

**Kaji Eksperimental Kinerja *Multi Evaporator Loop
Thermosyphon* Untuk Pendinginan Baterai**

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Muhamad Haykal Andalusia

NPM: 183030024



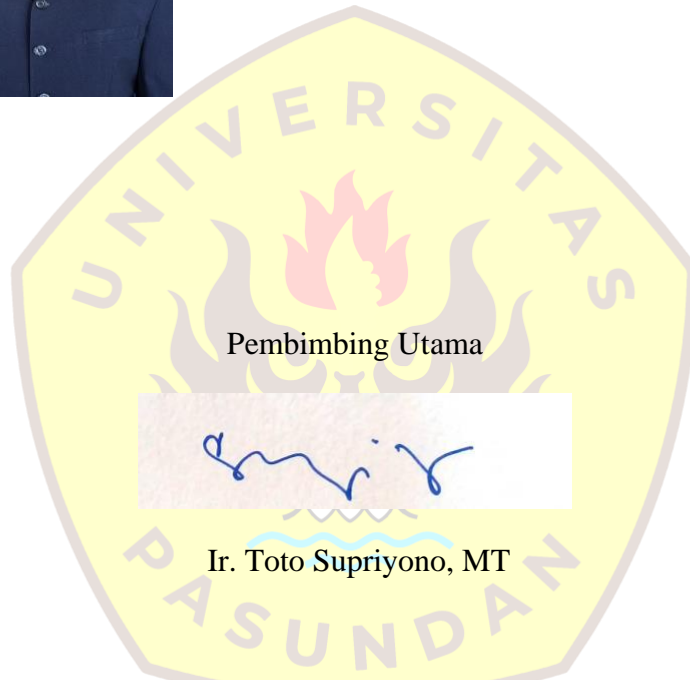
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Kaji Eksperimental Kinerja *Multi Evaporator Loop Thermosyphon* Untuk Pendinginan Baterai



Nama: Muhamad Haykal Andalusia
NPM: 183030024



Pembimbing Utama

A handwritten signature in blue ink on a white rectangular background, which is placed over the central part of the Universitas Pasundan logo.

Ir. Toto Supriyono, MT

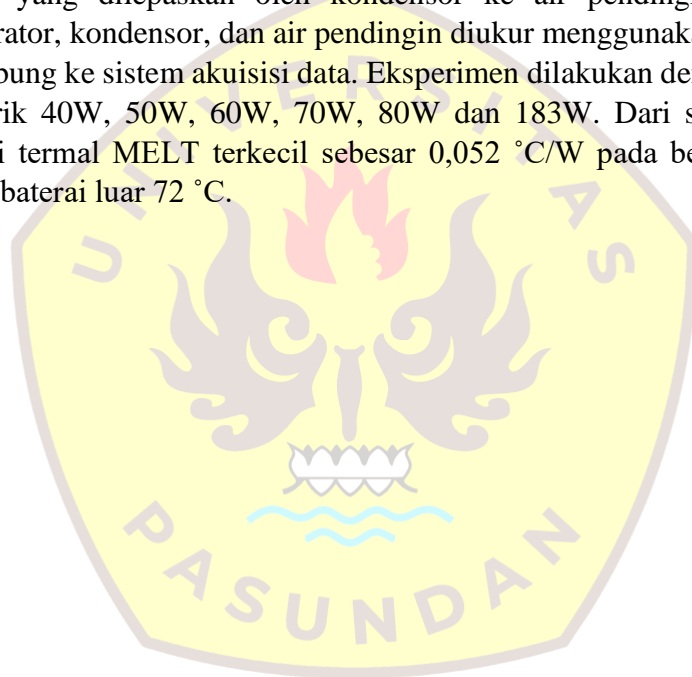
Pembimbing Pendamping

A handwritten signature in blue ink on a white rectangular background, which is placed below the Pembimbing Pendamping text.

Dr. Ir. Bambang Ariantara, MT

ABSTRAK

Setiap baterai akan membangkitkan kalor, baik saat pengisian (*charging*) maupun pemakaian (*discharging*) sehingga temperatur kerjanya meningkat. Temperatur pengoperasian baterai yang terlalu tinggi dapat mengurangi kapasitas baterai, mempersingkat masa pakai baterai, dan dalam keadaan ekstrim, dapat memicu ledakan atau kebakaran yang dapat mengakibatkan kecelakaan serius. Untuk membatasi temperature kerja baterai, diperlukan metode pembuangan kalor yang efektif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja Multi Evaporator Loop Thermosyphon (MELT) sebagai pendingin baterai. Prototipe MELT diuji menggunakan simulator baterai berbahan aluminium yang dipasang pada evaporator. Pembangkitan panas pada baterai disimulasikan dengan memasang pemanas listrik pada simulator baterai yang dayanya diatur melalui DC Power Supply. Bagian kondensor loop termosifon dilengkapi dengan jaket air. Beban kalor thermosiphon diperoleh melalui pengukuran panas yang dilepaskan oleh kondensor ke air pendingin di water jacket. Temperatur evaporator, kondensor, dan air pendingin diukur menggunakan termokopel tipe-k 0.3 mm yang terhubung ke sistem akuisisi data. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan daya pemanas listrik 40W, 50W, 60W, 70W, 80W dan 183W. Dari studi eksperimen ini diperoleh resistansi termal MELT terkecil sebesar 0,052 °C/W pada beban panas 131,1W, dengan temperatur baterai luar 72 °C.



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| SURAT PERNYATAAN | i |
| SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | ii |
| Lembar Pengesahan | iii |
| Kata Pengantar..... | iv |
| Daftar Isi | v |
| Daftar Gambar | vii |
| Daftar Tabel..... | viii |
| ABSTRAK..... | ix |
| abstract..... | x |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 2 |
| 1.5 Lingkup Penelitian..... | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II STUDI LITERATUR | 4 |
| 2.1 Prinsip Kerja Termosifon | 4 |
| 2.2 Jenis-Jenis Termosifon | 5 |
| 2.2.1 <i>Open Thermosyphon</i> | 5 |
| 2.2.2 <i>Closed Thermosyphon</i> | 6 |
| 2.2.3 <i>Loop Thermosyphon</i> | 6 |
| 2.3 Analisis Tahanan Termal Termosifon | 7 |
| 2.3.1 External Thermal Resistance (R_{ex}) | 7 |
| 2.3.2 Conductive Thermal Resistance (R_{cond})..... | 8 |
| 2.3.4 Thermal Resistance of the Evaporator Pool and Condensor Film..... | 8 |
| 2.3.5 Overall thermal resistance | 9 |
| 2.4 Parameter Performa Termosifon..... | 9 |
| 2.5 Baterai Ion Litium..... | 10 |
| 2.5.1 Prinsip Kerja | 10 |
| 2.5.2 Penuaan Baterai Litium Ion | 11 |
| 2.5.3 Kegagalan Baterai Litium Ion | 12 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 2.5.4 | Battery Thermal Management Systems..... | 17 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 22 |
| 3.1 | Perancangan dan Fabrikasi MELT | 22 |
| 3.1.1 | Fabrikasi Prototipe Multievaporator Loop Thermosyphon | 25 |
| 3.1.2 | Proses fabrikasi simulator batre..... | 27 |
| 3.2 | Sistem Instrumentasi..... | 28 |
| 3.3 | Setup Eksperimen | 29 |
| 3.4 | Persiapan Eksperimen..... | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 32 |
| 4.1 | Pelaksanaan Eksperimen | 32 |
| 4.1.1 | Eksperimen Sistem Pendinginan Baterai Menggunakan MELT | 32 |
| 4.1.2 | Eksperimen Pendinginan Baterai Menggunakan Aliran Udara Konveksi Paksa | 36 |
| 4.1.3 | Perbandingan Temperatur Baterai menggunakan MELT dan Konveksi Paksa | 38 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 39 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 39 |
| 5.2 | Saran | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 40 |
| LAMPIRAN | | 45 |
| 1. | Foto-Foto Kegiatan..... | 45 |
| 2. | Gambar Teknik | 47 |
| 3. | Gambar Kerja MELT..... | 48 |
| 4. | Patent MELT..... | 49 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan salah satu komponen terpenting dari mobil listrik karena baterai merupakan sumber energi mobil listrik. Untuk memperoleh jelajah mobil listrik yang cukup jauh diperlukan baterai yang memiliki densitas energi yang sangat tinggi seperti baterai Li-Ion. Setiap baterai akan mengalami pembangkitan kalor, baik pada saat pengisian maupun pada saat pemakaian. Pembangkitan kalor ini akan meningkatkan temperatur kerja baterai. Temperatur kerja baterai yang terlalu tinggi dapat menurunkan kapasitas baterai, umur baterai, dan dalam keadaan ekstrim dapat memicu kebakaran atau ledakan yang menyebabkan kecelakaan serius. Karena itu, temperatur kerja baterai perlu dibatasi dengan cara menyediakan sarana pelepasan kalor yang efektif dari baterai ke sekeliling.

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

1.2 Rumusan Masalah

Kinerja loop termosifon ditentukan oleh tahanan termalnya. Dalam penelitian ini kinerja loop termosifon ditentukan secara eksperimental. Untuk menentukan kinerja Loop Thermosyphon sebagai pendingin baterai ada beberapa hal yang perlu dikaji dan dipertimbangkan sebagai berikut:

- Rancangan prototipe loop termosifon multi evaporator untuk pengujian kinerja.
- Metode pelepasan kalor dari baterai ke bagian evaporator termosifon.
- Jumlah evaporator dan rancangan pemasangan simulator baterai ke evaporator agar terjadi perpindahan kalor yang efektif..
- Simulasi pembangkitan kalor pada baterai.
- Sistem instrumentasi dan set up eksperimen untuk mengukur berbagai variabel yaitu temperatur evaporator, temperatur kondenser, temperatur air pendingin, dan laju aliran volume air pendingin.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- Membuat prototipe multievaporator loop thermosyphon
- Menentukan kinerja prototipe multievaporator loop thermosyphon secara eksperimental

1.4 Manfaat

Dari laporan skripsi ini akan dihasilkan data kinerja termosifon multi evaporator meliputi:

- Kapasitas beban kalor
- Tahanan termal
- Temperatur kerja

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

1.5 Lingkup Penelitian

Dalam laporan skripsi ini akan dilakukan perancangan, pembuatan prototipe termosifon multievaporator untuk pendinginan baterai. Kemudian akan dilakukan eksperimen untuk menentukan kinerja prototipe termosifon ini. Dalam pembuatan protoipe termosifon ini komponen-komponen standar menggunakan komponen yang tersedia di pasar lokal. Proses pembuatan dilakukan di workshop yang mampu melakukan proses *soldering* pipa tembaga. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan.

1.6 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 Thermosiphon yang ada di jurnal-jurnal terverifikasi dan berisi tentang informasi-informasi tentang Thermosiphon secara teoritis.

BAB III METODOLOGI

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

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 tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian

DAFTAR PUSTAKA



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, pp. 281–293, 2018.
- [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 temperature liquid metal," *J. Electron. Packag. Trans. ASME*, vol. 133, no. 4, pp. 1–7, 2011.
- [13] Z. Xu, Y. Zhang, B. Li, and J. Huang, "Modeling the phase change process for a two-phase 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 thermal 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.
- [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.
- [22] T. I. C. Buidin and F. Mariasiu, "Battery thermal 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.
- [24] C. Liu, Y. Wang, and Z. Chen, "Degradation model and cycle life prediction for lithium-ion battery used in hybrid energy storage system," *Energy*, vol. 166, pp. 796–806, 2019.
- [25] R. Xiong, "Battery State of Health Estimation," *Adv. Batter. Manag. Technol. Electr. Veh.*, pp. 95–130, 2018.
- [26] Y. Gao, J. Jiang, C. Zhang, W. Zhang, Z. Ma, and Y. Jiang, "Lithium-ion battery aging mechanisms and life model under different charging stresses," *J. Power Sources*, vol. 356, pp. 103–114, 2017.
- [27] N. Omar *et al.*, *9 - Aging and degradation of lithium-ion batteries*. Elsevier Ltd., 2015.
- [28] M. Fleischhammer, T. Waldmann, G. Bisle, B. I. Hogg, and M. Wohlfahrt-Mehrens, "Interaction of cyclic ageing at high-rate and low temperatures and safety in lithium-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 274, pp. 432–439, 2015.
- [29] "Li-ion Battery Temperature Trends During Charge and Discharge".
- [30] KangTaewoo, Park Seongyun, Lee Pyeong-yeon, Cho In-ho, Yoo Kisoo, and Kim Jonghoon, "Thermal Analysis of a Parallel-Configured Battery," *Electronics*, vol. 9, 2020.

- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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-temperature measurements,” *Appl. Energy*, vol. 272, no. May, p. 115262, 2020.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Y. Chung and M. S. Kim, “Thermal analysis and pack level design of battery thermal management system with liquid cooling for electric vehicles,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, no. February, pp. 105–116, 2019.
- [38] H. J. Xie, J. Sun, J. G. Li, T. Zhou, S. P. Wei, and Z. H. Yi, “Lithium-Ion Battery Thermal Runaway Electro-Thermal Triggering Method and Toxicity Analysis,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 701, no. 1, 2021.
- [39] F. Baakes *et al.*, “Unveiling the interaction of reactions and phase transition during thermal abuse of Li-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 522, no. January, p. 230881, 2022.
- [40] N. Putra, B. Ariantara, and R. A. Pamungkas, “Experimental investigation on performance of lithium-ion battery thermal management system using flat plate loop heat pipe for electric vehicle application,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 99, pp. 784–789, 2016.
- [41] M. Kiani, S. Omiddezyani, E. Houshfar, S. R. Miremadi, M. Ashjaee, and A. Mahdavi Nejad, “Lithium-ion battery thermal management system with Al₂O₃/AgO/CuO nanofluids and phase change material,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 180, p. 115840, 2020.
- [42] A. Afzal, A. D. Mohammed Samee, R. K. Abdul Razak, and M. K. Ramis, “Thermal management of modern electric vehicle battery systems (MEVBS),” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 144, no. 4, pp. 1271–1285, 2021.
- [43] Y. Zhao *et al.*, “Performance of a liquid cooling-based battery thermal management system with a composite phase change material,” *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, no. 6, pp. 4727–4742, 2020.

- [44] N. Putra *et al.*, “Development of a novel thermoelectric module based device for thermal stability measurement of phase change materials,” *J. Energy Storage*, vol. 22, no. February, pp. 331–335, 2019.
- [45] N. Aprianingsih, A. Winarta, B. Ariantara, and N. Putra, “Thermal performance of Pulsating Heat Pipe on Electric Motor as Cooling Application,” *E3S Web Conf.*, vol. 67, pp. 1–6, 2018.
- [46] N. Putra and B. Ariantara, “Electric motor thermal management system using L-shaped flat heat pipes,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 126, pp. 1156–1163, 2017.
- [47] S. Supriadi, N. Putra, B. Ariantara, Sunaryo, and D. D. Rahmanto, “Fabrication of Lotus-Type Porous Copper Using Slip Casting and Sintering Techniques for Heat Pipe Applications,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 819, pp. 601–605, 2016.
- [48] B. Ariantara, N. Putra, and S. Supriadi, “Battery thermal management system using loop heat pipe with LTP copper capillary wick,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 105, no. 1, 2018.
- [49] H. Zhou, F. Zhou, L. Xu, J. Kong, and QingxinYang, “Thermal performance of cylindrical Lithium-ion battery thermal management system based on air distribution pipe,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 131, pp. 984–998, 2019.

