

SKRIPSI

**PENGUJIAN PIPA KALOR JENIS PULSATING UNTUK
PENDINGIN LAMPU LED**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh
Dewa Gede Angga Kusuma

PROGRAM STUDI D4 TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2024**

SKRIPSI

**PENGUJIAN PIPA KALOR JENIS PULSATING
UNTUK PENDINGIN LAMPU LED**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh
Dewa Gede Angga Kusuma
NIM. 2015234025

PROGRAM STUDI D4 TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUJIAN PIPA KALOR JENIS PULSATING UNTUK PENDINGIN LAMPU LED

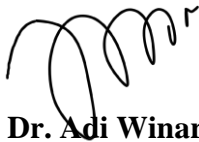
Oleh

Dewa Gede Angga Kusuma
NIM. 2015234025

Diajukan sebagai persyaratan menyelesaikan Skripsi
Program D4 pada Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali

Disetujui oleh:

Pembimbing I



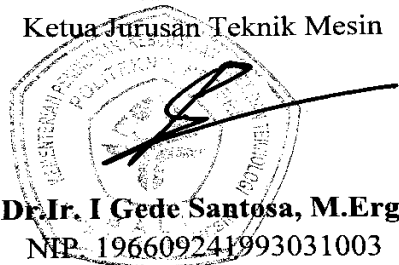
Dr. Adi Winarta ST,MT
NIP. 197610102008121003

Pembimbing II



Dr. Made Ery Arsana. ST,MT
NIP. 196709181998021001

Disahkan oleh :
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg.
NIP. 196609241993031003

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGUJIAN PIPA KALOR JENIS PILSATING UNTUK PENDINGIN LAMPU LED

Oleh

Dewa Gede Angga Kusuma

NIM. 2015234025

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima untuk dapat
dicetak sebagai buku Skripsi pada hari/tanggal:

Rabu, 28 Agustus 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : I Wayan Gede Santika, ST.,


M.Sc.,Ph.D.

NIP : 197402282005011002

(..........)

Penguji II : Ir. I Wayan Adi Subagia, M.T.

NIP : 196211241990031001

(..........)

Penguji III : I Made Sudana, ST, M.Erg

NIP : 196910071996031002

(..........)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dewa Gede Angga Kusuma

NIM : 2015234025

Program studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas

Judul Proyek Akhir : Pengujian Pipa Kalor jenis Pulsating Untuk Pendingin Lampu LED

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No.17 tahun 2010 dan Perundang-undangan yang berlaku.

Badung, 28 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Dewa Gede Angga Kusuma

NIM. 2015234025

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang berifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis pada kesempatan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, S.E., M.eCom, selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Made Ery Arsana, ST, MT., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas.
5. Bapak Dr. Adi Winarta, ST, MT, selaku dosen pembimbing-1 yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Dr. Made Ery Arsana, ST, MT., selaku dosen pembimbing-2 yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat dari awal sampai menjadi mahasiswa hingga saat ini.
7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta Pendidikan pada penulis hingga dapat menunjang dalam penyelesaian Skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
9. Kemudian terima kasih banyak untuk kakak/adik tercinta I Wayan Megantara yang telah memberikan dukungan serta perhatian kepada penulis.

10. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Skripsi tahun 2024 Yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat TRU A, Keluarga besar, Terima kasih telah menjadi sahabat terbaik bagi penulis yang selalu memberikan dukungan, dan motivasi hingga penulis dapat menyelesaikan buku Skripsi ini.
12. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, peneliti atau penulis, dan khususnya kepada civitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 28 Agustus 2024

Dewa Gede Angga Kusuma

ABSTRAK

Lampu Light Emitting Diode (LED) dikenal karena efisiensi energi dan kecerahannya, tetapi menghasilkan panas yang dapat menurunkan performa dan umur lampu. Ambang batas temperatur LED adalah antara 85°C hingga 150°C, di mana suhu yang melebihi rentang ini dapat berdampak negatif. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas Pulsating Heat Pipe sebagai sistem pendingin alternatif untuk lampu LED. Metode eksperimen digunakan dengan heater menggantikan LED sebagai sumber panas dan metanol sebagai fluida kerja dalam pipa kalor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pulsating Heat Pipe mampu menurunkan suhu simulator LED secara signifikan. Pada beban 22,06 Watt, suhu berkurang sebesar 32,34°C dengan hambatan thermal 1,09°C/W. Penurunan suhu yang lebih besar tercapai dengan peningkatan beban panas, di mana hambatan thermal juga menurun, mengindikasikan bahwa Pulsating Heat Pipe adalah solusi pendinginan yang efisien untuk menjaga kinerja optimal LED.

Kata kunci : pulsating heat pipe, lampu led, sistem pendingin, thermal resistance, efisiensi energi.

TESTING OF PULSATING TYPE HEAT PIPE FOR LED LAMP COOLING

ABSTRACT

Light Emitting Diode (LED) lamps are renowned for their energy efficiency and brightness, but they generate heat that can reduce performance and lifespan. The LED temperature threshold is 85°C and 150°C, with temperatures exceeding this range potentially causing negative effects. This study evaluates the effectiveness of Pulsating Heat Pipe as an alternative cooling system for LED lamps. An experimental method was employed, using a heater as a substitute for the LED as a heat source, and methanol as the working fluid within the heat pipe.

The results show that the Pulsating Heat Pipe significantly reduces the temperature of the LED simulator. At a heat load of 22.06 Watts, the temperature decreased by 32,34 °C with a thermal resistance of 1,09 °C/W. Larger temperature reductions were achieved with increased heat load, and the thermal resistance decreased, indicating that the Pulsating Heat Pipe is an efficient cooling solution for maintaining optimal LED performance.

Keywords : *pulsating heat pipe, led lamp, cooling system, thermal resistance, energy efficiency*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa karena atas Rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul Pengujian Pipa Kalor Jenis Pulsating Untuk Pendingin Lampu LED tepat pada waktunya. Penyusunan buku Skripsi ini merupakan salah satu syarat unntuk kelulusan program Pendidikan pada jenjang Diploma 4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari Skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran sebagai pembelajaran demi penyempurnaan karya-karya ilmiah penuis di masa yang akan datang.

Badung, 28 Agustus 2024
Dewa Gede Angga Kusuma

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah.....	16
1.3 Batasan Masalah.....	16
1.4 Tujuan Penelitian	17
1.5 Manfaat Penelitian	17
1.5.1 Bagi penulis	17
1.5.2 Bagi masyarakat.....	17
BAB II LANDASAN TORI	18
2.1 Lampu LED	18
2.1.1 Jenis-jenis lampu LED.....	19
2.1.2 Rangkaian lampu LED.....	23
2.2 Pipa Kalor	24
2.3 Tipe-tipe Pipa Kalor.....	26
2.3.1 Pipa kalor pulsating	26
2.3.2 Pipa kalor konvensional.....	27
2.3.3 Pipa kalor melingkar.....	29
2.3.4 Pipa kalor datar (<i>Vapor Chamber</i>).....	30
2.4 Perpindahan Kalor Pada Pipa Kalor Konvensional.....	30

2.5 Perpindahan Kalor Pada Pipa Kalor Jenis Pulsating	31
2.6 Sumbu Kapiler Pipa Kalor	32
2.7 Fluida Kerja	33
2.8 Hambatan Termal Pipa Kalor	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Jenis Penelitian	35
3.1.1 Desain pengujian sistem pendingin lampu LED.....	36
3.1.2 Skematik pengujian.....	38
3.2 Lokasi dan waktu	40
3.3 Sumber daya penelitian	40
3.4 Instrumen penelitian	43
3.5 Prosedur pengambilan data.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Data Variasi Beban Kalor Terhadap Perubahan Temperatur Pipa Kalor Dan Lampu LED.....	52
4.1.1 Grafik temperature pipa kalor akibat perubahan variasi daya <i>heater</i> ... 53	53
4.1.2 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 22,06 Watt	53
4.1.3 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 29,57 Watt	54
4.1.4 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 42,26 Watt	54
5.2.5 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 54,95 Watt	55
5.2.6 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 67,55 Watt	55
5.2.7 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 86,4 Watt	56
5.2.8 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 119,31 Watt	56
5.2.9 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 143,9 Watt	57
5.2.10 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 172,7 Watt	57
5.2.11 Grafik temperature pipa kalor pada daya <i>heater</i> 195,7 watt.....	58
4.2.12 Grafik <i>temperature steady</i>	58
4.2.13 Hambatan <i>thermal</i> pipa kalor sebagai pendingin lampu LED	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA.....	63
----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar3. 1 Desain pipa kalor jenis pulsating	36
Gambar3. 2 Komponen pengujian lampu led	36
Gambar3. 3 Penempatan termokopel	37
Gambar3. 4 Skema pengujian alat pendingin lampu LED menggunakan pipa kalor pulsating	38
Gambar3. 6 Flowchart.....	39
Gambar3. 7 Pipa kapiler.....	41
Gambar3. 8 Tube Cuter	41
Gambar3. 9 Tube bender	42
Gambar3. 10 Copper tube expander.....	42
Gambar3. 11 Blender las welding	43
Gambar3. 12 Tang ampere	44
Gambar3. 13 Termo Kopel.....	44
Gambar3. 14 AC Voltage Regulator.....	45
Gambar3. 15 Power Supply	45
Gambar3. 16 Casing data akuisisi	46
Gambar3. 17 Modul Data Akuisisi Untuk Temperatur	46
Gambar3. 18 Heater	47
Gambar3. 19 Fan.....	47
Gambar3. 20 Radiator	48
Gambar3. 21 Water block.....	48
Gambar3. 22 Pompa.....	49
Gambar3. 23 Heat pipe	49
Gambar3. 24 Thermoelektrik	50
Gambar 4. 1 Grafik temperature pipa kalor	53
Gambar 4. 2 Grafik temperature pipa kalor pada daya 22,06 Watt.....	53
Gambar 4. 3 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 29,57 Watt.....	54
Gambar 4. 4 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 42,26 Watt.....	54
Gambar 4. 5 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 54,95 Watt.....	55

Gambar 4. 6 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 67,55 Watt.....	55
Gambar 4. 7 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 86,4 Watt.....	56
Gambar 4. 8 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 119,31 Watt.....	56
Gambar 4. 9 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 143,9 Watt.....	57
Gambar 4. 10 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 172,7 Watt.....	57
Gambar 4. 11 Grafik temperature pipa kalor pada daya heater 195,7 Watt.....	58
Gambar 4. 12 Temperatur steady evaporator dan kondensor.....	58
Gambar 4. 13 Grafik perubahan hambatan termal.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kisaran suhu kerja fluida kerja pipa kalor.....	12
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan.....	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu LED adalah jenis lampu yang memanfaatkan dioda semikonduktor untuk menghasilkan cahaya. Penggunaannya sangat luas, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga industri. Di rumah tangga, lampu LED sering digunakan untuk menerangi ruangan, sedangkan dalam industri, LED diterapkan pada berbagai perangkat elektronik dan otomotif, seperti layar televisi dan lampu kendaraan. Walaupun harganya cenderung tinggi, lampu LED lebih disukai karena kemampuannya menghasilkan cahaya yang lebih terang dan konsumsi daya yang rendah, sehingga dapat menghemat energi listrik. Chip On Board (COB) adalah jenis lampu LED yang populer untuk penerangan karena menghasilkan cahaya terang dengan tegangan rendah. Namun, meskipun efisien dalam pencahayaan, lampu LED dapat menghasilkan panas dari chip-nya yang bisa mengurangi kinerjanya atau bahkan merusak lampu tersebut. (Rahmat Hidayat, 2017).

Suhu operasi ideal dari lampu LED dapat bervariasi tergantung pada jenis dan desain lampu yang digunakan. Namun, secara umum, suhu operasi ideal dari LED biasanya berkisar antara 25°C hingga 45°C. Suhu di luar rentang ini dapat mempengaruhi kinerja dan umur pakai lampu (Tsao, Jen-Tsung, and Chun-Han Lin, 2008). Untuk itu diperlukan sistem pendingin yang mampu menurunkan suhu operasional hingga mencapai suhu optimal. Lampu LED memerlukan pendinginan agar suhunya tetap dalam batas yang aman untuk memastikan kinerja optimalnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu mekanisme pendinginan yang efektif, seperti teknologi pipa kalor, untuk menjaga suhu operasional tetap stabil dan optimal. Saat ini, pipa kalor telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam pengembangan sistem manajemen termal untuk peralatan listrik. Hal ini disebabkan kemampuan pipa kalor yang dapat melakukan pemindahan panas lebih cepat dibandingkan dengan konduktor biasa.

Pulsating Heat Pipe adalah teknologi penghantar kalor yang memanfaatkan pipa yang terbuat dari bahan konduktor panas seperti aluminium, tembaga, atau tembaga berlapis nikel dan diisi dengan cairan khusus untuk mentransfer panas dari evaporator ke kondensor. Sebagai salah satu varian pipa kalor, *Pulsating Heat Pipe* terus mengalami inovasi meskipun telah banyak diterapkan. Kelebihan teknologi ini adalah tidak memerlukan wick dan menggunakan pipa kapiler dengan diameter kecil, sehingga proses produksinya menjadi lebih mudah dan biaya dapat dihemat.

Kim dkk mengamati karakteristik pipa panas berdenyut yang digunakan untuk lampu LED. Lima fluida kerja etanol, FC-72, R-123, air, dan aseton dipilih sebagai pembanding. *Pulsating heat pipe* terbuat dari tabung tembaga dengan diameter internal 2,1 mm, 26 lilitan. Sumber kalor bervariasi berupa pemanas listrik dan serangkaian sirip pendingin dipasang pada *pulsating heat pipe*. Untuk penyelarasan bagian pemanas di bagian bawah, rasio pengisian optimum (volume fluida cair terhadap volume total) sekitar 50% untuk sebagian besar fluida dan air menunjukkan kinerja perpindahan panas tertinggi.

Dengan merujuk pada latar belakang sebelumnya, penulis skripsi ini memilih untuk mengeksplorasi topik penggunaan pipa kalor jenis *pulsating* sebagai sistem pendingin untuk lampu LED.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan diatas penulis mengambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja pipa kalor jenis *pulsating* dalam mempertahankan suhu operasional lampu LED pada berbagai kondisi pengujian.
2. Bagaimana hasil pengujian penggunaan *Pulsating Heat Pipe* pada lampu LED.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini batasan masalah sistem pendinginan di uji pada lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang digantikan dengan heater sebagai simulator *Light Emission Diode* (LED).

Pengujian dilakukan hanya dengan mengamati kinerja temperature dari pipa kalor terhadap beban kalor yang diberikan oleh heater.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kinerja dari sistem pendingin jenis pulsating pada lampu *Light Emitting Diode* (LED).
2. Mengukur perbedaan suhu antara lampu LED yang menggunakan pipa kalor jenis pulsating dengan yang tidak menggunakan dalam kondisi pengoprasian normal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari pengujian terhadap alat pendingin lampu *Light Emitting Diode* (LED) menggunakan pipa kalor jenis pulsating atau *Pulsating Heat Pipe* (PHP) pada sisi dingin adalah mendapatkan wawasan baru dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja pipa kalor dan *Pulsating Heat Pipe* (PHP) dalam pendinginan lampu *Light Emitting Diode* (LED).

1.5.1 Bagi penulis

- a. Meningkatkan pemahaman tentang kinerja sistem pendingin pipa kalor.
- b. Meningkatkan pengetahuan tentang jenis sistem pendingin, termasuk penggunaan sistem pipa kalor selain sistem kompresi uap.
- c. Meningkatkan pemahaman tentang sistem pendingin yang digunakan untuk melepas kalor.

1.5.2 Bagi masyarakat

Adapun manfaat yang di dapat dari pengujian ini yaitu kontribusi dalam pengembangan teknologi pendinginan yang ramah lingkungan, terutama dalam konteks penerapan lampu LED yang semakin luas digunakan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai pengujian pipa kalor jenis Pulsating Heat Pipe sebagai pendingin lampu LED, maka dapat disimpulkan:

1. Sebuah prototipe pendingin untuk lampu LED dibuat menggunakan struktur pipa kalor jenis pulsating dengan tipe *close loop*. Pipa kapiler berbahan tembaga dengan diameter dalam 1,6mm dan diameter luar 33,1mm ini dibentuk dalam pola spiral atau serpentine yang melingkari sebuah area dengan rongga di tengahnya. Desain spiral ini memungkinkan pemanfaatan area permukaan yang lebih luas untuk perpindahan panas yang efisien. Pipa ini berfungsi sebagai jalur aliran cairan kerja (*working fluid*) yang akan menguap pada bagian yang panas (evaporator) dan mengalami kondensasi pada bagian yang dingin (kondensor).
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pipa kalor mampu mempertahankan temperatur simulator lampu LED sebesar 52,66 °C pada beban kalor 22,06 watt dengan hambatan thermal sebesar 1,09 °C/W. Pada beban 29,57 watt, 42,26 watt, 54,95 watt, 67,55 watt, 86,4 watt, 119,31 watt, 143,9 watt, 172,7 watt, dan 195,7 watt mampu mempertahankan masing-masing temperatur simulator lampu LED sebesar 50,35 °C, 49,93 °C, 50,16 °C, 49,44 °C, 49,59 °C, 52,77 °C, 55,04 °C, 58,67 °C dan 62,84 °C. Demikian juga berturut-turut hambatan thermal yang dihasilkan yakni 1,09 °C/W, 0,73 °C/W, 0,48 °C/W, 0,35 °C/W, 0,28 °C/W, 0,22 °C/W, 0,17 °C/W, 0,15 °C/W, 0,14 °C/W, dan 0,14 °C/W. Sehingga semakin besar beban kalor yang diberikan hambatan thermal pada pipa kalor jenis pulsating semakin turun.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat saya sampaikan penelitian mengenai sistem manajemen termal motor listrik menggunakan *pulsating heat pipe*, yaitu:

1. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan agar desain prototipe *Pulsating Heat Pipe* disesuaikan dengan aplikasi nyata pada lampu LED dalam berbagai kondisi lingkungan. Penyesuaian ini penting untuk memastikan bahwa kinerja pendinginan tetap optimal saat digunakan dalam situasi sehari-hari. Dengan menguji dan mengembangkan prototipe dalam kondisi yang lebih mendekati penggunaan nyata, diharapkan teknologi ini dapat memberikan efisiensi dan efektivitas yang lebih tinggi, serta memperpanjang umur pakai lampu LED di berbagai lingkungan operasional.
2. Penelitian berikutnya dapat mengeksplorasi penggunaan berbagai jenis fluida kerja selain metanol. Fluida dengan titik didih yang berbeda mungkin dapat meningkatkan efisiensi sistem pendingin dalam skenario tertentu.
3. Pengujian jangka panjang diperlukan untuk mengevaluasi ketahanan dan umur pakai dari *Pulsating Heat Pipe* saat digunakan secara terus-menerus dalam lampu LED. Ini penting untuk memastikan bahwa sistem pendingin dapat diandalkan dalam jangka waktu yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- I Wayan Sugita, B. A. (2022). Analisa Pipa Kalor Berdenyut. *JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, 7, 13-20.
- Nandy Putra, W. N. (2014). *Teknologi Pipa Kalor Teori, Desain dan Aplikasi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Rahmat Hidayat, G. E. (2017). STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGIN PASIF. *jurnal ilmiah teknik mesin*, 22-28.
- Zhu, D., Cheng, Q., & Sun, Y. (2007). Junction temperature measurement of high-power light-emitting diodes using the forward voltage method. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 40(24), 7469-7474.