

# ANALISIS MANAJEMEN TERMAL $\text{LiFePO}_4$ (*LITHIUM IRON PHOSPHATE*) DENGAN PENDINGINAN *BUBBLE GENERATOR* DAN TANPA *BUBBLE GENERATOR*

Muhammad Ilmi Maulana<sup>(1)</sup>, IGNB. Catrawedarma<sup>(1\*)</sup>, Eli Novita Sari<sup>(1)</sup>,  
IGNA Satria Prasetya DY<sup>(1)</sup> dan Dian Ridlo Pamuji<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur,  
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

<sup>(\*)</sup>E-mail *Corresponding Author*: [ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id](mailto:ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id)

## Abstrak

Baterai Lithium Iron Phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ) yang dikenal dengan umur panjang, tingkat *self-discharge* rendah, dan kinerja stabil. Namun, baterai  $\text{LiFePO}_4$  rentan mengalami masalah termal saat beroperasi di luar kisaran suhu optimal 25-40°C [12], yang dapat mengancam kinerja, keamanan, dan masa pakai baterai. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem pendinginan menjadi solusi untuk masalah termal ini. Namun, penggunaan sistem pendinginan internal berisiko merubah tegangan dan menyebabkan baterai mengalami panas berlebih. Oleh karena itu, pendekatan menggunakan sistem pendinginan eksternal disarankan untuk menjaga kinerja baterai Li-ion tanpa mengubah komponen internalnya. Dalam upaya meningkatkan manajemen termal baterai  $\text{LiFePO}_4$ , penelitian ini mengusulkan analisis penggunaan pendinginan dengan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator*. *Bubble generator* disini dimaksudkan untuk meningkatkan pergerakan acak air dalam sistem pendinginan agar penyerapan panas menjadi lebih optimal. Penelitian ini menggunakan sistem pendinginan yang bersirkulasi dengan media pompa air, airtor, *bubble generator* dan pendinginnya menggunakan air, untuk penampung aliran yang bersirkulasi pada sel-sel baterai kita memakai mika acrylic. Hasil dari pengaruh variasi pada pengujian *bubble generator* rata-rata nilai temperatur pada baterai  $\text{LiFePO}_4$  sebesar 16.26°C sampai 23.94°C dan pengaruh variasi pada pengujian tanpa *bubble generator* rata-rata nilai temperatur pada baterai  $\text{LiFePO}_4$  sebesar 17.62°C sampai 25.57°C. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwasanya *bubble generator* mampu mendinginkan 90% dari temperatur operasional 25-40°C.

**Kata Kunci:** Baterai lithium, *Bubble generator*, Manajemen termal.

## Abstract

*Lithium Iron Phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ) batteries are known for their long life, low self-discharge rate, and stable performance. However,  $\text{LiFePO}_4$  batteries are prone to thermal problems when operating outside the optimal temperature range of 25-40°C [12], which can threaten the performance, safety, and lifetime of the battery. Previous research has shown cooling systems to be a solution to these thermal issues. However, the use of an internal cooling system risks changing the voltage and causing the battery to overheat. Therefore, an approach using an external cooling system is recommended to maintain the performance of Li-ion batteries without changing their internal components. In an effort to improve the thermal management of  $\text{LiFePO}_4$  batteries, this study proposes to analyze the use of cooling with *bubble generator* and without *bubble generator*. The *bubble generator* here is intended to increase the random movement of water in the cooling system so that heat absorption becomes more optimal. This study uses a circulating cooling system with water pump media, airtor, *bubble generator* and cooling using water, for the flow container that circulates in the battery cells we use acrylic mica. The results of the influence of variations in *bubble generator* testing average temperature values on  $\text{LiFePO}_4$  batteries of 16.26°C to 23.94°C. and the influence of variations in testing without *bubble generators* average temperature values on  $\text{LiFePO}_4$  batteries of 17.62°C to 25.57°C, From this study it can be concluded that the *bubble generator* is able to cool 90% of the operational temperature 25-40 °C.*

**Keywords:** Lithium battery, *Bubble generator*, Thermal management.

## 1 PENDAHULUAN

Baterai merupakan komponen pada kendaraan listrik yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang digunakan untuk daya penggerak motor listrik. Baterai jenis ini merupakan salah satu jenis baterai sekunder yang menggunakan bahan *Lithium Iron Phosphate* atau  $\text{LiFePO}_4$  yaitu bahan yang digunakan sebagai katode pada baterai lithium-ion. Baterai *lithium iron phosphate* adalah salah satu baterai kendaraan listrik yang paling umum digunakan dalam beberapa tahun terakhir, dengan karakteristik umur panjang, tingkat *self-discharge* yang rendah, dan kinerja yang stabil. Baterai  $\text{LiFePO}_4$  memiliki kekurangan yaitu saat bekerja secara terus menerus melebihi temperatur operasional berkisar  $25\text{-}40^\circ\text{C}$  maka terjadi masalah termal yang berpotensi meledak. Penyelesaian masalah termal dilakukan menggunakan sistem pendingin. Sistem pendingin baterai dilakukan untuk mengkondisikan temperature baterai dalam kondisi temperature stabil dan berfungsi menyerap panas dari baterai yang beroperasi.

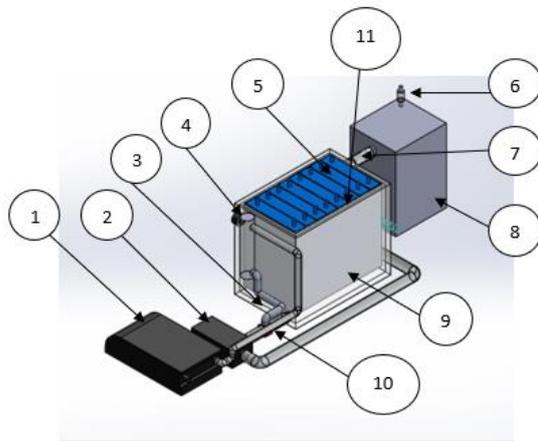
Penggunaan sistem pendinginan secara internal berisiko membuat baterai mengalami panas berlebih dan mengubah tegangan karena sistem pendinginan internal mengalami perubahan komponen penyusun dari baterai. Maka dari itu, penggunaan sistem pendingin secara eksternal disarankan untuk baterai Li-ion karena dalam proses pendinginan memerlukan penambahan material pada permukaan baterai Li-ion tanpa mengubah komponen dalam baterai. Sistem pendinginan eksternal dikategorikan berdasarkan fluida dan media yang digunakan [12]. Menggunakan sistem pendingin yaitu tanpa pelat pendingin, menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida udara, dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida air menghasilkan persebaran panas yang merata di setiap bagian baterai sel sehingga dari hasil persebaran panas tersebut *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C dan menggunakan sistem pendingin berupa pelat pendingin yang dialiri fluida air lebih merata dan temperature mampu stabil di bawah temperature operasional baterai  $\text{LiFePO}_4$ . Hasil simulasi pada *battery module cylinder* menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin berupa pelat pendingin dan fluida air mampu mengondisikan temperature maksimal baterai *module cylinder* hingga  $38,65^\circ\text{C}$ , dan persebaran panas merata di seluruh permukaan [1]. Penelitian ini hasil variasi laju aliran udara terbukti dapat meningkatkan performa penurunan temperatur maksimum, dilihat dari tiap variasi temperatur inlet udara dengan rata-rata penurunan tiap variasi laju aliran udara senilai 2 K. Hasil variasi temperatur inlet udara didapat secara signifikan dapat menurunkan temperatur maksimum dengan nilai rata-rata 3,6 K dari tiap variasi laju aliran udara. Dengan itu secara proporsional didapat nilai temperatur maksimum mengalami penurunan seiring dengan kenaikan nilai *heat dissipation* dan peningkatan nilai *heat transfer coefficient* [18].

Untuk mengatasi masalah kinerja baterai Suhu operasional baterai berkisar antara  $25^\circ\text{C}$  hingga  $40^\circ\text{C}$ , tetapi kinerja baterai mudah dipengaruhi oleh lingkungan sekitar. Suhu operasi yang tinggi dari baterai Li-ion akan memperpendek masa pakai baterai, selain itu, hal ini akan menyebabkan masalah keamanan, seperti terbakar atau bahkan meledaknya baterai, dari permasalahan di atas maka penulis mengambil judul analisis manajemen thermal  $\text{LiFePO}_4$  (*lithium iron phosphate*) dengan pendinginan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator*. Pengertian *bubble generator* dalam pendinginan ini diharuskan dapat menjadikan gerak acak dari air dalam sistem pendinginan sehingga penyerapan panasnya lebih optimal. Untuk itu kita memilih *microbubble generator* dengan tipe *ejektor*. *Microbubble generator* tipe *ejektor* adalah jenis alat yang digunakan untuk menghasilkan gelembung-gelembung kecil dalam suatu medium cair, seperti air. Alat ini bekerja dengan prinsip perubahan luas area aliran, mirip dengan venturi, dan penambahan ruang udara sebelum gelembung-gelembung dihasilkan. Gelembung-gelembung yang dihasilkan oleh alat ini memiliki pola distribusi yang penting untuk dipelajari, karena dapat mempengaruhi kinerja dan aplikasi gelembung tersebut dalam berbagai bidang industri, seperti pengolahan air limbah, pertanian, dan teknologi pemisahan. Dengan demikian, Studi ini bertujuan menginvestigasi distribusi temperatur dan mengetahui resistensi termal pada baterai terhadap pendinginan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator*.

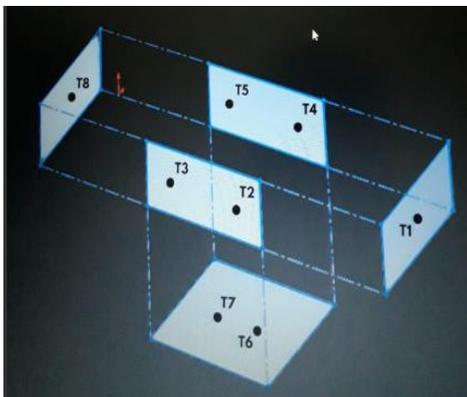
## 2 METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa spesifikasi baterai litium-ion jenis  $\text{LiFePO}_4$  26650 3.2V yang meliputi dimensi baterai, kapasitas baterai (Ah), temperatur operasional, *operating cell voltage*, nominal voltage, arus baterai, densitas, *specific heat*, dan konduktivitas termal dari baterai maupun aliran pendingin yaitu air dan *microbubble*. Dengan metode *bubble generator* dan tanpa *bubble generator*. Penelitian dilakukan dengan diawali pembuatan dan *setting* sensor pada dinding baterai seperti gambar 1. Rangkaian sel baterai memiliki beberapa komponen utama meliputi; 1) Pompa air digunakan untuk memompa air dari tampungan air masuk ke rangkaian sel baterai, 2) Aerator digunakan untuk menghasilkan udara yang digunakan untuk membuat gelembung udara pada *bubble generator*, 3) input dari *bubble generator* ke rangkaian baterai, 4) *flow meter* digunakan untuk mengatur debit udara dan air yang masuk kedalam *Microbubble generator*, 5) baterai lithium ion dengan 8 sell, 6) *pressure relief valve* digunakan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dalam penampungan air, 7) output dari rangkaian sel baterai, 8) penampung air dari rangkaian sel baterai untuk didinginkan setelah itu di pompa dan masuk lagi ke input, 9) Mika akrilik digunakan untuk wadah air yang mengelilingi baterai, 10) *Microbubble generator* sebagai input dari pompa air dan udara, 11) Aluminium digunakan untuk melindungi sel baterai

dari air, 12) Sensor termokopel digunakan untuk mendeteksi temperatur pada dinding baterai, input dan output.



**Gambar 1.** Detail alat



**Gambar 2.** Detail penempatan sensor

Gambar 2 menjelaskan letak 10 sensor sensor yang digunakan pada baterai LiFePO4 untuk pengujian *thermal*. Tahap ujicoba diawali dengan mengalirkan kedalam instalasi baterai. Tahap ini berfungsi untuk mengecek kebocoran sistem. Jika terjadi 3/2 kebocoran, maka dilakukan perbaikan pada instalasi, namun jika tidak terjadi kebocoran, maka langkah selanjutnya adalah tahap pengambilan data. Tahap pengambilan data langkah awal dalam tahap ini adalah memeriksa ketinggian air dalam rangkaian sel baterai dengan tensi penuh atau 1.900 ml setelah itu, arduino uno dinyalakan dan pastikan sudah terhubung dengan sensor termokopel dan dikonekkan dengan laptop untuk merekam data temperatur pada dinding

masing-masing sel dan input dan output baterai yang sudah terhubung dengan sensor termokopel, selanjutnya menyalakan motor listrik pada putaran maksimal, setelah temperatur stabil atau menurun motor listrik dimatikan dan data dari arduino uno berhenti merekam temperatur selanjutnya air pendingin dibuang dan dilanjutkan dengan penyiapan menggunakan air pendingin yang bergerak. Pengujian dengan air pendinginan bergerak diawali dengan mengisi kembali air pendingin, kemudian menyalakan arduino uno yang sudah terhubung dengan laptop untuk merekam temperatur menyalakan pompa untuk mensirkulasikan air pendingin dan menyalakan motor listrik pada putaran maksimal setelah temperatur setabil, maka motor listrik dimatikan dan data arduino berhenti merekam temperatur selanjutnya air pendingin dibuang dan dilanjutkan dengan pengujian menggunakan *bubble generator*. Pengujian dengan *bubble generator* dimulai dengan mengisi kembali air pendingin, menyalakan pompa dan diikuti dengan menyalakan airator untuk mensuplai udara ke *bubble generator*, kemudian menyalakan motor listrik sampai putaran maksimal. Amati pergerakan *bubble* dan setelah temperatur stabil, motor listrik dimatikan dan data arduino uno berhenti merekam temperatur. Data temperatur yang sudah didapat dari pengujian dengan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan distribusi temperatur, nilai temperatur maksimum. Nilai panas yang diserap. Nilai-nilai tersebut selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan pengaruh dari air pendingin dan penggunaan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* pada pendinginan baterai.

### 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

$k$  = Konduktivitas thermal fluida

$Nu$  = Bilangan Nusslet

$Dh$  = Diameter hidrolik

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

Keterangan :

$Dd$  = Tinggi plat

$Dw$  = Lebar celah

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

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

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].

$$R_{con} = \frac{1}{2Ah} \quad (5)$$

Keterangan :

$A$  = luas permukaan plat

$h$  = koef perpindahan kalor konveksi

Konduksi

Pada kontak baterai pendingin lima sisi yang kontak dengan air pendingin maka,

$$R_{con} = R_{con1} + R_{con2} + R_{con3} + R_{con5} \quad (6)$$

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

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

Keterangan :

$\vartheta$  = Debit Air

$l_f$  = Densitas air

$C_{pf}$  = Kapasitas panas air

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 :

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

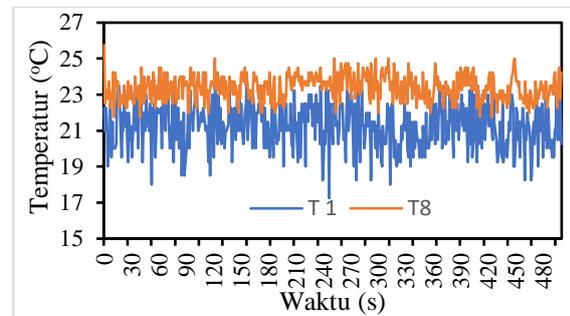
### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian manajemen thermal pada baterai LiFePO4 dengan pendinginan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kinerja pendingin baterai dengan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* serta 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 pendinginan menggunakan *bubble generator* dan pendinginan tanpa *bubble generator* ini dilakukan dengan kondisi baterai didalam wadah yang berisi air untuk membantu menurunkan suhu temperatur baterai yang tengah bekerja, serta *microbubble* yang membantu untuk memanagemen baterai agar suhu tidak

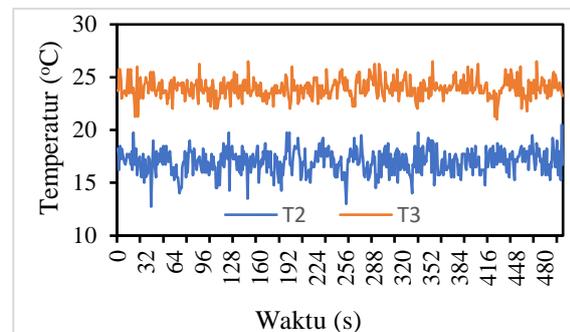
melebihi dari kapasitas maksimum baterai LiFePO4. Hasil dari pengujian dengan variasi *bubble generator* sebagai berikut:

Pendinginan *bubble generator*

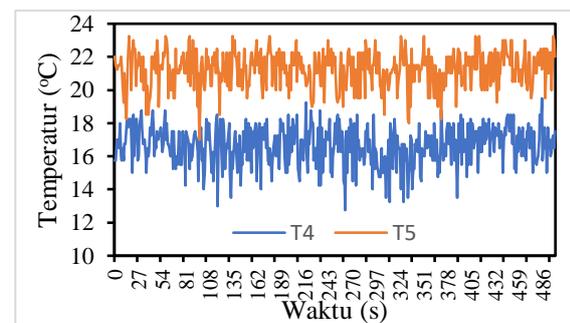
Ditampilkan hasil analisa dan simulasi dari penelitian yang telah dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dari sel baterai Lithium ion yang diberi pendinginan *bubble generator* :



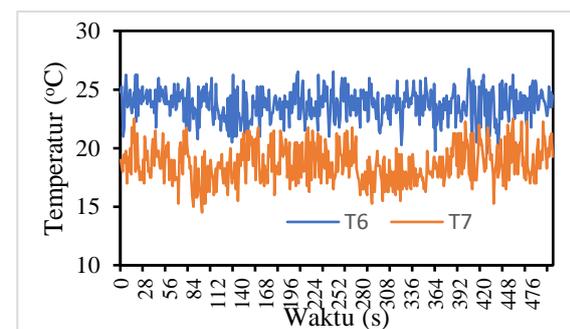
(A)



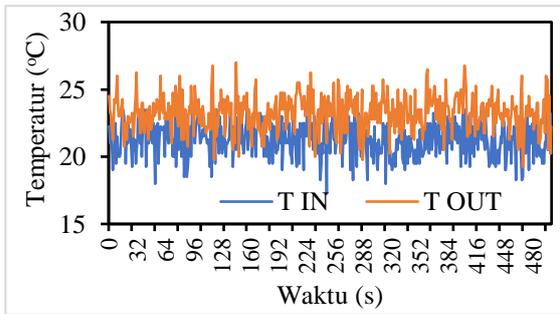
(B)



(C)



(D)



(E)

**Gambar 4.** Grafik dengan pengujian *bubble generator* (A) sensor bagian dinding kanan dan kiri (B) sensor sisi depan kanan dan kiri (C) sensor bagian sisi belakang kanan dan kiri (D) sensor bagian bawah kanan dan kiri (E) sensor bagian input dan output.

Sensor pada Gambar 4 (A) grafik sensor bagian dinding kanan 17.25°C sampai 23.25°C dan dinding kiri sebesar 21.25°C sampai 25.75°C. Nilai temperatur yang didapatkan pada Gambar 4 (B) grafik sensor bagian sisi depan kanan 12.75°C sampai 20.5°C dan sisi depan kiri sebesar 21°C sampai 26.5°C. Dan pada Gambar 4 (C) grafik sensor bagian sisi belakang kanan 12.75°C sampai 19.5°C dan sisi belakang kiri sebesar 17°C sampai 23.25°C. Gambar 4 (D) grafik sensor bagian bawah kanan 19.5°C sampai 26.75°C dan bawah kiri sebesar 14.5°C sampai 22.5°C. Gambar 4 (E) grafik sensor bagian input 17.25°C sampai 23.5°C dan bagian output sebesar 19.25°C sampai 27°C. Perbedaan dari 10 sensor yang terdapat pada baterai LiFePO<sub>4</sub> setelah pengujian *therma* dengan bantuan air pendingin dan *microbubble* pada terdapat pada nilai temperatur suhu yang terjadi pada baterai, dimana suhu temperatur yang tertinggi terdapat pada dinding kiri baterai dengan nilai 21.75°C – 25.75°C dan suhu temperatur yang terendah pada sensor bagian depan dan sisi belakang kanan 12.75°C - 19.5°C.

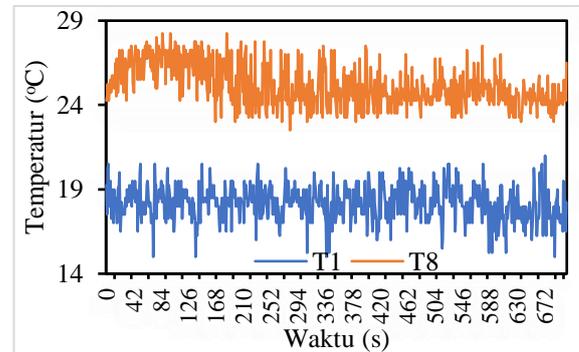
Setelah proses pengujian data yang diperoleh pada pendinginan *bubbel generator* ini kemudian diolah untuk mendapatkan hasil nilai minimum, maksimum dan rata-rata dari baterai.

**Tabel 1 .** Hasil temperatur *bubbel generator*

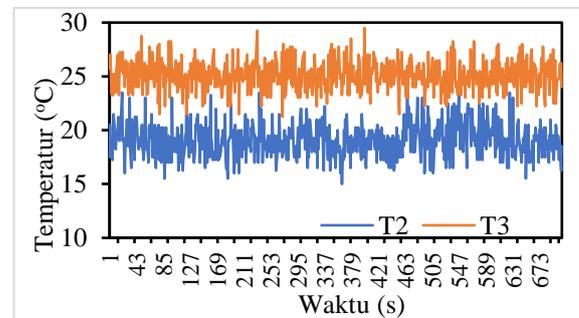
Keterangan	Min °C	Max °C	Rata rata °C)
T1	17.25	23.5	21.25
T2	12.75	20.5	17.02
T3	21	26.5	23.94
T4	12.75	19.5	16.63
T5	17	23.25	21.26
T6	19.5	26.75	23.72
T7	14.5	22.5	18.62
T8	21.75	25.75	23.28
T in	17.25	23.5	21.25
T out	19.25	27	23.23

### Pendinginan tanpa bubble generator

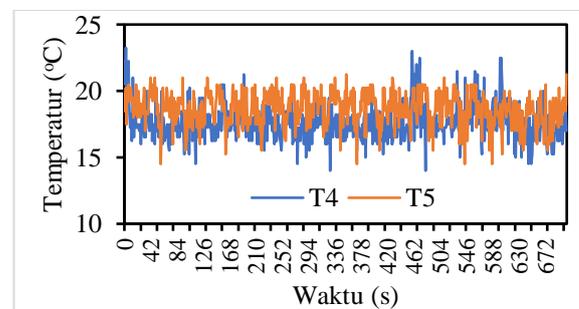
Disajikan hasil analisa dan simulasi dari penelitian yang telah dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dari sel baterai Lithium ion yang diberi pendinginan tanpa *bubble generator* :



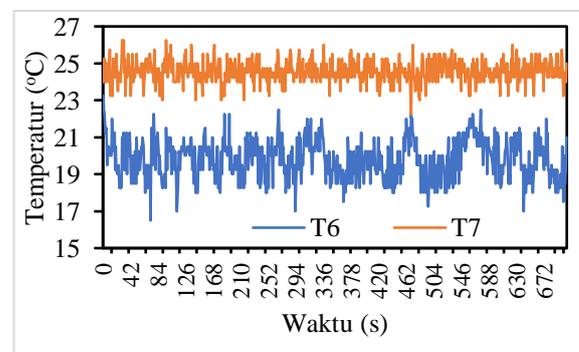
(A)



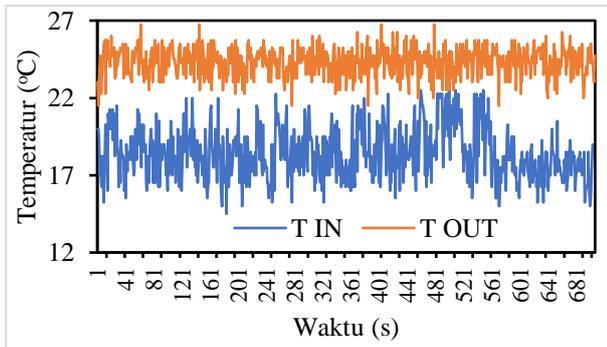
(B)



(C)



(D)



(E)

**Gambar 5.** Grafik dengan pengujian tanpa *bubble generator* (A) sensor bagian dinding kanan dan kiri (B) sensor sisi depan kanan dan kiri (C) sensor bagian sisi belakang kanan dan kiri (D) sensor bagian bawah kanan dan kiri (E) sensor bagian input dan output.

Sensor pada Gambar 5 (A) grafik sensor bagian dinding kanan 15°C sampai 21°C dan dinding kiri sebesar 22.5°C sampai 28.25°C. Nilai temperatur yang didapatkan pada Gambar 5 (B) grafik sensor bagian sisi depan kanan 15.°C sampai 23.5°C dan sisi depan kiri sebesar 21.25°C sampai 29.5°C. Dan pada Gambar 5 (C) grafik sensor bagian sisi belakang kanan 14°C sampai 23.25°C dan sisi belakang kiri sebesar 14.5°C sampai 21.25°C. Gambar 5 (D) grafik sensor bagian bawah kanan 16.5°C sampai 23.25°C dan bawah kiri sebesar 22.25°C sampai 26.25°C. Gambar 5 (E) grafik sensor bagian input 14.5°C sampai 23°C dan bagian output sebesar 21.5°C sampai 26.75°C Perbedaan dari 10 sensor yang terdapat pada baterai LiFePO4 setelah pengujian *therma* dengan bantuan air pendingin dan *microbubble* pada terdapat pada nilai temperatur suhu yang terjadi pada baterai, dimana suhu temperatur yang tertinggi terdapat pada bagian bawah kiri baterai dengan nilai dan suhu temperatur yang terendah pada sensor bagian sisi belakang kanan.

Setelah proses pengujian data yang diperoleh pada pendinginan *bubbel generator* ini kemudian diolah untuk mendapatkan hasil nilai minimum, maksimum dan rata-rata dari baterai.

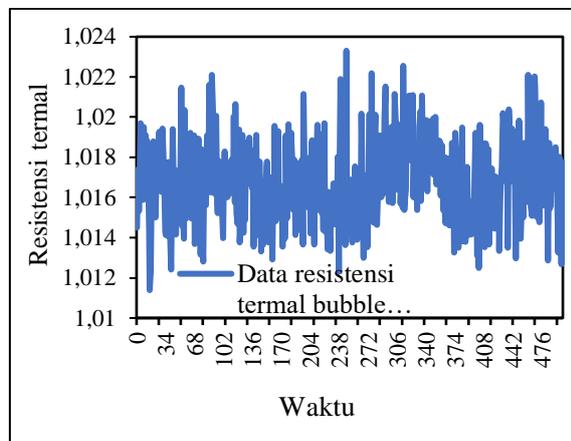
Tabel 2. Hasil temperatur tanpa *bubble generetor*

Keterangan	Min °C	Max °C	Rata rata °C)
T1	15	21	18.18
T2	15	23.5	19.07
T3	21.25	29.5	25.10
T4	14	23.25	17.67
T5	14.5	21.25	18.66
T6	16.5	23.25	19.81
T7	22.25	26.25	24.57
T8	22.5	28.25	25.15
T in	14.5	23	18.40
T out	21.5	26.75	24.33

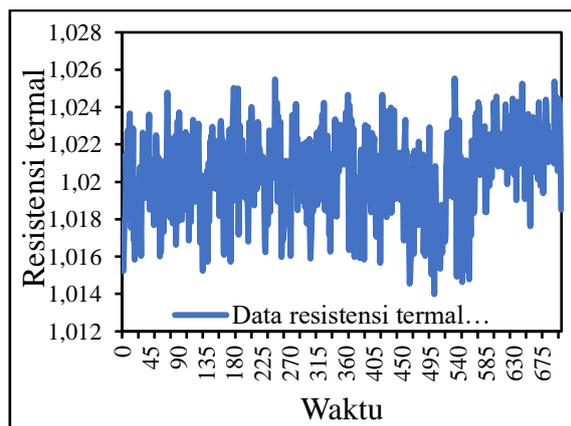
### Resistensi termal

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 resistansi termal sebagai berikut :

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 1.01-1.06 °C. Hasil perhitungan setelah dilakukan pengujian tanpa *bubble generator* ditampilkan pada grafik temperatur termal pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil perhitungan pendinginan *bubble generator*



**Gambar 7.** Grafik dari hasil pendinginan tanpa *bubble generator*.

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 1.01-1.03 °C. Hasil perhitungan setelah dilakukan pengujian baterai

dengan kecepatan medium ditampilkan pada grafik temperatur termal pada Gambar 7.



**Gambar 8.** Proses pengambilan data

#### 4 KESIMPULAN

Dari penelitian pendinginan dengan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* terhadap baterai lithium ion mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pendinginan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* perbedaan panas pada baterai disebabkan perbedaan celah antar dinding sell dan pendinginan pada posisi input lebih dominan dingin dikarenakan aliran udara yang masuk dari input lebih dingin daripada output serta pergerakan *bubble* udara yang lebih tebal pada posisi input.
2. Pengaruh variasi pada pengujian *bubble generator* rata-rata nilai temperatur pada baterai LiFePO<sub>4</sub> sebesar 16.26°C sampai 23.94°C. dan pengaruh variasi Pada pengujian tanpa *bubble generator* rata-rata nilai temperatur pada baterai LiFePO<sub>4</sub> sebesar 17.62°C sampai 25.57°C.
3. Dari hasil pengujian *bubble generator* nilai minimum sebesar 12.75°C sampai 21.75°C dan dari hasil pengujian tanpa *bubble generator* nilai minimum sebesar 14°C sampai 22.25°C.
4. Dari hasil pengujian *bubble generator* nilai maksimum sebesar 19.5°C sampai 26.75°C dan dari hasil pengujian tanpa *bubble generator* nilai maksimum sebesar 21°C sampai 29.5°C.

Dengan variasi pendinginan *bubble generator* dan tanpa *bubble generator* dapat disimpulkan bahwasanya *bubble generator* mampu mendinginkan 90% dari temperatur operasional 25-40°C.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada dosen pembimbing dan laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Banyuwangi karna sudah membantu dalam menyelesaikan karya ilmiah ini sehingga berjalan dengan lancar dan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardhyanti, N., Tranggono, A., Salim, A., & Nur, R. A. Analisis Sistem Pendingin Baterai Li-Ion Berbentuk Silindris menggunakan Metode

Computational Fluid Dynamics ( CFD ). 7(2), 140–151. 2023.

- [2] Brennen, Christopher E. Cavitation and Bubble Dynamis - Oxford University Press. 1995.
- [3] Cengel, Y. Heat Transfer: A Practical Approach 2nd Edition. New York: McGraw-Hill. 2004.
- [4] Doran M. Pauline. Heat Transfer, Heat Transfer Mechanism. In Pauline M. 2013.
- [5] Giancoli, D. C. Fisika Jilid II. Jakarta: Erlangga. 2001.
- [6] Gillmor, C. S. Joseph Fourier, 1768-1830. 1973.
- [7] Huang, Q., Li, X., Zhang, G., Zhang, J., He, F., & Li, Y. Experimental investigation of the thermal performance of heat pipe assisted phase change material for battery thermal management system. Applied Thermal Engineering, 141, 1092–1100. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.06.048>. 2018.
- [8] Holman. Perpindahan Kalor. Jakarta: Erlangga. 1995.
- [10] I Nyoman & I Made Parsa. Motor-Motor Listrik. CV Rasi Terbit: Kupang. 2018.
- [11] Kurzweil, P. Secondary Batteries-Lithium. 1972.
- [12] L. Merinda, “Analisis Manajemen Termal Pada Sistem Pendingin Sel Baterai Li-Ion Bentuk Prismatik Dengan Variasi Laju Aliran Massa Dan Lebar Channel Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD),” 2017, [Daring]. Tersedia pada [https://repository.its.ac.id/47164/1/2413100046-Undergraduate\\_Thesis.pdf](https://repository.its.ac.id/47164/1/2413100046-Undergraduate_Thesis.pdf)
- [13] Linden, D., & Reddy, T. B. Handbook Of Batteries. 2002.
- [14] M Doran, P. Therapeutically important proteins from in vitro plant tissue culture systems. Current Medicinal Chemistry, 20(8), 1047-1055. 2013.
- [15] Otong, M. Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED. Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer, 8(2), 260. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6808>. 2019.
- [16] Putra, N., Ariantara, B., & Pamungkas, R. A. Experimental investigation on performance of lithium-ion battery thermal management system using flat plate loop heat pipe for electric vehicle application. Applied Thermal Engineering, 99, 784–789. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.123>. 2016.
- [17] Sari, E. N., Fiveriati, A., Rusti, N., Rulianto, J., Bhiqman Susanto, R., & Catrawedarma, I. G. N. B. Visual and Pressure Signal Investigations on Bubble Produced by Ejector Bubble Generator. E3S Web of Conferences, 483, 03020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448303020>. 2024.
- [18] Sudibyo, I. S., K, B. F. T., & Utomo, M. S. K. T. S. Analisis Manajemen Termal Cylindrical Battery Pack Li-Ion 18650 Secara Konveksi

- Paksa Dengan Variasi Temperatur Inlet dan Laju Aliran Udara Menggunakan Computational Fluid Dynamics ( CFD ). 11(1), 142–149. 2023.
- [19] Vazri Muharom, & Rifky. Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric. METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik, 1(1), 8–15. <https://doi.org/10.22236/metalik.v1i1.8464>. 2022.
- [20] Warner, J. Battery Pack Design. 2015.