

SKRIPSI

PEMANFAATAN *HEAT PIPE* SEBAGAI *PASSIVE HEAT EXCHANGER* PADA PROTOTIPE SALURAN UDARA DATA CENTER

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD RUM YAMANY ISMAIL RASYAD
D021 18 1031**



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PEMANFAATAN *HEAT PIPE* SEBAGAI *PASSIVE HEAT EXCHANGER* PADA PROTOTIPE SALURAN UDARA DATA CENTER

Disusun dan diajukan oleh

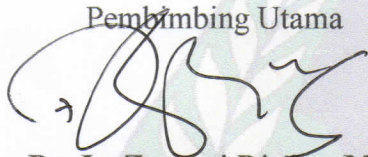
MUHAMMAD RUM YAMANI ISMAIL RASYAD
NIM. D021181031

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 7 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

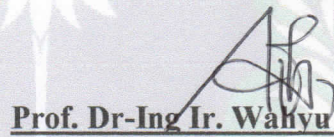
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



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



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

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Rum Yamani Ismail Rasyad
NIM : D021181031
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Pemanfaatan *Heat Pipe* sebagai *Passive Heat Exchanger* pada Prototipe Saluran Udara 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, 3 Februari 2023



Yang Menyatakan

Muhammad Rum Yamani Ismail Rasyad

ABSTRAK

MUHAMMAD RUM YAMANI ISMAIL RASYAD, PEMANFAATAN HEAT PIPE SEBAGAI PASSIVE HEAT EXCHANGER PADA PROTOTIPE SALURAN UDARA DATA CENTER (dibimbing oleh Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah)

Data Center merupakan sarana yang mendukung operasional suatu institusi khususnya telekomunikasi dan sistem penyimpanan data. Dari keseluruhan konsumsi listrik di *data center*, sebanyak 40-50% digunakan oleh sistem pendinginan (kontrol suhu dan kelembapan), sehingga peningkatan efisiensi sistem pendingin merupakan tahap yang penting untuk menghemat energi dan biaya operasional *data center*. Pemanfaatan *heat pipe* yang fleksibel memiliki potensi untuk menjadi solusi masalah tersebut dengan meringankan beban panas *data center*.

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh dan kinerja (\dot{Q}_{\max}) *heat pipe* dengan variabel kerapatan dan kemiringan terhadap temperatur udara panas yang mengalir di sistem. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan pengumpulan data setelah melakukan percobaan dengan variasi jarak antar *heat pipe* (3mm, 4mm, 5mm, 6mm) dan sudut kemiringan *heat pipe* (0°, 15°, 30°).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *heat pipe* dapat memindahkan panas keluar dari sistem sehingga mampu menurunkan temperatur udara. Dari penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa kinerja rangkaian *heat pipe* terbaik, yaitu *heat pipe* dengan jarak kerapatan 3mm dan kemiringan operasi 0° terhadap gaya gravitasi, memiliki kapasitas perpindahan panas *heat pipe* (\dot{Q}_{\max}) sebesar 5,9 kW dan rangkaian *heat pipe* mampu menyerap panas dari udara yang mengalir sebesar 2,8 kW.

Kata Kunci: Data Center, *Heat Pipe*, jarak kerapatan, kemiringan, Saluran Udara

ABSTRACT

MUHAMMAD RUM YAMANI ISMAIL RASYAD, *UTILIZATION OF HEAT PIPE AS A PASSIVE HEAT EXCHANGER IN DATA CENTER AIR DUCT PROTOTYPE* (supervised by Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah)

Data Center is a facility that supports the operation of an institution, especially in telecommunications and data storage systems. Of the total electricity consumption in the data center, as much as 40-50% is used by the cooling system (temperature and humidity control), so increasing the efficiency of the cooling system is an important step to save energy and data center operational costs. Flexible utilization of heat pipes has the potential to be the solution to this problem by reducing data center heat load.

The purpose of this study was to determine the effect and performance (\dot{Q}_{\max}) of the heat pipe on the temperature of the hot air flowing in the system. This research was conducted using an experimental method by collecting data after experimenting with variations in the distance between the heat pipes (3mm, 4mm, 5mm, 6mm) and the angle of inclination of the heat pipe (0°, 15°, 30°).

The results showed that the heat pipe can transfer heat out of the system, therefore reducing air temperature. From the research conducted, it can be seen that the best performance of the heat pipe variables, which is the setting with a pitch distance of 3mm in between heat pipes and an inclination angle of 0°, has a maximum heat transfer capacity (\dot{Q}_{\max}) of 5.9 kW and the series of heat pipes are capable of absorbing heat from the flowing air of 2.8 kW

Keywords: Data Center, Heat Pipe, pitch distance, inclination, Air Duct

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
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. Data Center.....	4
II.2. <i>Fan</i>	4
II.3. <i>Heat Pipe</i>	5
II.4. Konstruksi <i>Heat Pipe</i>	6
II.5. Kompatibilitas Material dan Fluida Kerja.....	9
II.6. Kinerja <i>Heat Pipe</i>	11
BAB III Metodologi Penelitian.....	13
III.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	13
III.2. Metode Penelitian.....	13
III.3. Variabel Penelitian.....	13
III.4. Alat dan Bahan Penelitian.....	14
III.5. Desain Prototipe Saluran Udara Data Center.....	18
III.6. Skema Rancangan Instalasi Pengujian dan Sistem Pengukuran.....	21
III.7. Prosedur Penelitian.....	22
III.8. Pelaksanaan Penelitian.....	23
III.9. Jadwal Penelitian.....	24
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	25

IV.1. Analisis Data dan Perhitungan	25
IV.2. Grafik dan Pembahasan.....	36
BAB V PENUTUP.....	42
V.1. Kesimpulan	42
V.2. Saran.....	42
Daftar Pustaka	44
LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema Aliran Udara Data Center	4
Gambar 2 Prinsip Kerja Heat Pipe	5
Gambar 3 Perbandingan Tekanan Vakum Terhadap Q_{\max} [9]	6
Gambar 4 Konstruksi Heat Pipe [10]	7
Gambar 5 Jenis Struktur Wick [9]	9
Gambar 6 <i>Fan</i>	14
Gambar 7 <i>Heating Element</i>	14
Gambar 8 <i>AC Voltage Regulator</i>	15
Gambar 9 Anemometer	15
Gambar 10 Termokopel	15
Gambar 11 <i>C-Series Temperature Input Module</i>	16
Gambar 12 <i>Heat Pipe</i>	16
Gambar 13 Plat Besi	17
Gambar 14 Akrilik	17
Gambar 15 Insulasi	17
Gambar 16 Desain Alat disertai Dimensi Total	18
Gambar 17 Variasi Jarak <i>Heat Pipe</i> : a) 3mm, b) 4mm, c) 5mm, d) 6mm	19
Gambar 18 Variasi Kemiringan <i>Heat Pipe</i> : a) 0°, b) 15°, c) 30°	20
Gambar 19 Desain Alat Sirkulasi	20
Gambar 20 Skema Rancangan Instalasi Pengujian	21
Gambar 21 Sistem Pengukuran	21
Gambar 22 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 23 Perbedaan Temperatur <i>Heat Pipe</i> ($\Delta T_{\text{heat pipe}}$) pada Setiap Variasi Rangkaian <i>Heat Pipe</i>	36
Gambar 24 Perbedaan Temperatur Udara (ΔT_{udara}) pada Setiap Variasi Rangkaian <i>Heat Pipe</i>	37
Gambar 25 Sejarah Temperatur pada Rangkaian <i>Heat Pipe</i> dengan Variabel Kerapatan 3mm dan Kemiringan 0° pada Daya <i>Heater</i> 909W	38
Gambar 26 Panas dari Udara yang Diserap oleh Berbagai Rangkaian pada Setiap Variasi Tegangan <i>Heater</i>	39
Gambar 27 Kapasitas Perpindahan Panas Maksimum untuk 1 <i>Heat Pipe</i> pada Setiap Variasi Tegangan <i>Heater</i>	40
Gambar 28 Kapasitas Perpindahan Panas Maksimum Rangkaian <i>Heat Pipe</i> pada Setiap Variasi Tegangan <i>Heater</i>	41
Gambar 29 Sifat Udara Pada Tekanan 1 atm (Cengel A-15)	50
Gambar 30 Sifat Fluida Kerja <i>Heat Pipe</i>	51
Gambar 31 Data Ukuran <i>Wick</i> dan Permeabilitas <i>Heat Pipe</i>	51
Gambar 32 Alat Penelitian	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Konduktivitas termal material kontainer dan struktur wick [10]	7
Tabel 2 Fluida Kerja Heat Pipe [12]	8
Tabel 3 Kompatibilitas material heat pipe dan fluida kerja [9]	10
Tabel 4 Jadwal Penelitian.....	24
Tabel 5 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 3mm dan Kemiringan 0°	25
Tabel 6 Data Perhitungan Panas Udara yang diserap – \dot{Q}_{udara} (kW)	27
Tabel 7 Data Perhitungan Tahanan Termal <i>Heat Pipe</i> – R ($^{\circ}\text{C}/\text{W} \times 10^{-3}$).....	28
Tabel 8 Panjang Sisi <i>Heat Pipe</i> pada Berbagai Variasi Kemiringan	30
Tabel 9 Data Perhitungan Kapasitas Perpindahan Panas Maksimum per <i>Heat Pipe</i> – \dot{Q}_{max} (W)	31
Tabel 10 Data Perhitungan Kapasitas Perpindahan Panas Maksimum per Rangkaian – \dot{Q}_{max} (kW).....	32
Tabel 11 Data Temperatur Rata-Rata Variabel Terbaik (3mm, 0°) Saluran Udara yang Bersirkulasi pada Beban Panas 125V.....	33
Tabel 12 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 3mm dan Kemiringan 0°	46
Tabel 13 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 4mm dan Kemiringan 0°	46
Tabel 14 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 5mm dan Kemiringan 0°	46
Tabel 15 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 6mm dan Kemiringan 0°	47
Tabel 16 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 3mm dan Kemiringan 15°	47
Tabel 17 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 4mm dan Kemiringan 15°	47
Tabel 18 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 5mm dan Kemiringan 15°	48
Tabel 19 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 6mm dan Kemiringan 15°	48
Tabel 20 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 3mm dan Kemiringan 30°	48
Tabel 21 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 4mm dan Kemiringan 30°	49
Tabel 22 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 5mm dan Kemiringan 30°	49
Tabel 23 Data Temperatur Rata-Rata pada Jarak 6mm dan Kemiringan 30°	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian	46
Lampiran 2 Referensi Perhitungan.....	50
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian.....	52

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
\dot{Q}_{\max}	Kapasitas perpindahan panas maksimum <i>heat pipe</i>
\dot{Q}_{udara}	Panas yang diserap dari udara
\dot{Q}_{loss}	Panas yang tidak diserap oleh <i>heat pipe</i>
R	Tahanan termal <i>heat pipe</i>
\dot{m}_{\max}	Laju aliran massa maksimum fluida kerja <i>heat pipe</i>
L	Panas laten penguapan
ρ_l	Massa jenis fluida kerja <i>heat pipe</i> dalam fase cair
ρ	Massa jenis udara yang mengalir
h	Koefisien perpindahan panas
A_w	Luas permukaan rongga dalam <i>heat pipe</i>
A	Luas permukaan aliran (<i>flow area</i>) saluran udara
A_s	Luas permukaan pengukuran temperatur dinding
μ_l	Viskositas fluida kerja <i>heat pipe</i>
σ_l	Tegangan permukaan fluida kerja <i>heat pipe</i>
r_e	Radius rongga dalam <i>heat pipe</i>
g	Percepatan gravitasi
ϕ	Sudut kemiringan <i>heat pipe</i>
l_{eff}	Panjang efektif <i>heat pipe</i>
l_{ad}	Panjang sisi adiabatik <i>heat pipe</i>
l_{ev}	Panjang sisi evaporator <i>heat pipe</i>
l_{con}	Panjang sisi kondenser <i>heat pipe</i>

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas ridanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Pemanfaatan *Heat Pipe* Sebagai *Passive Heat Exchanger* Pada Prototipe Saluran Udara Data Center**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan rasa terima kasih kepada orang tua penulis, Bapak **Hijir Ismail Adnin Rasyad** dan Ibu **Jusmawati Massalesse**.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan serta bantuan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. **Prof. Dr. -Ing. Wahyu H. Piarah, MSME** dan **Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT** selaku pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan hingga akhir penyusunan skripsi ini.
2. **Dosen Penguji Pertama** dan **Dosen Penguji Kedua** selaku Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis kuliah.
4. Saudara-saudara seperjuangan REACTOR 2018 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
5. Teman-teman dan kakak-kakak seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan tugas akhir.
6. Serta semua pihak yang tidak bisa disebut satu persatu dalam membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari pembaca agar penyusunan selanjutnya lebih baik. Penulis juga berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca serta pengetahuan pemanfaatan *heat pipe* dan salah satu metode pendinginan yang hemat energi

Gowa, 3 Februari 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi digital di Indonesia yang semakin pesat diikuti dengan melesatnya jumlah pengguna internet. Akibatnya, pembangunan berbagai fasilitas penunjang termasuk *data center* memegang peran yang cukup penting. Adapun yang mendorong peningkatan permintaan *data center* di Indonesia antara lain ialah *Internet of Things (IoT)*. Hal ini dikarenakan layanan digital sudah tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari [1].

Pada sebuah sistem *data center*, perangkat IT mengeluarkan emisi panas yang besar sehingga kontrol suhu dan kelembaban di *data center* sangat diperlukan. Dari keseluruhan konsumsi energi di *data center*, sistem pendingin mengonsumsi sekitar 40%~50% penggunaan listrik. Hal ini diakibatkan oleh beberapa alasan, di antaranya penggunaan *chiller* pada sistem pendinginan udara yang bekerja secara konstan sepanjang tahun, penggunaan listrik yang cukup besar oleh pompa dan *fan* untuk sirkulasi udara, dan kurangnya efektivitas aliran udara akibat bercampurnya udara dingin dan panas sehingga meningkatkan beban pendingin [2]. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi sistem pendingin merupakan tahap yang penting untuk menghemat energi dan biaya dalam pengoperasian *data center* [3].

Menurut Alfonso Capozzoli dkk [4], ada banyak cara yang efektif untuk menghemat penggunaan energi pada pendinginan *data center*, seperti optimalisasi distribusi udara dalam ruangan, peningkatan perpindahan panas untuk rak server, peningkatan kinerja termal *chiller*, dan lain sebagainya. Berbagai cara ini tentu harus disesuaikan dengan beragam kondisi *data center*, seperti keterbatasan ruang, penggunaan listrik oleh komponen seperti *fan* atau *pump*, biaya perawatan mesin, pengaruh terhadap kelembaban, dan seterusnya.

Data center memiliki peran penting bagi perusahaan, khususnya yang bergerak di bidang finansial dan *e-finance*. Selain kemudahan transaksi, *data center* menyediakan keamanan data pengguna sehingga tidak sedikit perusahaan yang membangun *data center* sendiri. Namun, hal ini tentu tidak mudah. Perawatan dan pengelolaan *data center* penuh dengan keterbatasan ruang, biaya,

dan lain-lain. Teknologi seperti *heat pipe* bisa menjadi solusi yang tepat untuk *data center* berskala kecil hingga besar. Hal ini dikarenakan pemanfaatan *heat pipe* yang fleksibel sehingga dapat digunakan bersamaan dengan sistem pendingin yang sudah ada, seperti *chiller* untuk meringankan beban pendingin *data center*.

Heat pipe merupakan alat penukar kalor pasif yang memiliki laju *heat transfer* yang tinggi. Penggunaan *heat pipe* mampu meningkatkan perpindahan kalor antara rak server dengan sumber *free cooling*. Berdasarkan penelitian Zhang Y dkk [3], jika dibandingkan dengan *heat exchanger* yang biasanya, penggunaan *heat pipe* dapat meningkatkan efisiensi pendinginan hingga 3-5 kali lipat, sehingga dapat menurunkan nilai *PUE* (*Power Usage Effectiveness*) secara drastis.

Oleh karena itu, berdasarkan berbagai referensi yang telah dicantumkan sebelumnya, penulis mengambil judul “Pemanfaatan Perangkat *Heat Pipe* sebagai *Passive Heat Exchanger* pada Prototipe Data Center”. Dengan ini, akan diketahui implementasi *heat pipe* pada sistem *air conditioning* yang tepat pada *data center* yang berperan dalam mengurangi beban kalor unit pendingin sehingga dapat mengurangi konsumsi daya.

I.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dapat dirumuskan berbagai masalah yang timbul yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *heat pipe* beserta variabel kerapatan dan kemiringannya terhadap temperatur udara yang mengalir di sistem ?
2. Bagaimana kinerja perangkat *heat pipe* (\dot{Q}_{\max}) yang digunakan pada prototipe saluran udara data center terhadap variabel kerapatan dan kemiringan *heat pipe* ?

I.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh *heat pipe* beserta variabel kerapatan dan kemiringannya terhadap temperatur udara yang mengalir di sistem
2. Mengetahui kinerja perangkat *heat pipe* (\dot{Q}_{\max}) yang digunakan pada prototipe saluran udara data center terhadap variabel kerapatan dan kemiringan *heat pipe*

I.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian dilakukan tanpa meninjau pengaruh kelembaban udara
2. *Heat pipe* yang digunakan adalah jenis yang ada di pasaran

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini, yaitu:

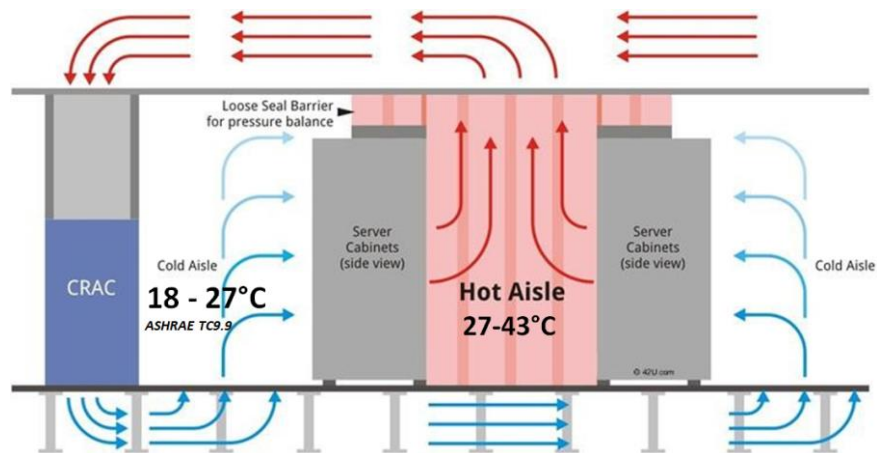
1. Mengetahui pengaplikasian *heat pipe* yang tepat pada *data center*
2. Menjadi solusi untuk meringankan beban sistem pendinginan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Data Center

Data center atau pusat data merupakan bangunan atau fasilitas yang di dalamnya terdapat server dan komponen lainnya yang dipelihara untuk mendukung suatu institusi, seperti universitas, perusahaan, laboratorium, rumah sakit, pusat penelitian, organisasi pemerintah, dan lain-lain. Ukuran suatu data center ditentukan oleh banyaknya jumlah server, kapasitasnya, jumlah pengguna, dan lain-lain. Dengan demikian, dapat diidentifikasi data center dengan skala kecil pada universitas dan skala yang lebih besar pada perusahaan seperti Google dan Amazon [5].

Secara umum, temperatur yang tercatat pada sisi panas/*hot aisle* sebuah data center berkisar di antara 80 F – 110 F (26,7 – 43,3 °C). Sedangkan temperatur sisi dingin/*cold aisle* yang disarankan oleh ASHRAE ialah 18-27 °C. Kisaran temperatur tersebut akan memastikan bahwa server-server di data center tidak mengalami gangguan seperti *overheating* [6].



Gambar 1 Skema Aliran Udara Data Center

II.2. Fan

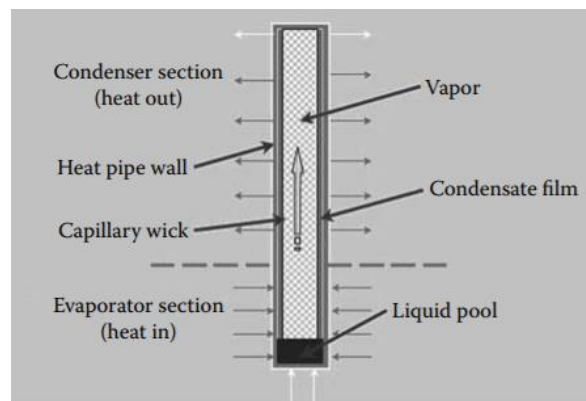
Fan atau kipas merupakan salah satu mesin fluida yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain melalui suatu saluran (*duct*). Ada banyak penggunaan *fan* pada rumah tangga, seperti pada alat pendingin ruangan, alat pengering, penghisap debu, dan lain sebagainya. Namun

jika dilihat pada penggunaannya di bidang industri, *fan* digunakan untuk menjaga suhu kerja suatu peralatan, mengatur suplai udara pada proses pembakaran, sebagai ventilasi, dan lain-lain. Selain itu, penggunaan *fan* yang populer dikarenakan konstruksi dan instalasi *fan* yang sederhana [7]. Pada perancangan prototipe data center, *fan* digunakan untuk mengalirkan udara dari lingkungan masuk ke sistem.

II.3. Heat Pipe

Heat pipe adalah alat pemindah kalor aliran dua fase di mana proses berlangsung dari cair ke uap dan sebaliknya yang bersirkulasi antara sisi evaporator dan kondenser dengan konduktivitas termal yang memiliki efektivitas tinggi.

Heat pipe memiliki kapasitas perpindahan panas yang tinggi, sehingga alat pemindah kalor dengan *heat pipe* memerlukan dimensi yang lebih kecil dibanding alat pemindah kalor konvensional dalam menangani fluks panas yang tinggi. Dengan adanya fluida kerja di dalam *heat pipe*, panas diserap oleh sisi evaporator sehingga fluida kerja menguap lalu dipindahkan menuju sisi kondensor di mana uap mengalami kondensasi dan melepaskan panas.

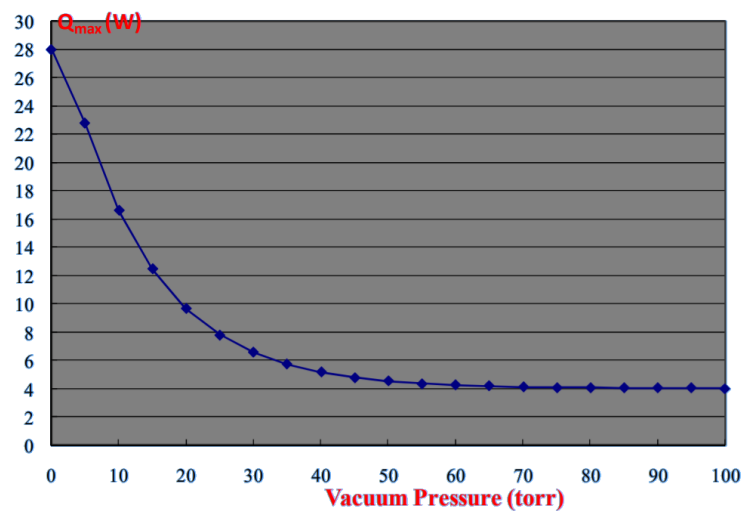


Gambar 2 Prinsip Kerja Heat Pipe

Sebuah *heat pipe* beroperasi dalam sistem aliran dua fase sebagai perangkat evaporasi-kondensasi yang memindahkan panas di mana kalor laten penguapan dimanfaatkan untuk mengangkut panas pada jarak yang jauh dengan perbedaan temperatur yang kecil. Panas yang ditambahkan ke evaporator ditransfer ke fluida kerja secara konduksi dan menyebabkan penguapan fluida kerja pada permukaan

struktur kapiler. Penguapan menyebabkan peningkatan tekanan uap di evaporator sehingga uap mengalir menuju kondenser. Akibat panas yang dikeluarkan pada kondenser, uap yang ditransfer mengalami kondensasi pada permukaan struktur kapiler, melepaskan kalor laten [8].

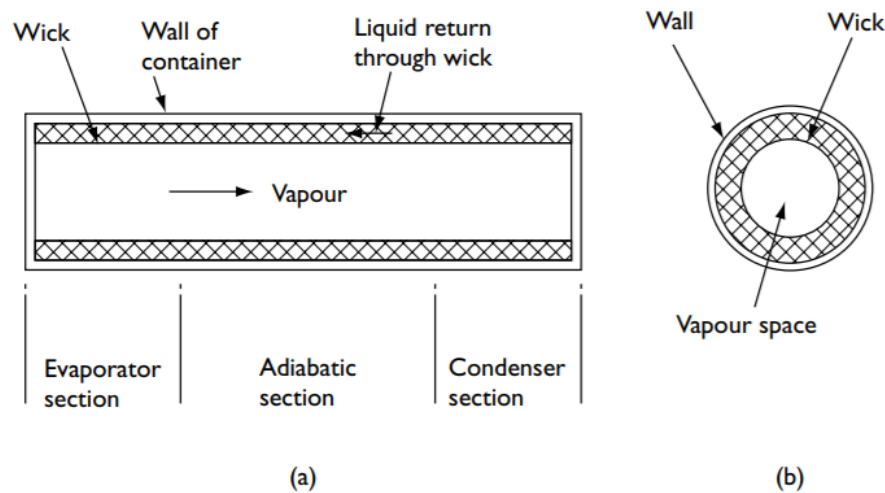
Tekanan di dalam *heat pipe* akan mempengaruhi temperatur kerja *heat pipe*. Dalam situasi tertentu, temperatur yang diterima *heat pipe* tidak mampu mengubah fase fluida kerja dari cair menjadi gas sehingga *heat pipe* tidak dapat berfungsi. Hal ini dapat disebabkan karena temperatur yang diterima *heat pipe* lebih rendah dari titik didih fluida kerja. Namun, jika tekanan internal *heat pipe* lebih rendah, maka fluida kerja dapat berubah fase ketika menerima temperatur yang sama. Oleh karena itu, semakin vakum (semakin kecil tekanan) suatu *heat pipe*, maka kapasitas transfer panas suatu *heat pipe* semakin besar.



Gambar 3 Perbandingan Tekanan Vakum Terhadap Q_{max} [9]

II.4. Konstruksi *Heat Pipe*

Bagian utama dari *heat pipe* standar ditunjukkan oleh gambar 2.2. Pada gambar 2.2a, *heat pipe* terdiri atas sisi evaporator dan sisi kondenser yang dipisahkan oleh sisi adiabatik. Pada gambar 2.2b, komponen utama *heat pipe* terdiri atas kontainer, struktur *wick*, dan *vapour space* yang berisi fluida kerja.



Gambar 4 Konstruksi Heat Pipe [10]

1. Kontainer *Heat Pipe*

Salah satu pertimbangan penting dalam menentukan material kontainer *heat pipe* dan *wick* ialah kesesuaiannya dengan fluida kerja. Degradasi pada kontainer atau *wick* dan kontaminasi fluida kerja akibat reaksi kimia dapat merusak performa *heat pipe*. Material dan geometri kontainer *heat pipe* juga harus memiliki konduktivitas termal dan kekuatan yang tinggi, serta porositas yang rendah [11].

Tabel 1 Konduktivitas termal material kontainer dan struktur wick [10]

Material	Thermal Conductivity (W/m C)
Aluminum	205
Brass	113
Copper (0-100 C)	394
Glass	0.75
Nickel (0-100 C)	88
Mild Steel	45
Stainless Steel (type 304)	17.3
Teflon	0.17

2. Fluida Kerja

Menggunakan fluida kerja yang sesuai dengan kebutuhan adalah elemen yang penting pada pengoperasian *heat pipe*. Fluida kerja harus memiliki sifat kestabilan termal pada temperatur dan tekanan kerja. Kisaran temperatur fluida kerja harus berada di antara *triple point* dan titik kritis

agar cairan dapat melalui material *wick*. Keterbasahan fluida kerja berkontribusi pada kemampuan pemompaan kapiler dan *priming*. Fluida dengan tegangan permukaan tinggi umumnya digunakan pada *heat pipe* karena memiliki karakteristik yang sesuai. Sifat termofisika lain yang diinginkan pada fluida kerja ialah konduktivitas termal cairan dan panas laten penguapan yang tinggi, serta viskositas yang rendah [11].

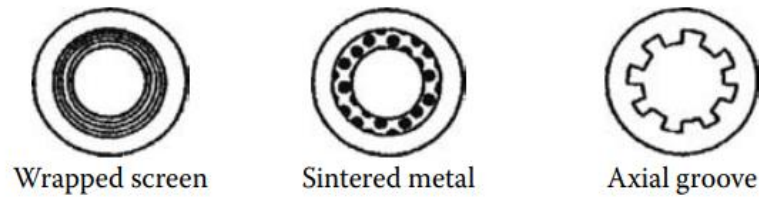
Tabel 2 Fluida Kerja Heat Pipe [12]

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

3. Struktur *Wick*

Fluida kerja dan struktur *wick* menghasilkan gaya kapiler yang dibutuhkan untuk memompa cairan dari kondenser kembali ke evaporator dan menyebarkan fluida kerja secara merata di dalam struktur *wick*. Sifat material dan karakteristik struktur *wick* yang diinginkan ialah konduktivitas termal, porositas, dan permeabilitas yang tinggi, serta radius kapiler yang kecil [11].

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



Gambar 5 Jenis Struktur Wick [9]

II.5. Kompatibilitas Material dan Fluida Kerja

Salah satu faktor utama dalam pemilihan fluida kerja ialah kestabilan dan kompatibilitas dengan material lain pada sistem *heat pipe*. *Low temperature heat pipe*, seperti yang diaplikasikan pada kontrol pesawat ruang angkasa, mengalami degradasi performa secara kontinu akibat dari:

1. Reaksi kimia atau dekomposisi fluida kerja
2. Korosi atau erosi pada kontainer atau *wick*

Reaksi kimia atau dekomposisi fluida kerja dapat mengakibatkan timbulnya evolusi NCG (H_2 , N_2 , O_2). Contoh spesifik dari kejadian ini ialah peristiwa hidrolisis air yang menghasilkan gas hydrogen ketika membangun *heat pipe* aluminium/air. Pada *heat pipe* yang biasanya, semua NCG disapu ke ujung kondenser, membentuk penghalang difusi untuk aliran uap dan secara efektif mengurangi area kondenser yang tersedia.

Korosi dan erosi pada kontainer dan *wick* dapat terjadi akibat perubahan sudut pembasahan oleh fluida kerja dan permeabilitas, porositas, atau ukuran pori *wick*. Endapan padat yang dihasilkan korosi dan erosi dipindahkan oleh cairan ke sisi evaporator, sehingga endapan ini akan menumpuk ketika fluida kerja yang berupa cairan mengalami penguapan. Hal ini akan meningkatkan ketahanan terhadap aliran fluida di evaporator, sehingga menyebabkan penurunan kapasitas perpindahan panas *heat pipe*.

Pertimbangan pertama dalam identifikasi fluida kerja yang sesuai ialah kisaran temperatur kerja. Dalam kisaran suhu tertentu, terdapat berbagai jenis fluida kerja yang sesuai namun dengan karakteristik yang berbeda dan harus

diteliti untuk menentukan fluida kerja yang paling sesuai. Syarat-syarat penting fluida kerja adalah sebagai berikut:

1. Kompatibilitas dengan material kontainer dan *wick*
2. Stabilitas termal yang baik
3. Keterbasahan material kontainer dan *wick*
4. Tekanan uap yang tidak terlalu tinggi atau rendah
5. Panas laten yang tinggi
6. Konduktivitas termal yang tinggi
7. Viskositas cairan dan uap yang rendah
8. Tegangan permukaan yang tinggi
9. Titik beku yang dapat diterima

Tabel 3 Kompatibilitas material heat pipe dan fluida kerja [9]

<i>Working Fluid</i>	<i>Aluminum</i>	<i>Stainless Steel</i>	<i>Copper</i>	<i>Nickel</i>	<i>Titanium</i>
<i>Water</i>	I	C ^a	C	C	
<i>Ammonia</i>	C	C		C	
<i>Methanol</i>	I	C	C	C	
<i>Acetone</i>	C	C	C		
<i>Sodium</i>		C		C	I
<i>Potassium</i>				C	I

Note :
C, compatible; I, incompatible, ^a Sensitivity to Cleaning

Dalam desain *heat pipe*, nilai tegangan permukaan yang tinggi ditujukan untuk pengoperasian *heat pipe* yang melawan gravitasi dan untuk menghasilkan gaya kapilaritas yang besar. Selain itu, penting untuk fluida kerja dapat membasahi material *wick* dan kontainer (sudut kontak harus nol atau sangat kecil). Tekanan uap pada temperature kerja harus cukup besar untuk menghindari kecepatan uap yang tinggi, yang dapat menimbulkan gradient temperature yang besar dan ketidakstabilan aliran. [9]

II.6. Kinerja *Heat Pipe*

Tahanan termal keseluruhan dari *heat pipe*, yang ditentukan harus bernilai rendah, jika diasumsikan *heat pipe* bekerja secara normal[10]. Tahanan termal ditunjukkan oleh persamaan (1) sebagai berikut:

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

Dengan \dot{Q} = Panas yang diterima *heat pipe* (W)

Agar *heat pipe* dapat mengoperasikan tekanan pemompaan kapiler secara maksimum, $\Delta P_{c,max}$ 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*, ΔP_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 panas maksimum pada kisaran pengoperasian. Kita dapat memperoleh nilai laju aliran massa maksimum, \dot{m} , pada persamaan (3) jika diasumsikan sebagai berikut:

1. Sifat atau properti cairan tidak bervariasi sepanjang pipa,
2. Struktur *wick* seragam sepanjang *heat pipe*,
3. 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 :

ρ_l = Massa jenis fluida kerja (kg/m^3)

K = Permeabilitas (m^2)

A_w = Luas permukaan dalam *heat pipe* (m^2)

μ_l = Viskositas cairan fluida kerja (Ns/m^2)

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

σ_l = Tegangan permukaan fluida kerja (N/m)

r_e = Radius dalam *heat pipe* (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Φ = Sudut antara sumbu *heat pipe* dengan sumbu horizontal

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

$$\dot{Q}_{max} = \dot{m}_{max} L \quad (4)$$

Keterangan :

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

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

L = Panas laten penguapan (kJ/kg) [10]