWatt hour
$\text{kW}/\text{cm}^2$	Kilowatt/centimeter kuadrat
$A_w$	Luas permukaan dalam <i>heat pipe</i>
A	Luas saluran
$\rho_l$	Massa jenis fluida kerja
$\rho_2$	Massa jenis udara sebelum <i>cooler</i>
$\rho_1$	Massa jenis udara sebelum <i>passive heat exchanger</i>
m	Meter
$\text{m}/\text{s}^2$	Meter/second kuadrat
mm	Milimeter
N/m	Newton/meter
L	Kalor laten penguapan
$C_p$	Kalor spesifik
$l$	Panjang efektif <i>heat pipe</i>
	<i>Passive heat exchanger</i>
	Pelepasan kalor pada <i>heater</i>



$\Delta\dot{Q}_c$	Penurunan Penyerapan kalor pada <i>cooler</i> karena penggunaan <i>sink</i>
$P_l$	Penurunan tekanan
$P_v$	Penurunan tekanan
$\dot{Q}$	Penyerapan kalor
$\dot{Q}_c$	Penyerapan kalor pada <i>cooler</i>
$\dot{Q}_{PHE}$	Penyerapan kalor pada <i>passive heat exchanger</i>
$\dot{Q}_{hp}$	Penyerapan kalor rangkaian <i>heat pipe</i>
$\dot{Q}_{hp \& sink}$	Penyerapan kalor rangkaian <i>heat pipe</i> dan <i>sink</i>
$\Delta T_c$ ( <i>tanpa PHE</i> )	Perbedaan temperatur pada <i>cooler</i> saat tanpa menggunakan <i>passive heat exchanger</i>
$\Delta T_c$ ( <i>hp &amp; sink</i> )	Perbedaan temperatur pada <i>cooler</i> saat menggunakan variasi rangkaian <i>heat pipe</i> dan <i>sink</i>
$\Delta T_{PHE}$ ( <i>hp &amp; sink</i> )	Perbedaan temperatur pada <i>passive heat exchanger</i> saat menggunakan variasi rangkaian <i>heat pipe</i> dan <i>sink</i>
$\Delta T_{PHE}$ ( <i>hp</i> )	Perbedaan temperatur pada <i>passive heat exchanger</i> saat menggunakan variasi rangkaian <i>heat pipe</i> tanpa <i>sink</i>
$\Delta T_2$	Perbedaan Temperatur sebelum & sesudah <i>cooler</i> karena menggunakan PHE
$\Delta T_1$	Perbedaan Temperatur sebelum & sesudah PHE karean penggunaan <i>sink</i>
$g$	Percepatan gravitasi
K	Permeabilitas
$W_c$	Persentase kerja <i>cooler</i>
$r_e$	Radius dalam <i>heat pipe</i>
$\Phi$	Sudut antara sumbu <i>heat pipe</i> dengan sumbu horizontal
$\sigma$	Tegangan permukaan fluida kerja
$\rho$	Tekanan akibat <i>gravitational head</i>
$T_a$	Temperatur udara sebelum <i>cooler</i>



$T_{u, \text{PHE Before}}$	Temperatur udara sebelum <i>passive heat exchanger</i>
$T_{C, \text{ After}}$	Temperatur udara setelah <i>cooler</i>
$T_{u, \text{PHE, After}}$	Temperatur udara setelah <i>passive heat exchanger</i>
$\mu_l$	Viskositas cairan fluida kerja
V	Voltage
W	Watt



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil pengambilan data .....	47
Lampiran 2 Referensi perhitungan.....	52
Lampiran 3 Dokumentasi penelitian.....	54



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul “Analisis Pengaruh Penggunaan *Heatsink* Pada *Heat Pipe* Sebagai *Passive Heat Exchanger* Pada Simulasi *Data Center*”.

Penulis memerlukan waktu sekitar 10 bulan hingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Pengambilan data dilakukan secara berulang-ulang (sekitar 9 kali) hingga pada akhirnya mendapatkan persetujuan dari pembimbing skripsi. Hal ini dikarenakan data yang diperoleh dari hasil penelitian, tidak serta merta sesuai dengan apa yang diharapkan sehingga diperlukan penyesuaian dan pemecahan masalah untuk mengatasi masalah yang dihadapi. Alhamdulillah semua masalah itu bisa dilewati atas keterlibatan banyak pihak dan doa kedua orang tua yakni **Bapak Mustari** dan **Ibu Asmani Muda** yang tidak ada henti-hentinya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT** dan **Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME** selaku dosen pembimbing satu dan dosen pembimbing dua atas segala bimbingan selama penelitian hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** dan **Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT** selaku dosen penguji atas masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh staf dan dosen departemen Teknik Mesin atas ilmu dan bantuan selama Kuliah di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
4. Rekan-rekan lab dan saudara-saudara Bruzhlezz'19 yang telah berjuang bersama dan membanbu dalam membuat alat penelitian hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Serta semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 4 Agustus 2024

Penulis



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar belakang

Memasuki era globalisasi, aktivitas manusia banyak memanfaatkan internet. Mencari berbagai informasi di internet, memesan tiket elektronik di internet, belanja online, membeli saham menggunakan perbankan online, serta komunikasi bisa dilakukan kapanpun diseluruh dunia dengan bantuan internet. Sedangkan aktivitas tersebut bertumpu disebuah perangkat komputer atau *handphone* dimana seluruh mekanismenya dapat berfungsi jika semua data yang relevan disimpan disatu tempat dan diproses dengan kecepatan yang sangat cepat. Oleh karena itu dibalik perangkat kecil seperti komputer, *laptop*, atau *handphone* terdapat server besar yang terletak disuatu tempat yang disebut *data center* [1].

Ketika perekonomian dan masyarakat beralih ke pengelolaan informasi digital, *data center* kini ada dimana-mana. Universitas, Perusahaan besar, dan Lembaga pemerintah juga menggunakan dan mengoperasikan *data center* untuk fungsi manajemen informasi dan komunikasi. Hal ini akan berdampak pada peningkatan konsumsi listrik suatu negara untuk penggunaan di *data center*. Berdasarkan laporan penggunaan energi listrik *data center* AS, *data center* diperkirakan mengkonsumsi listrik sekitar 61 miliar kilowatt-jam (kWh) pada tahun 2006 (1,5% dari total konsumsi listrik AS) dengan total biaya listrik sekitar \$4,5 miliar (dolar 2006) [2]. Dimana berdasarkan statistik yang diterbitkan oleh *grup infotech* [3], penggunaan daya listrik terbesar di data center adalah sistem pendinginan yang mencapai 50% dari total seluruh daya listrik yang digunakan di data center. *Data center* memerlukan sistem pendinginan untuk menjaga temperatur server-server yang ada di *data center* agar tidak mengalami *overheating* sehingga dapat bekerja dengan optimal.

Tantangan untuk mengurangi konsumsi daya listrik di *data center* dapat dilakukan dengan mengurangi konsumsi listrik untuk sistem pendinginan dengan tetap menjaga temperatur server-server dapat terus terjaga. Salah satu solusi yang dapat





diambil adalah dengan mengoptimalkan penggunaan *heat pipe* dan *heat sink* sebagai alat penukar kalor dalam sistem pendinginan.

*Heat pipe* merupakan salah satu *passive heat exchanger* paling efisien dengan konduktivitas termal tinggi yang dapat memindahkan kalor dalam jumlah besar menggunakan proses perubahan fasa dan difusi uap [4]. *Heat pipe* dapat memindahkan fluks kalor berkisar antara  $10 \text{ W/cm}^2$  hingga  $20 \text{ kW/cm}^2$  dengan kecepatan yang sangat tinggi. Pada dasarnya dapat dianggap sebagai super konduktor karena kemampuan mengantarkan kalor yang sangat baik [5].

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan di Laboratorium Mesin Pendingin Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, *heat pipe* digunakan sebagai pengubah kalor tanpa adanya unsur pendukung lain untuk menyerap kalor. Dari berbagai variasi yang telah dilakukan  $Q_{\text{max}}$  rangkaian *heat pipe* terbesar ialah variabel kerapatan 3mm dan kemiringan  $0^\circ$ . Maka variasi terbaik dari penelitian ini ialah rangkaian *heat pipe* dengan kerapatan 3mm dan sudut kemiringan  $0^\circ$ , dengan nilai  $Q_{\text{max}}$  *heat pipe* sebesar 5,9 kW [6]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penelitian tersebut tingkat kemiringan pemasangan *heat pipe* pada simulasi *data center* tidak memberikan performa yang lebih baik.

Dalam pengembangan penelitian ini, *heatsink* akan dirangkaikan pada *heat pipe* agar laju udara ketika melewati rangkaian *heat pipe* mengalami hambatan sehingga udara kalor mengalami hambatan ketika melewati rangkaian *heat pipe*. Dengan adanya *heatsink* yang dirangkaikan pada *heat pipe* diharapkan dapat meningkatkan penyerapan kalor dari *heater* (server). Tingkat kemiringan pada pemasangan rangkaian menjadi faktor penentu seberapa besar performa terbaik terhadap kemampuan penyerapan kalor.

## I.2 Rumusan masalah

Berikut rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana karakteristik temperatur dan penyerapan kalor rangkaian *heat pipe* tanpa *heat sink*?
2. Bagaimana karakteristik temperatur dan penyerapan kalor oleh rangkaian *heat pipe* dengan *heat sink*?



### I.3 Tujuan penelitian

Berikut ini merupakan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan ini:

1. Menentukan besar penurunan temperatur dan penyerapan kalor pada rangkaian heat pipe tanpa heat sink dan cooler
2. Menentukan besar penurunan temperatur dan penyerapan kalor pada rangkaian heat pipe dengan sink dan cooler

### I.4 Batasan masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian yaitu:

1. Jumlah heat pipe sebanyak 25 buah dengan diameter 6mm dan Panjang 250mm
2. *Heat sink* dibuat sendiri dari bahan aluminium dengan ukuran 25mm x 5 mm
3. Heating elemen (heater) mempunyai spesifikasi daya 1000 W dan tegangan 220 V
4. Penelitian yang dilakukan tanpa meninjau kelembaban udara

### I.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini, dapat memberikan solusi pemanfaatan *passive heat exchanger* sebagai pendingin udara yang hemat energi.

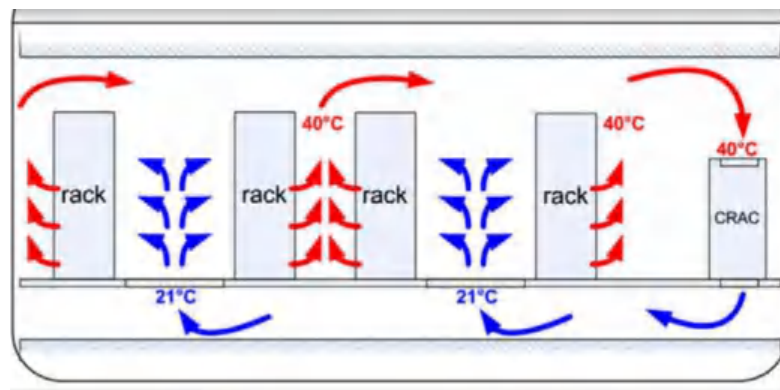


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 *Data center*

*Data center* merupakan ruang yang fungsi utamanya adalah sebagai tempat penyimpanan server atau perangkat komputasi yang sedang digunakan [7]. *Data center* saat ini umumnya digunakan untuk aktivitas berbasis internet atau jaringan dimana didalamnya berisi server yang menyimpan dan memproses data elektronik, berkomunikasi dengan jaringan komputer lain, dan/atau mengelola interaksi pengguna dengan perangkat lunak berbasis server dan portal web. Seringkali, *data center* digunakan untuk mengelola data dan operasi yang dianggap sensitif atau penting, seperti korespondensi email dan database perusahaan/pemerintah. Oleh karena itu, kemampuannya agar server dapat berfungsi dengan baik dan tidak kehilangan data menjadi perhatian penting bagi banyak data center [8].

ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) merekomendasikan kisaran temperature yang dapat diterima di *data center* 18°C hingga 27°C (64° hingga 81° F) [9]. Pembangunan sistem pendingin udara di *data center* mengCooleru pada temperatur yang di sarankan oleh ASHRAE agar server-server yang tersusudan dalam *data center* dapat memproses data dengan baik. Berikut aliran udara sistem pendinginan pada *data center*.



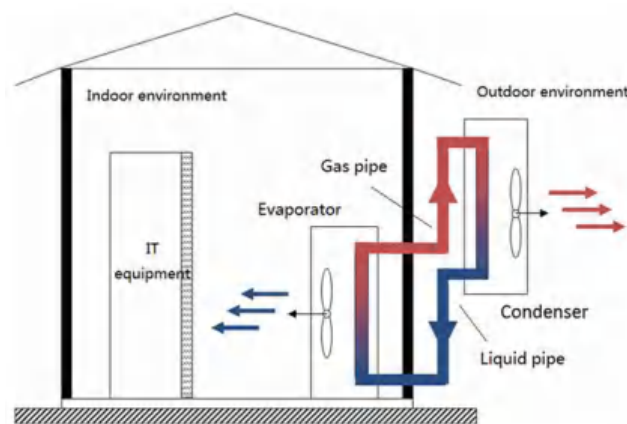
Gambar 1 Sistem pendinginan di *data center* [10]



### II.1.1 Sistem Pendinginan Heat Pipe di Data Center (HPCS)

Menurut strukturnya, *heat pipe* dapat dibagi menjadi dua jenis: *heat pipe* terintegrasi dan terpisah. Selain kemampuan perpindahan kalor yang tinggi, *heat pipe* terpisah juga memiliki fitur kemampuan perpindahan kalor jarak jauh dan multi-fluida, kemampuan beradaptasi dan kinerja penyegelan yang baik, dan area fleksibel yang dapat disesuaikan antara evaporator dan kondensator [11].

Berdasarkan prinsip *heat pipe* terpisah, Sistem ini terdiri dari evaporator, kondensator, pipa gas dan pipa cair. Bagian dalam data center terdapat evaporator dan tugasnya menyerap kalor dan mendinginkan peralatan IT. Untuk kemudahan pemasangan, evaporator HPCS mempunyai banyak model, seperti tipe kabinet dan tipe plafon.



Gambar 2 Skema sistem pendinginan heat pipe

*Data center* adalah kondensator dan bertanggung jawab untuk menyediakan sumber dingin dan mengangkut kalor ke lingkungan luar. Evaporator dan kondensator dihubungkan oleh *heat pipe* dan fluida kerja dalam *heat pipe*. Di dalam evaporator, fluida kerja menyerap kalor dari *data center* dan menguap dari keadaan cair ke keadaan gas. Kemudian fluida kerja berbentuk gas mengalir ke atas ke dalam kondensator melalui pipa gas. Fluida kerja melepaskan kalor ke lingkungan luar dan mengembun menjadi keadaan cair di dalam kondensator. Di bawah aksi gravitasi, fluida kerja mengalir ke keadaan cair evaporator. Melalui sirkulasi yang terjadi di HPCS, kalor yang dihasilkan oleh peralatan IT dapat diangkut secara efisien dari dalam ruang *data center* ke lingkungan luar [12].



## II.2 Heat sink

*Heat sink* adalah pengubah kalor pasif yang mendinginkan perangkat dengan membuang kalor ke medium sekitarnya. *Heat sink* memindahkan energi termal dari perangkat yang bertemperatur tinggi ke medium fluida yang bertemperatur lebih rendah. Medium fluidanya adalah udara.

Logam dengan konduktivitas tinggi dan biaya relatif rendah lebih banyak digunakan sebagai material *heat sink*, seperti aluminium dan tembaga. Bahan yang memiliki konduktivitas termal tinggi dapat digunakan untuk membuat *heat sink*. Beberapa Bahan yang memiliki konduktivitas termal tinggi ditunjukkan pada table berikut [13]:

Table 1. Konduktivitas termal berbagai bahan [13]

S. Tidak.	Bahan	Konduktivitas termal W/mk
1	Aluminium	204.2
2	Tembaga	386
3	Kuningan	110.7
4	Baja	15.1
5	Perak	406.8
6	Tungsten	162.7

*Heat sink* bekerja dengan sangat baik dalam mentransfer kalor, tapi *heat sink* juga memiliki berbagai batasan. Jika temperatur terlalu ekstrim, *heat sink* tidak akan mampu melepaskan kalor tepat waktu, dan justru menjadi sumber kalor. Kebanyakan *heat sink* diketahui bersifat rentan terhadap kerusakan. Jika beberapa *fin* pada *heat sink* rusak, fungsionalitas *heat sink* akan terganggu. *Heat sink* akan bekerja dengan sangat baik hanya jika tersedia kontak yang optimal dengan sumber kalor, dan jika tidak, *heat sink* tidak akan mampu menyerap cukup kalor.

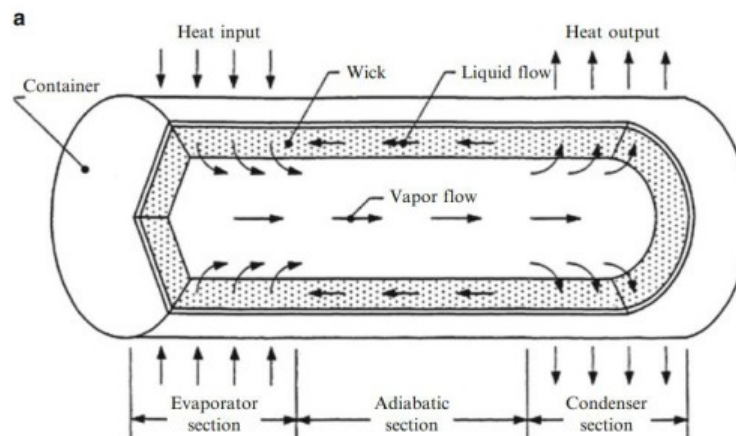
*Heat sink* dapat dikopling dengan *heat pipe* (sisi kondenser) dengan cara konduksi, konveksi, radiasi, atau kombinasi, sama halnya dengan karakteristik sumber temperatur *heat sink* merupakan bagian dari kriteria desain, begitu juga yang dibutuhkan untuk menghitung laju perpindahan kalor antara *heat pipe* *sink* [14].



### II.3 Heat pipe

*Heat pipe* merupakan alat penukar kalor yang berupa pipa dengan dinding wick, terdiri dari 3 bagian utama yaitu : evaporator, adiabatik dan kondensor. Bagian evaporator merupakan bagian yang menerima kalor dan menyerapnya untuk di bawa kebagian kondensor, yaitu bagian yang melepas kalor ke lingkungan. Diantara evaporator dan kondensor ada bagian yang memisahkan, yaitu bagian adiabatik sebagai bagian yang terisolasi sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Didalam pipa itu terdapat fluida kerja yang berfungsi membawa kalor dari evaporator dan melepaskannya di kondensor [15].

Pipa kalor merupakan alat pemindah kalor aliran dua fasa dimana proses berlangsung dari cair menjadi uap dan sebaliknya, bersirkulasi antara evaporator dan kondensor dengan konduktivitas termal efektif yang tinggi. Karena *heat pipe* memiliki kapasitas pengangkutan kalor yang tinggi, alat penukar kalor dengan pipa kalor menjadi jauh lebih kecil dibandingkan penukar kalor tradisional dalam menangani fluks kalor tinggi. Dengan adanya fluida kerja pada pipa kalor, kalor dapat diserap pada daerah evaporator dan diangkut ke daerah kondensor dimana uap mengembun melepaskan kalor tersebut ke media pendingin.



Gambar 3 Prinsip kerja hipe pipe [16]



or yang diserap oleh evaporator berpindah ke fluida kerja secara konduksi  
 yebabkan penguapan fluida kerja pada permukaan struktur kapileri.  
 n menyebabkan tekanan uap di evaporator meningkat sehingga uap mengalir

menuju kondensor dan mengangkut kalor laten dari evaporator. Di dalam kondensor uap dikondensasi pada permukaan struktur kapileri. Siklus tertutup dari fluida kerja ini, terus dipertahankan oleh sistem kapilaritas [16].

## II.4 Komponen Dasar *Heat pipe*

Ada tiga komponen dasar dari *heat pipe*, yaitu:

1. *The container* (wadah)
2. *The working fluid* (fluida kerja)
3. *The wick or capillary structure* (struktur wick atau struktur kapileri)

### II.4.1 *Container*

Fungsi *container* adalah untuk mengisolasi fluida kerja dari lingkungan luar. Oleh karena itu *container* harus tahan bocor, dapat menjaga perbedaan tekanan diseluruh dindingnya, dan memungkinkan terjadinya perpindahan kalor dari fluida kerja atau ke dalam fluida kerja.

Pemilihan material *container* mempertimbangkan beberapa faktor berikut:

- Kompabilitas (baik dengan fluida kerja maupun lingkungan sekitar)
- Rasio kekuatan terhadap berat
- Konduktivitas termal
- Kemudahan fabrikasi, termasuk kemudahan pengelasan, proses permesinan, dan keuletan
- Tingkat ketahanan terhadap korosi

### II.4.2 *Working fluid* (fluida kerja)

Pemilihan fluida kerja harus didasarkan pada pertimbangan termodinamika yang berkaitan dengan berbagai kemampuan aliran kalor yang terjadi di dalam *heat pipe* seperti tingkat viskositas dan titik didihnya. Selain itu, fluida kerja juga harus mempunyai tegangan permukaan yang tinggi agar *heat pipe* dapat beroperasi melawan gravitasi dan menghasilkan gaya penggerak kapiler yang tinggi. Sifat termofisika lain yang diinginkan pada fluida kerja ialah konduktivitas termal cairan dan kalor laten yang tinggi, serta viskositas yang rendah [16].



Table 2. Fluida kerja Heat pipe [17]

Working Fluid	Triple Point (K)	Critical Point (K)	Useful Range (K)
Oxygen	54.3	154.8	55-154
Nitrogen	63.1	126.2	65-125
Ethane	89.9	305.5	100-305
Butane	134.8	425.5	260-350
Methanol	175.2	513.2	273-503
Toluene	178.1	593.9	275-473
Acetone	180.0	508.2	250-475
Ammonia	195.5	405.6	200-405
Mercury	234.3	1763	280-1070
Water	273.2	647.3	273-643
Potassium	336.4	2250	400-1800
Sodium	371.0	2500	400-1500
Lithium	453.7	3800	500-2100
Silver	1234	7500	1600-2400

### II.4.3 *The wick or capillary structure (struktur wick atau struktur kapileri)*

Wick mempunyai tujuan utama menghasilkan tekanan kapiler untuk mengangkut fluida kerja dari kondensator ke evaporator. Dimana fluida kerja harus bisa didistribusikan ke seluruh bagian evaporator yang memungkinkan kalor dapat diserap oleh *heat pipe*. Sifat material dan karakteristik struktur wick yang diinginkan ialah konduktivitas termal, porositas, dan permeabilitas yang tinggi, serta radius kapiler yang kecil [16].

Jenis struktur wick yang paling umum ialah *Sintered Powder*, *Grooved Tube*, *Screen Mesh* [16].



Gambar 4 Jenis truktur wick





## II.5 Kinerja Heat pipe

Tahanan termal keseluruhan dari *heat pipe*, yang ditentukan harus bernilai rendah, jika diasumsikan *heat pipe* bekerja secara normal[18]. Tahanan termal ditunjukkan oleh persamaan (1) sebagai berikut:

$$R = \frac{T_{evaporator} - T_{condensor}}{\dot{Q}} \quad (1)$$

Dengan  $\dot{Q}$  Kalor yang diterima *heat pipe* (W)

Agar *heat pipe* dapat mengoperasikan tekanan pemompaan kapiler secara maksimum, harus lebih besar dari total penurunan tekanan di dalam pipa. Penurunan tekanan yang dimaksud terdiri atas tiga, yaitu :

1. Penurunan tekanan  $P_l$  , dibutuhkan untuk mengembalikan cairan dari kondenser ke evaporator.
2. Penurunan tekanan  $P_v$ , dibutuhkan untuk mengalirkan uap dari evaporator ke kondenser.
3. Tekanan akibat *gravitational head*,  $\Delta P_g$  , yang dapat bernilai nol, positif, atau negatif, tergantung pada kemiringan pemasangan *heat pipe*.

Untuk kinerja yang sesuai, dapat dilihat pada persamaan (2)

$$\Delta P_{c,max} \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_g \quad (2)$$

Jika kondisi ini tidak terpenuhi, wick akan mengeringkan fluida kerja di daerah evaporator dan *heat pipe* tidak akan beroperasi. Persamaan (2) dapat juga direferensikan sebagai limit kapilaritas. Limit kapilaritas akan menentukan laju aliran kalor maksimum pada kisaran pengoperasian. Kita dapat memperoleh nilai laju aliran massa maksimum, , pada persamaan (3) jika diasumsikan sebagai berikut:

1. Sifat atau properti cairan tidak bervariasi sepanjang pipa,
2. Struktur wick seragam sepanjang *heat pipe*,

Penurunan tekanan akibat aliran uap diabaikan.



$$\dot{m}_{\max} = \left\{ \frac{\rho_l \cdot \sigma_l \cdot K \cdot A_w}{\mu_l \cdot l_{eff}} \right\} \cdot \left\{ \frac{2}{r_e} - \frac{\rho_l \cdot g \cdot l_{eff}}{\sigma_l} \cdot \sin \Phi \right\} \quad (3)$$

Keterangan :

$\rho_l$  = Massa jenis fluida kerja ( $\text{kg/m}^3$ )

$K$  = Permeabilitas ( $\text{m}^2$ )

$A_w$  = Luas permukaan dalam *heat pipe* ( $\text{m}^2$ )

$\mu_l$  = Viskositas cairan fluida kerja ( $\text{Ns/m}^2$ )

$l_{eff}$  = Panjang efektif *heat pipe* (m)

$\sigma_l$  = Tegangan permukaan fluida kerja (N/m)

$r_e$  = Radius dalam *heat pipe* (m)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$\Phi$  = Sudut antara sumbu *heat pipe* dengan sumbu horizontal

Perpindahan kalor maksimum pada sebuah *heat pipe* pada temperatur tertentu ditentukan oleh persamaan (4) berikut

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m}_{\max} \cdot L$$

$\dot{Q}_{\max}$  = Perpindahan kalor maksimum (kW)

$\dot{m}_{\max}$  = Laju aliran massa maksimum (kg/s)

$L$  = Kalor laten penguapan (kJ/kg) [15]

