

**Pembuatan dan Uji Kinerja *Dual Condenser Multi Evaporator Two-Phase Loop Thermosyphon* Untuk Pendingin Baterai**

*The construction and Performance Examination of Two-Phase Multi-Evaporator Loop Thermosyphon for Battery Cooling*

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nama: Andrew Suryadeva**

**NPM: 19303001**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN  
JULI 2024**

## LEMBAR PENGESAHAN

### Pembuatan dan Uji Kinerja *Dual Condenser Multi Evaporator Two-Phase Loop Thermosyphon* Untuk Pendingin Baterai



Nama: Andrew Suryadeva  
NPM: 193030051

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Bambang Ariantara, M.T.

Pembimbing Pendamping

Ir. Toto Supriyono, M.T.

# DAFTAR ISI

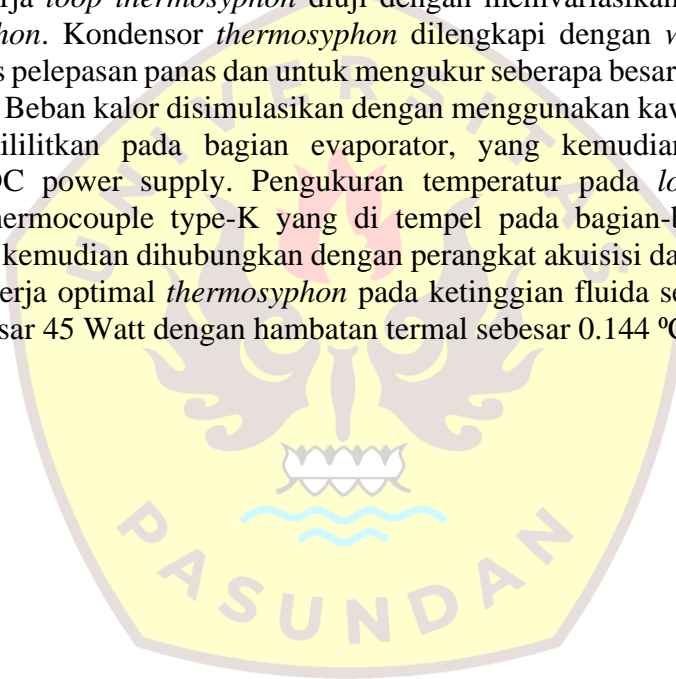
SURAT PERNYATAAN .....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	ii
LEMAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1. Latar Belakang .....	1
2. Rumusan Masalah .....	1
3. Tujuan .....	2
4. Manfaat .....	2
5. Lingkup Penelitian .....	2
6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	4
1. Prinsip Kerja Termosifon.....	4
2. Jenis-Jenis Termosifon.....	5
3. Analisis Tahanan Termal Termosifon.....	7
4. Parameter Performa Termosifon.....	9
5. Baterai Lithium-Ion.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
1. <i>Loop Thermosyphon</i> .....	17
2. Sistem Instrumentasi .....	17
3. Setup Eksperimen .....	19
4. Rancangan Eksperimen Pengujian.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	23
1. Dual Condenser Multi Evaporator Two Phase <i>Loop Thermosyphon</i> .....	23
2. Setup Eksperimen .....	25
3. Pelaksanaan Eksperimen.....	27
4. Analisis Tahanan Thermal Untuk Kemiringan 0 Derajat.....	29
5. Analisis Tahanan Thermal Untuk Kemiringan 5, 10, dan 15 Derajat.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49

1. Kesimpulan .....	49
2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	50
LAMPIRAN.....	54
1. Pengolahan data .....	54
2. Gambar Kerja.....	57



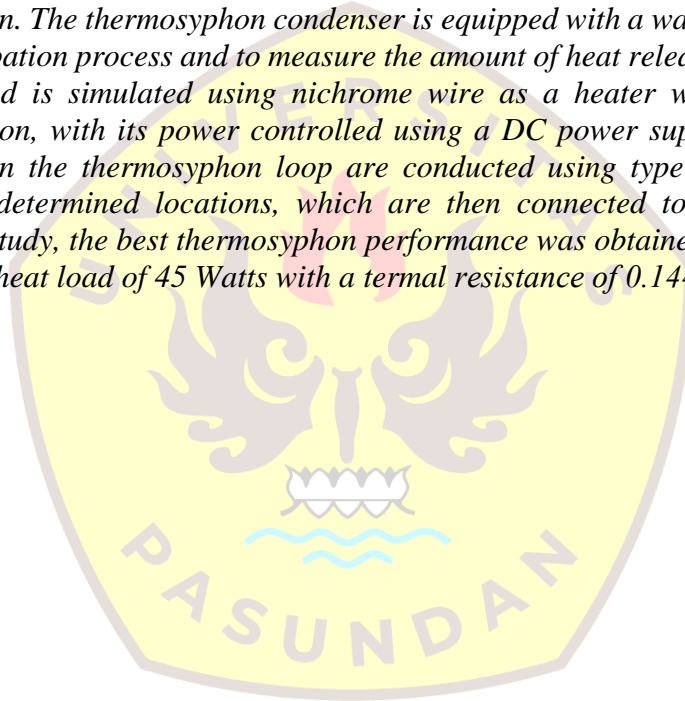
## ABSTRAK

Setiap baterai mengalami proses pembangkitan kalor yang terjadi pada saat pemakaian (discharging) maupun pengisian (charging) baterai, kalor yang dibangkitkan oleh baterai menyebabkan kenaikan temperatur kerja baterai, idealnya baterai lithium ion memiliki temperatur kerja pada rentang 20-50 °C. Temperatur kerja baterai yang terlalu tinggi dapat mengurangi kapasitas baterai, mempersingkat masa pakai baterai, dan dalam keadaan ekstrim, dapat memicu kebakaran atau ledakan yang membahayakan penggunaannya maupun orang di sekitar. Tidak hanya itu, api yang disebabkan oleh terbakarnya baterai lithium-ion sangatlah sulit untuk dipadamkan. Untuk mencegah hal-hal tersebut, temperatur kerja baterai perlu dibatasi dengan menggunakan metode pembuangan panas yang efektif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sebuah prototipe multi evaporator *loop thermosyphon* dengan kondensor ganda yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh kemiringan *thermosyphon* terhadap kinerjanya. Kinerja *loop thermosyphon* diuji dengan memvariasikan ketinggian fluida kerja *thermosyphon*. Kondensor *thermosyphon* dilengkapi dengan *water jacket* untuk membantu proses pelepasan panas dan untuk mengukur seberapa besar kalor yang dilepas ke air pendingin. Beban kalor disimulasikan dengan menggunakan kawat nikelin sebagai pemanas dan dililitkan pada bagian evaporator, yang kemudian dayanya diatur menggunakan DC power supply. Pengukuran temperatur pada *loop thermosyphon* menggunakan thermocouple type-K yang di tempel pada bagian-bagian yang telah ditentukan, yang kemudian dihubungkan dengan perangkat akuisisi data. Pada penelitian ini diperoleh kinerja optimal *thermosyphon* pada ketinggian fluida sebesar 70 mm dan beban kalor sebesar 45 Watt dengan hambatan termal sebesar 0.144 °C/W.



## **ABSTRACT**

*Each battery undergo a heat generation process that occurs during both discharging and charging of the battery. The heat generated by the battery causes an increase in the operating temperature of the battery. Ideally, lithium-ion batteries should have an operating temperature in the range of 20-50 °C. Operating the battery at too high a temperature can reduce battery capacity, shorten battery life, and in extreme cases, can trigger fires or explosions that endanger users and those around them. Moreover, fires caused by lithium-ion battery combustion are extremely difficult to extinguish. To prevent these occurrences, the battery's operating temperature needs to be limited using effective heat dissipation methods. The objective of this research is to design and create a prototype of a multi-evaporator loop thermosyphon with dual condensers aimed at reducing the influence of the thermosyphon's inclination on its performance. The performance of the loop thermosyphon is tested by varying the working fluid height of the thermosyphon. The thermosyphon condenser is equipped with a water jacket to assist in the heat dissipation process and to measure the amount of heat released to the coolant water. Heat load is simulated using nichrome wire as a heater wound around the evaporator section, with its power controlled using a DC power supply. Temperature measurements on the thermosyphon loop are conducted using type-K thermocouples attached to predetermined locations, which are then connected to data acquisition devices. In this study, the best thermosyphon performance was obtained at a fluid height of 70 mm and a heat load of 45 Watts with a thermal resistance of 0.144 °C/W.*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1. Latar Belakang

Baterai merupakan salah satu komponen terpenting dari sebuah mobil listrik dan memiliki fungsi sebagai sumber energi dan media penyimpanan energi. Baterai Lithium-Ion atau sering disebut Li-Ion adalah jenis baterai yang paling umum digunakan dalam kendaraan listrik karena baterai jenis ini memiliki densitas energi yang besar, memungkinkan kendaraan untuk menempuh jarak yang cukup jauh. Dalam proses pengisian (charging) dan pemakaian (discharging), baterai akan mengalami pembangkitan kalor yang akan meningkatkan temperatur kerja baterai. Temperatur kerja baterai yang terlalu tinggi dapat menurunkan kapasitas dan umur baterai, dan dalam situasi ekstrem dapat memicu terjadinya kebakaran atau ledakan yang dapat membahayakan penggunaannya. Oleh karena itu, diperlukan sebuah metode pelepasan kalor yang efektif dari baterai ke sekeliling agar baterai dapat bekerja pada temperatur yang optimal.

*Loop thermosyphon* merupakan *loop* heat pipe tanpa sumbu kapiler, sehingga proses pembuatannya cukup mudah. Seperti halnya *loop* heat pipe, *Loop thermosyphon* memiliki kapasitas pemindahan kalor yang tinggi, ukuran yang ringkas, bobot yang ringan, dan tidak membutuhkan pasokan energi eksternal, sehingga cocok digunakan sebagai pendingin baterai kendaraan listrik. *Loop thermosyphon* sudah banyak diterapkan pada pendinginan objek-objek yang diam. Namun demikian, *thermosyphon* memiliki keterbatasan, yaitu posisi kondensor harus berada di atas evaporator. Sehingga, penerapannya pada kendaraan listrik perlu dipertimbangkan. Untuk menerapkan *loop thermosyphon* sebagai pendingin baterai kendaraan listrik perlu, dilakukan berbagai kajian. Pada penelitian ini akan dilakukan kaji eksperimental untuk menentukan kinerja *loop thermosyphon* sebagai pendingin baterai.

## 2. Rumusan Masalah

Untuk menentukan kinerja *loop* termosifon diperlukan sebuah prototipe yang memungkinkan untuk dilakukan pengukuran temperatur pada bagian-bagian *loop thermosyphon* dan kalor yang dipindahkan (beban kalor). Dalam penelitian ini, kinerja *loop* termosifon ini ditentukan secara eksperimental. Berikut ini adalah beberapa permasalahan yang berkaitan dengan penelitian ini.

- Pembuatan prototipe multi evaporator *loop thermosiphon* untuk mengurangi pengaruh sudut kemiringan *thermosyphon* dan untuk dilakukan pengujian.
- Metode pengujian, sistem instrumentasi serta set up eksperimen untuk mengukur berbagai variabel yang diperlukan untuk menentukan kinerja *loop thermosyphon* yang berupa tahanan termal.

### **3. Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah untuk;

- Membuat prototipe *loop thermosyphon* dengan dua buah kondensor dan tiga buah evaporator.
- Menentukan kinerja prototipe multi evaporator *loop thermosyphon* pada berbagai sudut kemiringan secara eksperimental.

### **4. Manfaat**

Dari skripsi ini dihasilkan data kinerja termosifon multi evaporator meliputi:

- Kapasitas beban kalor.
- Tahanan termal.
- Temperatur kerja.

Data ini dapat digunakan sebagai data acuan untuk penelitian selanjutnya atau untuk perancangan sistem pendinginan baterai menggunakan termosifon.

### **5. Lingkup Penelitian**

Dalam skripsi ini, telah dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe *loop thermosyphon* dengan dua buah kondensor dan tiga buah evaporator untuk pendinginan baterai. Kemudian pada ketiga buah evaporator tersebut dipasang pemanas listrik jenis koil yang dayanya diatur menggunakan DC *power supply*. Selanjutnya dibuat sistem instrumentasi untuk mengukur temperatur dan beban kalor. Setelah semuanya siap kemudian dilakukan pengujian kinerja *loop thermosyphon* pada berbagai sudut kemiringan.

### **6. Sistematika Penulisan**

#### **BAB I PENDAHULUAN**



Bab ini berisi perihal latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan

## **BAB II STUDI LITERATUR**

Bab ini memiliki isi tentang eksaminasi penelitian dari penelitian-penelitian termosifon yang ada di jurnal-jurnal terverifikasi, dan berisi tentang informasi-informasi tentang termosifon secara teoritis.

## **BAB III METODOLOGI**

Bab ini memuat prosedur percobaan yang dilakukan, serta analisis dari berbagai data yang diperoleh selama melakukan eksperimen termosifon.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

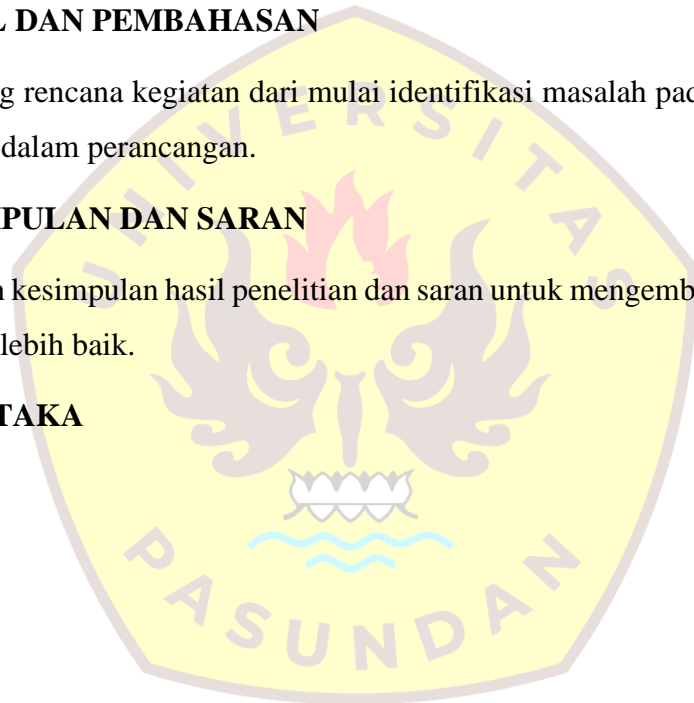
Berisikan tentang rencana kegiatan dari mulai identifikasi masalah pada anggaran biaya yang digunakan dalam perancangan.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk mengembangkan penelitian ke jenjang yang lebih baik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dibuat sebuah multi evaporator *loop thermosyphon* dengan dua buah condenser dan tiga buah evaporator dengan fluida kerja berupa air suling (aquades). Prototipe ini telah diuji kinerjanya secara eksperimental dengan hasil sebagai berikut:

- a. Untuk sudut kemiringan 0 derajat ketinggian fluida kerja yang memberikan tahanan termal terendah yaitu,  $0.144 \text{ }^\circ\text{C/W}$  adalah 70 mm.
- b. Pada eksperimen untuk mengetahui pengaruh kemiringan terhadap kinerja *thermosyphon*, didapat *thermosyphon* dengan ketinggian fluida kerja setinggi 70 mm memiliki kinerja terbaik pada sudut kemiringan 5 derajat sebesar  $0.110 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . Namun demikian salah satu evaporatornya mencapai temperatur  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  pada sudut kemiringan 15 derajat. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya fluida kerja yang menempati evaporator tersebut pada saat dimiringkan.
- c. *Loop Thermosyphon* dengan fluida kerja setinggi 170 mm tahanan termalnya, tidak banyak dipengaruhi oleh sudut kemiringannya, namun nilai tahanan termalnya masih lebih tinggi dibandingkan dengan ketinggian fluida kerja 70 mm.

### 2. Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk memperoleh rancangan *loop thermosyphon* yang sesuai untuk digunakan sebagai metode pendinginan baterai kendaraan listrik. Penelitian berikutnya disarankan untuk meliputi penelitian mengenai pengaruh jenis fluida, diameter, bentuk evaporator, jenis kondensor yang berbeda serta panjang lintasan, terhadap kinerja multi evaporator *loop thermosyphon*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Naresh and C. Balaji, "Thermal performance of an internally finned two phase closed *thermosyphon* with refrigerant R134a: A combined experimental and numerical study," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 126, no. November 2017.
- [2] B. Suhendra, *Thermosyphon Sebagai Alat Recovery Panas*. 2010.
- [3] H. R. Zahedi, N. M. Adam, S. M. Sapuan, and M. M. H. M. Ahmad, "Optimal design for a *thermosyphon* solar water heater convenient for Malaysia," *Multidiscip. Model. Mater. Struct.*, vol. 5, no. 3, pp. 247–250, 2009.
- [4] N. I. Ncaba, N. Emmanuel Wiykiynyuy, T. C. Jen, and K. Ukoba, "Effect of *Thermosyphon* Limits on Design of A Taper *Thermosyphon* Drill for Dry Drilling Operation," *Proc. 2020 IEEE 11th Int. Conf. Mech. Intell. Manuf. Technol. ICMIMT 2020*, pp. 118–124, 2020.
- [5] N. Lamaison, J. B. Marcinichen, S. Szczukiewicz, J. R. Thome, and P. Beucher, "Passive Two-Phase *Thermosyphon Loop* Cooling System for High-Heat-Flux Servers," *Interfacial Phenom. Heat Transf.*, vol. 3, no. 4, pp. 369–391, 2015.
- [6] A. Wagner, "Review of *Thermosyphon* Applications," *US Army Eng. Res. Dev. Cent.*, no. ERDC/CRREL TR-14-1, pp. 1–46, 2014.
- [7] M. B. H. Mantelli, *Thermosyphons and Heat Pipes: Theory and Applications*. 2021.
- [8] N. Lamaison, C. L. Ong, J. B. Marcinichen, and J. R. Thome, "Two-Phase *Thermosyphon* Cooling of Datacenters," pp. 157–219, 2018.
- [9] W. Srimuang, S. Rittidech, and B. Bubphachot, "Heat transfer characteristics of a vertical flat *thermosyphon* (VFT)," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 9, pp. 2548–2554, 2009.
- [10] M. Nitsche and R. O. Gbadamosi, *Design of Thermosiphon Reboilers*. 2016.
- [11] A. Faghri, "Heat pipes and *thermosyphons*," *Handb. Therm. Sci. Eng.*, pp. 2163–2211, 2018.
- [12] P. Li and J. Liu, "Self-driven electronic cooling based on *thermosyphon* effect of room temperatur liquid metal," *J. Electron. Packag. Trans. ASME*, vol. 133, no. 4, pp. 1–7, 2011. 41

- [13] Z. Xu, Y. Zhang, B. Li, and J. Huang, "Modeling the phase change process for a twophase closed *thermosyphon* by considering transient mass transfer time relaxation parameter," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 101, pp. 614–619, 2016.
- [14] M. Mameli, D. Mangini, G. F. T. Vanoli, L. Araneo, S. Filippeschi, and M. Marengo, "Advanced multi-evaporator *loop thermosyphon*," *Energy*, vol. 112, pp. 562–573, 2016,
- [15] F. Agostini et al., "Double-*loop thermosyphon* for electric components cooling," *IEEE Trans. Components, Packag. Manuf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 223–231, 2014.
- [16] G. C. Vieira, M. Juan Pablo Florez, and M. B. H. Mantelli, "Study of a *loop thermosyphon* evaporator for termal control of aircrafts," *J. Heat Transfer*, vol. 141, no. 9, pp. 1–8, 2019.
- [17] F. H. Gandoman et al., "Concept of reliability and safety assessment of lithium-ion batteries in electric vehicles: Basics, progress, and challenges," *Appl. Energy*, vol. 251, no. May, p. 113343, 2019.
- [18] R. E. Tudoroiu, M. Zaheeruddin, N. Tudoroiu, and S. M. Radu, "Soc estimation of a rechargeable li-ion battery used in fuel cell hybrid electric vehicles— comparative study of accuracy and robustness performance based on statistical criteria. Part ii: Soc estimators," *Batteries*, vol. 6, no. 3, pp. 1–36, 2020.
- [19] S. L. Epic Power Converters, "Battery State of Charge calculation with EPC Converters," 2020.
- [20] S. C. Nagpure, B. Bhushan, and S. S. Babu, "Multi-Scale Characterization Studies of Aged Li-Ion Large Format Cells for Improved Performance: An Overview," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 160, no. 11, pp. A2111–A2154, 2013, doi: 10.1149/2.001311jes.
- [21] G. Zubi, R. Dufo-López, M. Carvalho, and G. Pasaoglu, "The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, no. October 2017, pp. 292–308, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.002.
- [22] T. I. C. Buidin and F. Mariasiu, "Battery termal management systems: Current status and design approach of cooling technologies," *Energies*, vol. 14, no. 16,

2021.

- [23] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M. Y. Chow, "Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 4–16, 2013. 42
- [24] C. Liu, Y. Wang, and Z. Chen, "Degradation model and cycle life prediction for lithiumion battery used in hybrid energy storage system," *Energy*, vol. 166, pp. 796–806, 2019.
- [25] "Li-ion Battery Temperatur Trends During Charge and Discharge".
- [26] KangTaewoo, Park Seongyun, Lee Pyeong-yeon, Cho In-ho, Yoo Kisoo, and Kim Jonghoon, "Termal Analysis of a Parallel-Configured Battery," *Electronics*, vol. 9, 2020.
- [27] X. Tang et al., "A fast estimation algorithm for lithium-ion battery state of health," *J. Power Sources*, vol. 396, no. June, pp. 453–458, 2018.
- [28] A. Wang, S. Kadam, H. Li, S. Shi, and Y. Qi, "Review on modeling of the anode solid electrolyte interphase (SEI) for lithium-ion batteries," *npj Comput. Mater.*, vol. 4, no. 1, 2018.
- [29] J. Zhang, X. G. Yang, F. Sun, Z. Wang, and C. Y. Wang, "An online heat generation estimation method for lithium-ion batteries using dual-temperatur measurements," *Appl. Energy*, vol. 272, no. May, p. 115262, 2020.
- [30] V. Ramadesigan, P. W. C. Northrop, S. De, S. Santhanagopalan, R. D. Braatz, and V. R. Subramanian, "Modeling and Simulation of Lithium-Ion Batteries from a Systems Engineering Perspective," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 159, no. 3, pp. R31–R45, 2012.
- [31] F. Meng, J. McNeice, S. S. Zadeh, and A. Ghahreman, "Review of Lithium Production and Recovery from Minerals, Brines, and Lithium-Ion Batteries," *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.*, vol. 42, no. 2, pp. 123–141, 2021. 43
- [32] K. Otsuji et al., "Effect of water management in membrane and cathode catalyst layers on suppressing the performance hysteresis phenomenon in anion-exchange membrane fuel cells," *J. Power Sources*, vol. 522, no. January, p. 230997, 2022.
- [33] Y. Chung and M. S. Kim, "Termal analysis and pack level design of battery termal

- management system with liquid cooling for electric vehicles,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, no. February, pp. 105–116, 2019.
- [34] H. J. Xie, J. Sun, J. G. Li, T. Zhou, S. P. Wei, and Z. H. Yi, “Lithium-Ion Battery Termal Runaway Electro-Termal Triggering Method and Toxicity Analysis,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 701, no. 1, 2021.
- [35] F. Baakes et al., “Unveiling the interaction of reactions and phase transition during termal abuse of Li-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 522, no. January, p. 230881, 2022.
- [36] N. Putra, B. Ariantara, and R. A. Pamungkas, “Experimental investigation on performance of lithium-ion battery termal management system using flat plate *loop* heat pipe for electric vehicle application,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 99, pp. 784–789, 2016.
- [37] M. Kiani, S. Omiddezyani, E. Houshfar, S. R. Miremadi, M. Ashjaee, and A. Mahdavi Nejad, “Lithium-ion battery termal management system with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AgO/CuO nanofluids and phase change material,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 180, p. 115840, 2020, doi: 10.1016/j.appltermaleng.2020.115840.
- [38] A. Afzal, A. D. Mohammed Samee, R. K. Abdul Razak, and M. K. Ramis, “Termal management of modern electric vehicle battery systems (MEVBS),” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 144, no. 4, pp. 1271–1285, 2021.
- [39] N. Putra et al., “Development of a novel thermoelectric module based device for termal stability measurement of phase change materials,” *J. Energy Storage*, vol. 22, no. February, pp. 331–335, 2019.
- [40] N. Aprianingsih, A. Winarta, B. Ariantara, and N. Putra, “Termal performance of Pulsating Heat Pipe on Electric Motor as Cooling Application,” *E3S Web Conf.*, vol. 67, pp. 1–6, 2018.
- [41] N. Putra and B. Ariantara, “Electric motor termal management system using L-shaped flat heat pipes,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 126, pp. 1156–1163, 2017. 44
- [42] S. Supriadi, N. Putra, B. Ariantara, Sunaryo, and D. D. Rahmanto, “Fabrication of LotusType Porous Copper Using Slip Casting and Sintering Techniques for Heat Pipe Applications,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 819, pp. 601–605, 2016.
- [43] B. Ariantara, N. Putra, and S. Supriadi, “Battery termal management system using

*loop* heat pipe with LTP copper capillary wick,” IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 105, no. 1, 2018.

- [44] H. Zhou, F. Zhou, L. Xu, J. Kong, and QingxinYang, “Termal performance of cylindrical Lithium-ion battery termal management system based on air distribution pipe,” Int. J. Heat Mass Transf., vol. 131, pp. 984–998, 2019.

