

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Analisis Manajemen *Thermal* Baterai LiFePO₄ Dengan Pendingin *Bubble Generator* Berdasarkan Variasi Kecepatan Motor Listrik

Moh. Bakat Maulidun Noer¹, IGNB Catrawedarma^{2*}, Eli Novita Sari³, IGNA Satria Prasetya. D. Y⁴, Dian Ridlo Pamuji⁵.

^{1,2,3,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, ⁴Program Studi Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember No. KM13, Kawang, Labanasem, Kec. Kabat, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur 68461, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:
thermal management,
bubble generator cooling

ABSTRACT

Thermal runaway is a phenomenon where when the temperature in a lithium-ion battery reaches a critical value, it increases the temperature which in turn causes a further acceleration of the exothermal reaction rate. To anticipate potentially dangerous failures in the battery, the Battery Management System is a system that is often used to avoid damage that may occur to the battery. Tests were conducted with medium and maximum wheel rotation speeds to determine the maximum temperature after cooling. Testing with cooling water is done twice using an electric motor at medium rotation and maximum rotation by testing using a bubble generator. The results of thermal testing on LiFePO₄ batteries with microbubble speed variations get the effect of temperature values at medium speeds the average temperature value on the battery is 13.54° to 23.48° Celsius and the maximum temperature value of the battery is 19.5° Celsius to 30.25° Celsius. While at maximum speed testing the average temperature value on the battery is 16.62° Celsius to 24.94° and the maximum value is 19.5° to 28.25° Celsius. And the calculation of thermal resistance with speed variations get results at medium speed with a value of 1.015° Celsius - 1.07° Celsius and maximum speed with a value of 1.01° Celsius - 1.02° Celsius.

*Corresponding author: ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i1.6602>

Received July 30, 2024; Received in revised form March 15, 2025; Accepted March 15, 2025

Available online March 19, 2025

Pendahuluan

Penggunaan baterai telah menjadi fokus dalam berbagai aplikasi, mulai dari kendaraan listrik hingga penyimpanan energi rumah. Namun, penggunaan baterai yang berlebihan sering kali menyebabkan peningkatan suhu, sehingga dapat mengurangi masa pakai dan efisiensi baterai. menyatakan bahwa suhu baterai yang terlalu panas dapat menimbulkan *thermal runaway* yang dapat mengakibatkan kebakaran. *Thermal runaway* adalah suatu fenomena dimana ketika suhu pada baterai *lithium-ion* mencapai nilai kritis sehingga menaikkan suhu yang pada gilirannya mengarah pada percepatan lebih lanjut dari laju reaksi eksotermal [7]. Untuk mengantisipasi kegagalan dalam baterai yang berpotensi mencelakakan, *Battery Management System* merupakan sistem yang sering digunakan untuk menghindari kerusakan yang mungkin terjadi pada baterai. Terdapat beberapa cara untuk menurunkan suhu baterai, yaitu sistem pendingin menggunakan aliran fluida lebih efektif dibandingkan yang menggunakan udara[1]. Hal ini dikarenakan koefisien perpindahan panas secara konvektif yang baik dan kapasitas panas yang spesifik. Penelitian lain terkait suhu/temperatur baterai juga dilakukan oleh [5] dengan hasil bahwa temperatur sangat mempengaruhi kinerja baterai.

Microbubble generator dipilih untuk mengasilkan gelembung – gelembung kecil yang berfungsi sebagai sistem pendinginan baterai LiFePO₄ pada penilian ini yang berfungsi agar besarnya panas yang dihasilkan mampu diserap secara efektif oleh sistem pendinginan. Intinya semakin besar panas yang dihasilkan, maka keperluan aliran udara dan air pun harus banyak [6]. Variasi kecepatan motor listrik dapat mempengaruhi efisiensi konveksi bagaimana gelembung yang dihasilkan dan disebarkan disekitar baterai LiFePO₄. Dengan aliran konveksi yang lebih baik, efisiensi sistem pendinginan dapat meningkat, menjaga suhu baterai dalam rentang yang aman. Dimana koveksi yang

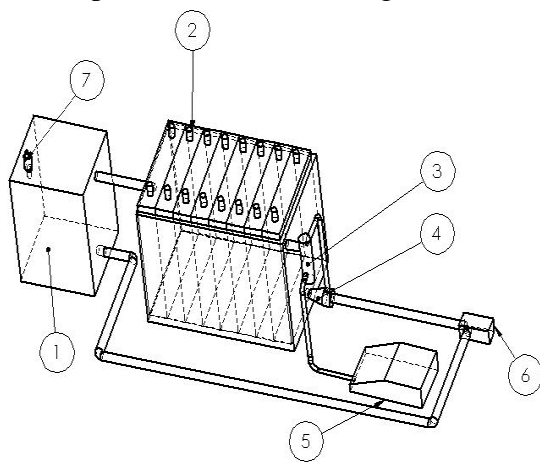
lebih baik diperoleh dari gelembung yang lebih aktif dan dapat meningkatkan perpindahan panas dari baterai ke sistem pendingin [1]. Variasi kecepatan motor listrik juga dapat mempengaruhi peningkatan aliran udara yang dihasilkan. Pada kecepatan motor medium, aliran udara berkurang, sehingga efisiensi pendinginan menurun. Ini dapat menyebabkan peningkatan suhu baterai, yang berpotensi mempengaruhi kinerja dan masa pakai baterai, sedangkan jika motor listrik beroperasi pada kecepatan maksimum, maka aliran udara yang dihasilkan oleh pendingin *bubble* generator biasanya lebih besar. Ini meningkatkan efisiensi konveksi dan membantu menghilangkan panas dari baterai lebih efektif [12].

Maka dari itu tujuan dari penelitian ini dibuat untuk mengetahui untuk mengetahui bagaimana kinerja pendingin baterai dengan *bubble generator* pada berbagai kecepatan motor listrik dan untuk mengetahui kinerja pendingin yang meliputi temperatur maksimum dan panas baterai LiFePO₄ yang diserap sistem pendingin.

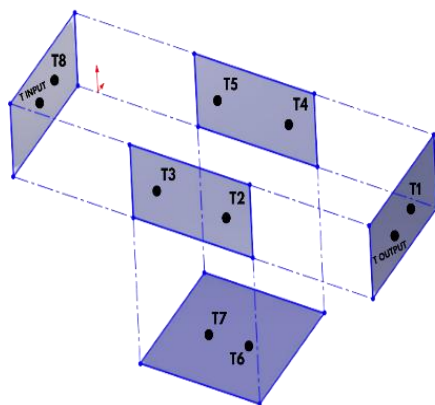
Metode Penelitian

Variasi kecepatan motor listrik pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kinerja pendingin dengan pengaruh kecepatan motor yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan kecepatan putaran roda medium (340 rpm) dan maksimum (613) untuk mengetahui temperatur maksimum setelah diberikan pendingin. Pengujian dengan air pendinginan dilakukan sebanyak 2 kali bergerak diawali dengan mengisi kembali air pendingin, kemudian menyalakan data logger untuk merekam temperatur menyalakan pompa untuk mensirkulasikan air pendingin dan menyalakan motor listrik pada putaran medium dan putaran maksimal setelah temperatur setabil, maka motor listrik dimatikan dan data logger berhenti merekam temperatur selanjutnya air pendingin dibuang dan dilanjutkan dengan pengujian menggunakan *bubble* generator.

Proses pembuatan desain skematik alat pengujian baterai LiFePO4 ini di desain menggunakan software solidwork yang terdiri dari beberapa komponen 1) Wadah yang digunakan sebagai penampungan air pendingin, 2) Rangkaian baterai sebagai bahan yang akan diuji, 3) Flowmeter Udara sebagai pengaturan debit udara dan air yang masuk ke dalam pendingin baterai, 4) *Microbubble* generator untuk memproduksi gelembung, 5) Pompa air digunakan untuk mneyalurkan air ke dalam plat berisi air pendingin, 6) Aerator digunakan unutuuk membuat arus dan memompa udara dan 7) Lubang udara.



Gambar 1. Skematik Alat



Gambar 2. Letak Sensor Suhu Pada Baterai

Gambar 1 menunjukkan skematik alat yang akan dilakukan pengujian setelah melalui uji coba dan pegecekan agar pada waktu proses pengujian tidak terjadi kerusakan dan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Sedangkan Gambar 2 menjelaskan letak 10 sensor sensor yang

digunakan pada baterai LiFePO4 untuk pengujian *thermal*.

Perhitungan

Perpindahan panas secara konveksi adalah metode metode perpindahan panas yang terjadi antara permukaan solid dengan air yang bergerak dan merupakan kombinasi dari perpindahan panas secara konveksi dan pergerakan fluida [2]. Laju perpindahan panas dapat dirumuskan persamaan berikut :

$$h = \frac{K.Nu}{Dh} \quad (1)$$

Keterangan :

H = Laju perpindahan panas W/(m²K)

K = Konduktivitas Termal Fluida (W/mK)

Nu = Bilangan Russelt (m)

Dh = Diameter Hidrolik (m)

$$Dh = \frac{2.Dd.Dw}{Dd+Dw} \quad (2)$$

Keterangan :

Dd = Tinggi Plat (m)

Dw = Lebar Celah (m)

$$Nu = -1,047 + 9,326 . \varphi \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\alpha^2+1}{(\alpha+1)^2} \Rightarrow \propto \frac{Dw}{Dd} \quad (4)$$

Resistensi Termal adalah perbedaan *temperature* antara kedua permukaan dibagi dengan *fluks* panas yang dihasilkan dan kekuatan sumber panas ketika panas di transmisikan ke dalam benda [2]

$$R_{com} = \frac{1}{2.A.h} \quad (5)$$

Keterangan :

R_{com} = Suhu (°C)

A = Luas Permukaan Plat (m₂)

h = Koeffisien Perpindahan Kalor Konduksi (W/m₂ . K)

Pada kotak baterai pendingin terdapat 5 Sisi Yang Kontak Dengan Air Pendingin Maka,

$$R_{com} = R_{com1} + R_{com2} + R_{com3} + R_{com4} + R_{com5} \quad (6)$$

Keterangan :

R = Suhu (°C)

Hambatan panas ini menggambarkan seberapa sulit panas dapat mengalir melalui baterai dengan persamaan seperti berikut :

$$R_{adv} = \frac{1}{\vartheta L_f C_{pf}} \quad (7)$$

Keterangan :

R_{adv} = Hambatan Termal ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

α = Debit Air (L/min)

L_f = Densitas (Air kg/m^3)

C_{pf} = Kapasitas Panas Air (J/kg)

Perhitungan total resistensi termal ini dengan cara menjumlah dari semua hambatan termal yang harus dilewati oleh panas. Total resistensi termal ini berguna untuk memahami seberapa efisien pendingin mengelola aliran panas [2]. Total resistensi termal dapat dirumuskan seperti persamaan berikut :

$$R_{total} = R_{com} + R_{adv} \quad (8)$$

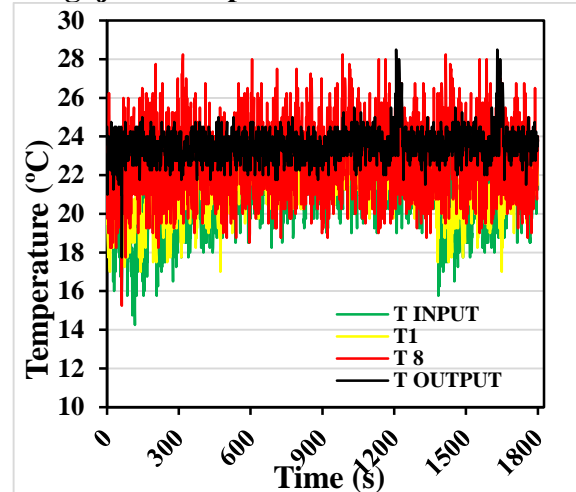
Keterangan :

R_{total} = Total Resistensi Termal ($^{\circ}\text{C}$)

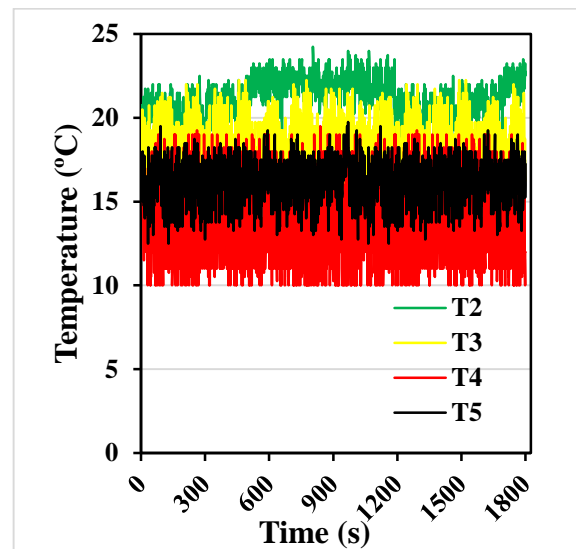
Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian manajemen *thermal* pada baterai LiFePO4 dengan pendinginan *bubble* generator berdasarkan variasi kecepatan motor listrik. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kinerja pendingin baterai dengan *bubble* generator dengan variasi kecepatan dan mengetahui temperatur maksimum dan panas yang diserap. Grafik data suhu atau temperatur merupakan visual dari perubahan nilai suhu terhadap waktu. Grafik ini digunakan untuk memvisualisasikan pola dalam suhu yang diukur selama periode waktu 30 menit. Proses pengujian dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada kecepatan medium dan kecepatan maksimum ini dilakukan dengan kondisi baterai didalam wadah yang berisi air untuk membantu menurunkan suhu temperatur baterai yang tengah bekerja, serta *microbubble* yang membantu untuk manajemen baterai agar suhu tidak melebihi dari kapasitas maksimum baterai LiFePO4. Hasil dari pengujian dengan variasi kecepatan sebagai berikut:

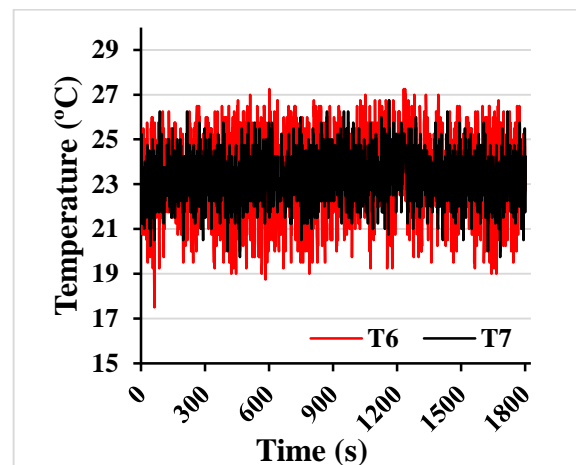
Pengujian Kecepatan Medium



Gambar 3. Temperatur Pada Dinding Kanan dan Kiri



Gambar 4. Temperatur Pada Dinding Depan dan Belakang



Gambar 5. Temperatur Pada Dinding Bawah

Hasil data pengujian pada kecepatan medium mendapatkan nilai temperatur

sensor pada Gambar 3 grafik sensor bagian kanan dan kiri sebesar 15° sampai 28° Celcius. Nilai temperatur yang didapatkan pada Gambar 4 grafik sensor bagian depan dan belakang sebesar 10° sampai 24° Celcius. Dan pada Gambar 5 grafik sensor bagian bawah baterai hasil pengujian mendapatkan nilai temperatur sebesar 18° sampai 27° Celcius. Perbedaan dari 10 sensor yang terdapat pada baterai LiFePO4 setelah pengujian *therma* dengan bantuan air pendingin dan *microbubble* pada kecepatan medium terdapat pada nilai temperatur suhu yang terjadi pada baterai, dimana suhu temperatur yang tertinggi terdapat pada sensor bagian bawah baterai dengan nilai 18° -27° Celcius dan suhu temperatur yang terendah pada sensor bagian depan dan belakang.

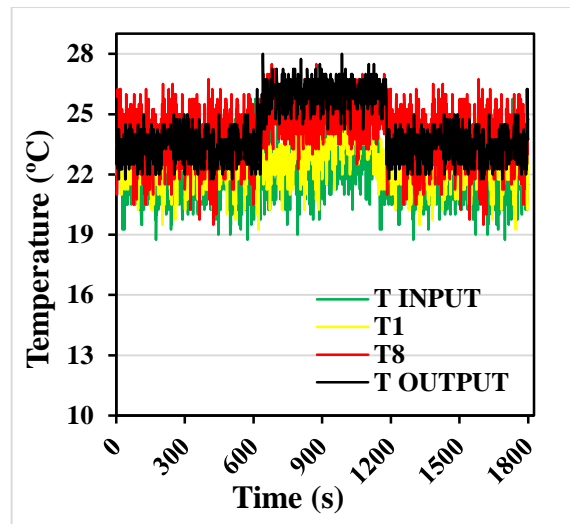
Setelah proses pengujian data yang diperoleh pada kecepatan medium ini kemudian diolah untuk mendapatkan hasil nilai minimum, maksimum dan rata – rata dari baterai LiFePO4.

Keterangan	Min (°c)	Max (°c)	Rata – Rata (°c)
Suhu INPUT	14.25	24.25	20.69
Suhu 1	17	24	21.24
Suhu 2	16.25	24.25	21.33
Suhu 3	12	22.25	18.35
Suhu 4	10	19.5	13.54
Suhu 5	12.5	19.75	16.22
Suhu 6	17.5	27.25	23.46
Suhu 7	14.5	26.75	23.29
Suhu 8	15.25	28.25	22.74
Suhu OUTPUT	17.75	28.5	23.48

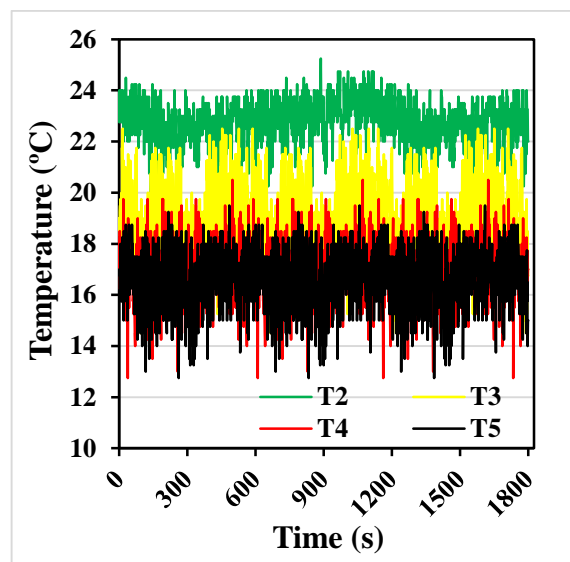
Tabel 1. Nilai Temperatur Kecepatan Medium

Pada Tabel 1 menunjukkan data nilai temperatur pada kecepatan medium (340 rpm) yang telah didapatkan, dimana nilai minimum sebesar 10° sampai 17.75° Celcius, nilai maksimum sebesar 19.5° sampai 28.25° Celcius dan rata – rata nilai temperatur pada baterai LiFePO4 sebesar 13.54° sampai 23.48° Celcius.

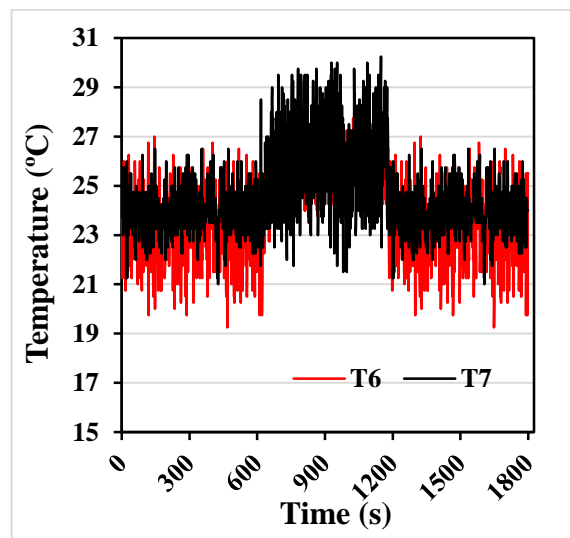
Pengujian Kecepatan Maksimum



Gambar 6. Temperatur Pada Dinding Kanan dan Kiri



Gambar 7. Temperatur Pada Dinding Depan dan Belakang



Gambar 8. Temperatur Pada Dinding Bawah

Hasil data pengujian pada kecepatan maksimum mendapatkan nilai temperatur sensor pada Gambar 6 grafik sensor bagian kanan dan kiri sebesar 19° sampai 28° Celcius. Nilai temperatur yang didapatkan pada Gambar 7 grafik sensor bagian depan dan belakang sebesar 13° sampai 25° Celcius. Dan pada Gambar 8 grafik sensor bagian bawah baterai hasil pengujian mendapatkan nilai temperatur sebesar 18° sampai 30° Celcius. Perbedaan dari 10 sensor yang terdapat pada baterai LiFePO4 setelah pengujian *therma* dengan bantuan air pendingin dan *microbubble* pada kecepatan maksimum terdapat pada nilai temperatur suhu yang terjadi pada baterai, dimana suhu temperatur yang tertinggi terdapat pada sensor bagian bawah baterai dengan nilai 19° - 30° Celcius dan suhu temperatur yang terendah pada sensor bagian depan dan belakang.

Keterangan	Min (°c)	Max (°c)	Rata – Rata (°c)
Suhu INPUT	18.75	26.25	21.99
Suhu 1	19.25	25.25	22.65
Suhu 2	18.5	25.25	22.81
Suhu 3	14.5	22.5	19.25
Suhu 4	12.75	20.5	17.01
Suhu 5	12.75	19.5	16.62
Suhu 6	19.25	28	24.41
Suhu 7	21	30.25	24.94
Suhu 8	19.5	27.5	24.30
Suhu OUTPUT	21.75	28	24.62

Tabel 2. Nilai Temperatur Kecepatan Maksimum

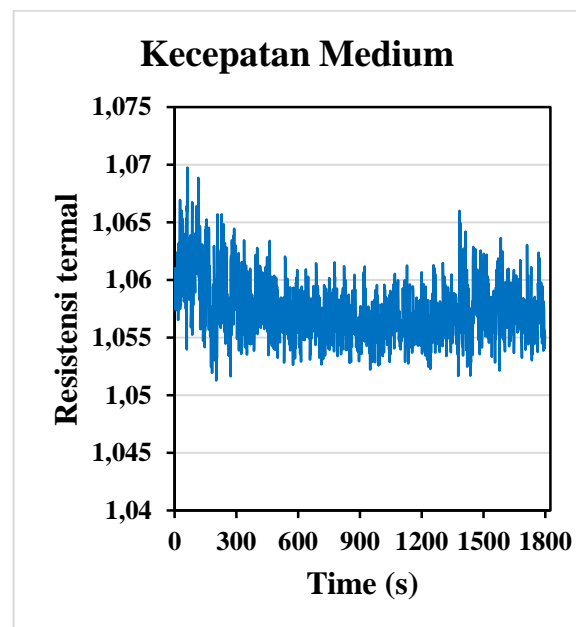
Setelah proses pengujian data yang diperoleh pada kecepatan medium ini kemudian diolah untuk mendapatkan hasil nilai minimum, maksimum dan rata – rata dari baterai LiFePO4. Pada Tabel 2 menunjukkan data nilai temperatur pada kecepatan medium (340 rpm) yang telah didapatkan, dimana nilai minimum sebesar 12.75° sampai 21.75° Celcius, nilai maksimum sebesar 19.5° sampai 30.25° Celcius dan rata – rata nilai temperatur pada baterai LiFePO4 sebesar 17.01° sampai 24.94° Celcius.

Pembahasan Resistensi Termal Baterai LiFePO4

Resistensi termal pada penelitian ini dijelaskan sebagai hubungan antara perbedaan suhu pada baterai LiFePO4 setelah dilakukan pengujian. Resistansi termal mengukur resistansi terhadap aliran panas pada benda tertentu sedangkan konduktivitas termal mengukur kapasitas inheren baterai untuk menghantarkan panas. Sementara resistansi termal yang tinggi menunjukkan perpindahan panas yang buruk. Hasil dari perhitungan resistensi termal sebagai berikut :

Resistensi Termal Kecepatan Medium

Perhitungan ini dilakukan dengan cara menjumlahkan hasil pengujian 10 buah sensor suhu yang terdapat pada baterai mulai dari $R_{con1} + R_{con2} + R_{con3} + R_{con4} + R_{con5} + R_{adv}$ dan mendapatkan nilai antara 1.05 -1.12 °C. Hasil perhitungan setelah dilakukan pengujian baterai dengan kecepatan medium ditampilkan pada grafik temperatur termal pada Gambar 9 dan Gambar 10.

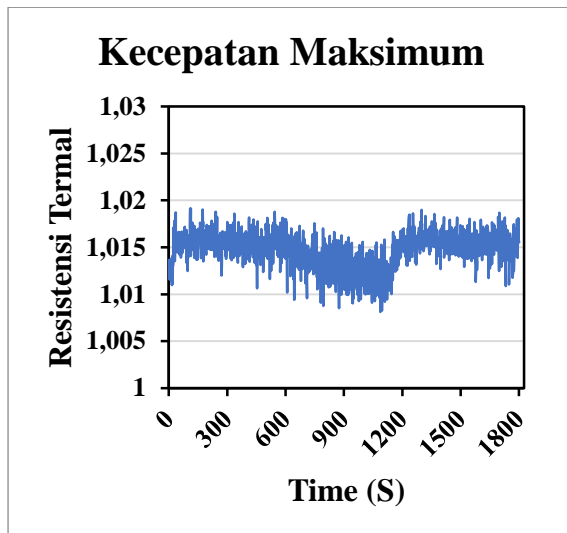


Gambar 9. Resistensi Termal Pada Kecepatan Medium

Resistensi Termal Kecepatan Maksimum

Sedangkan pada kecepatan maksimum hasil pengujian termal pada baterai LiFePo4 mendapatkan hasil yang lebih rendah

dibandingkan dengan pengujian termal dengan kecepatan medium. Hasil temperatur yang didapatkan dengan nilai antara 1.01 – 1.06 ° C. Hasil perhitungan setelah dilakukan pengujian baterai dengan kecepatan maksimum ditampilkan pada grafik temperatur termal pada Gambar 10.



Gambar 10. Resistensi Termal Pada Kecepatan Maksimum

Kesimpulan

Pengaruh variasi kecepatan udara yang didapatkan dari hasil pengujian berada pada nilai temperatur baterai. Pada pengujian kecepatan medium rata – rata nilai temperatur pada baterai LiFePO₄ sebesar 13.54° sampai 23.48° Celcius dan kecepatan maksimum nilai rata – rata temperatur pada baterai sebesar 16.62° Celcius sampai 24.94°. Sedangkan dari hasil pengujian diperoleh kecepatan medium nilai maksimum sebesar 19.5° sampai 28.25° Celcius dan menggunakan kecepatan maksimum nilai maksimum temperatur baterai sebesar 19.5° Celcius sampai 30.25° Celcius dimana semakin tinggi kecepatan motor yang digunakan panas pada baterai meningkat. Dan hasil perhitungan resistensi termal dengan variasi kecepatan mendapatkan hasil pada kecepatan medium dengan nilai 1.015° Celsius – 1.07° Celsius dan pada kecepatan maksimum dengan nilai 1.01° Celsius – 1.02° Celsius.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan Rahmat-Nya penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terimakasih juga dihaturkan kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah mendampingi dan membimbing sampai saat ini.

Referensi

- [1] C. Roe *Et Al.*, “Immersion Cooling For Lithium-Ion Batteries – A Review,” Mar. 30, 2022, *Elsevier B.V.* Doi: 10.1016/J.Jpowsour.2022.231094.
- [2] I. N. B. I Made Parsa, “Motor-Motor Listrik,” Karanganyar, Nov. 2018.
- [3] Wahyu And Ginanjar, “Modul Ajar Fase F,” 2021.
- [4] Zidni Irfan, “Analisis Efisiensi Pengisian Muatan Baterai Lithium Iron Phosphate (Lifepo₄),” Yogyakarta, 2020.
- [5] X. Liu *Et Al.*, “Thermal Runaway Of Lithium-Ion Batteries Without Internal Short Circuit,” *Joule*, Vol. 2, No. 10, Pp. 2047–2064, Oct. 2018.
- [6] A. Arohman, K. Kardiman, And O. Oleh, “Perancangan Alat Micro-Bubble Generator (Mbg) 368 Dengan Memanfaatkan Energi Listrik Dari Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Perancangan Alat Micro-Bubble Generator (Mbg) Dengan Memanfaatkan Energi Listrik Dari Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan 1,” *Barometer*, Vol. 6, No. 2, Pp. 368–374, 2021.
- [7] L. Bravo Diaz *Et Al.*, “Review—Meta-Review Of Fire Safety Of Lithium-Ion Batteries: Industry Challenges And Research Contributions,” *J Electrochem Soc*, Vol. 167, No. 9, P. 090559, Jan. 2020.
- [8] A. R. Hisan, I. P. Handayani, And R. F. Iskandar, “Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif Designing And Realization Of Battery Thermal Management System For

Lithium Ion Battery Using Semi Passive Cooling Method,” 2016.

[9] R. Vazri Muharom, “Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik,” 2022.

[10] F. A. N. Imaam Sucahyo, “Analisis Udara Sebagai Cooling System Battery Pack E-Inobus Dengan Metode Computational Fluid,” *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, Vol. 12, No. 3, Pp. 94–99, 2023.

[11] J. V. Sibarani And I. Pranoto, “Studi Eksperimental Kinerja Sistem Pendinginan Baterai Lithium-Ion 18650 Berbasis Liquid Cold Plate,” *Talenta Conference Series : Energi & Engineering*, Vol. 6, Pp. 191–198, 2023.

[12] M. Khalis And M. Yamin, “Analisis Suhu Sistem Penggerak Elektrik Pada Prototipe Kendaraan Ug-Hev (Hybrid Electric Vehicle),” 2021.

[13] M. Aryo Pradhana, T. Andromeda, And D. Y. Christyono, “Pengisi Daya Baterai Lifepo4 Sebagai Sumber Energi Pada Sepeda Listrik,” 2022.

[14] M. Khabibul, A. Rachmanto, L. T. Wibowo, And T. Paramitha, “Review : Metode Sintesis Katoda Lifepo 4 Baterai Lithium-Ion,” 2019.