

## Implementasi Fuzzy Inference System untuk Pengstabilan Arus pada Baterai Lithium di Electric Vehicle

Arizal Mujibtamala Nanda Imron<sup>1</sup>, Satriyo Budi Utomo<sup>2</sup>, Dimas Aldy Darmawan<sup>3</sup>, Bambang Sri Kaloko<sup>4</sup>, Zilvanhisna Emka Fitri<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Department of Electrical Engineering, Universitas Jember, Indonesia

<sup>5</sup>Department of Information Technology, Politeknik Negeri Jember, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Received Sep 9, 2024

Revised Aug 10, 2025

Accepted Nov 01, 2025

#### Keywords:

Battery Discharge

Current Stabilising Control

Fuzzy Logic

Lithium Polymer

### ABSTRACT

The application of energy storage in electric vehicles (EVs) requires rigorous optimization. However, current lithium polymer (Li-Po) battery development often overlooks the actual capacity characteristics of commercially available units. Understanding these characteristics is essential for developing effective testing procedures. This study monitored voltage, current, and temperature during the discharge process under a 5-watt load. Results demonstrate that fuzzy control effectively mitigates temperature rise by stabilizing the discharge current. The system regulated a 3300 mAh, 11.1 V battery, maintaining a stable 0.3 A current from the 3rd minute until the discharge cycle concluded at the 63rd minute. Furthermore, fuzzy control delayed the onset of temperature rise by approximately 14 minutes compared to an uncontrolled system. These findings confirm that thermal management significantly influences the discharge performance of Li-Po batteries.

Copyright © 2025 Universitas Indraprasta PGRI.  
All rights reserved.

### Corresponding Author:

Arizal Mujibtamala Nanda Imron,  
Department of Electrical Engineering,  
Universitas Jember,  
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121.  
Email: [arizal.tamala@unej.ac.id](mailto:arizal.tamala@unej.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya zaman, umat manusia mulai mengembangkan energi alternatif pengganti energi minyak bumi yang cadangannya sudah mulai menipis [1]. Penggunaan energi alternatif terutama energi listrik telah diterapkan pada berbagai bidang termasuk dalam bidang otomotif untuk mengurangi keterlibatan minyak bumi [2]. Kendaraan listrik atau Electric Vehicle (EV) merupakan salah satu pemanfaatan energi alternatif yang telah berkembang secara signifikan. EV adalah sebuah kendaraan yang menggunakan listrik sebagai energi utama disimpan dalam rangkaian baterai yang dapat diisi ulang tanpa energi lainnya untuk tenaga penggerak. Sistem penyimpanan energi listrik dalam bentuk baterai menjadi bagian penting pada EV. Jenis baterai yang digunakan umumnya secondary battery yaitu baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang [3]. Pilihan baterai yang paling tepat yaitu baterai Lithium karena mempunyai kelebihan seperti fast charging, densitas energi dan daya yang tinggi serta tahan lama jika proses charging sesuai [4]. Oleh sebab itu baterai lithium polymer telah mengalami banyak penelitian dan perkembangan terkini memiliki kapasitas energi yang tinggi, bobot yang ringan, dan current capability yang tinggi sehingga cocok untuk digunakan pada EV [5], [6]. Namun pengembangan baterai lithium polymer saat ini dilakukan tanpa pertimbangan mengenai kapasitas asli pada baterai lithium polymer yang berada di pasaran. Untuk mengetahui kapasitas asli pada baterai lithium polymer yang akan digunakan pada pengembangan EV perlu dilakukan pengujian dalam kondisi discharge dengan beban yang bervariasi. Kapasitas awal tiap sel baterai harus minimal 90% dari kapasitas dinilai sedangkan kerusakan baterai tahap pertama ketika fungsi penyimpanan maksimal hanya sampai 70-80% [7],

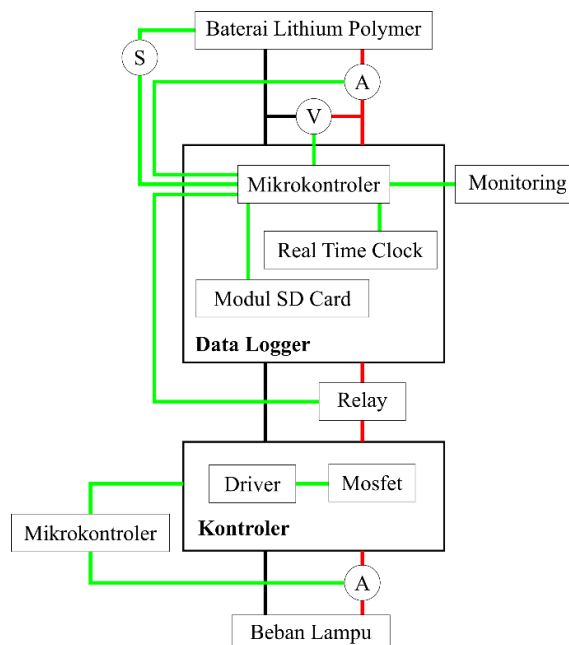
[8].

Pada pengembangan Electric Vehicle, karakteristik asli dari baterai lithium polymer yang akan digunakan sebagai penyimpanan sumber energi utama sangatlah penting sehingga dibutuhkan pengujian kapasitas baterai. Penelitian sebelumnya meneliti besar tegangan optimal untuk menggerakkan motor listrik BLDC sebesar 48 Volt dari baterai LiPo berkapasitas ± 2.184Wh dengan tegangan Listrik 54.6Volt sebanyak 13 buah [9]. Pengujian lain mengetahui performa baterai pada kendaraan Listrik dengan variasi pembebanan didapatkan bahwa penurunan tegangan baterai paling besar pada beban driver 50 kg sebesar 3.6 Volt sedangkan pada beban driver 55 kg sebesar 3.3 Volt dan beban driver 60 kg sebesar 3.15 Volt. Selain mengetahui besaran tegangan yang dihasilkan, penelitian ini juga menguji durasi pengisian baterai yang paling optimal yaitu 1.33 jam [10]. Selain itu dalam penggunaan baterai, karakteristik baterai lithium dapat diuji dengan pembebanan penggunaan baterai menggunakan lampu dengan daya 10 watt, 20 watt dan 30 watt. Dari penelitian tersebut dilakukan perbandingan antara pembebanan tanpa dan menggunakan kontrol fuzzy logic. Terjadi perbedaan kenaikan suhu antara pembebanan tanpa kontrol dan menggunakan kontrol fuzzy logic, contohnya pada beban 10 watt, pembebanan tanpa kontrol mengalami kenaikan suhu sebesar 2.71 °C sedangkan pembebanan menggunakan kontrol fuzzy, baterai mengalami kenaikan suhu sebesar 2.44 °C. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol fuzzy logic dapat mengendalikan kenaikan suhu dan mengoptimalkan penggunaan daya baterai [4].

Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya, belum ada pengoptimalan arus dalam proses penggunaan baterai. Pengendalian suhu pada penggunaan baterai dapat dilakukan dengan cara menstabilkan arus pada proses *discharge* baterai. Metode yang digunakan dalam kontrol penstabilan arus baterai yaitu *Fuzzy Inference System*. Fuzzy Inference System (FIS) adalah metode kontrol yang digunakan untuk memecahkan masalah matematis dengan merepresentasikan ketidakpastian linguistik melalui logika fuzzy. Logika fuzzy menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan mana yang salah [11]. Metode fuzzy sudah diterapkan untuk mengatur tegangan pada baterai [4], kontrol pompa air [12], pengukuran debit air dan kedalaman sungai [13] serta kontrol otomatis komponen elektronika berbasis arus [14].

**2. METODE**

Sistem kontrol penstabil arus pada baterai lithium polymer dilakukan pengujian karakteristik menggunakan pembebanan lampu dengan variasi daya sebesar 5 watt, 8 watt dan 16 watt. Baterai dalam keadaan discharge sehingga dapat memonitor arus, tegangan dan suhu yang dihasilkan oleh baterai. Untuk mengontrol arus agar tidak melewati set point menggunakan PWM. Desain blok diagram sistem kontrol penstabilan arus ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem pengtabilan arus baterai lithium

**2.1. Baterai Lithium Polymer dan Lampu Pembebanan**

Baterai Lithium Polymer merek Revoelectrix 3S disusun secara seri dengan berjumlah 3 dimana setiap baterainya memiliki tegangan 3.7 Volt sehingga total tegangan baterai sebesar 11.1 Volt dengan kapasitas

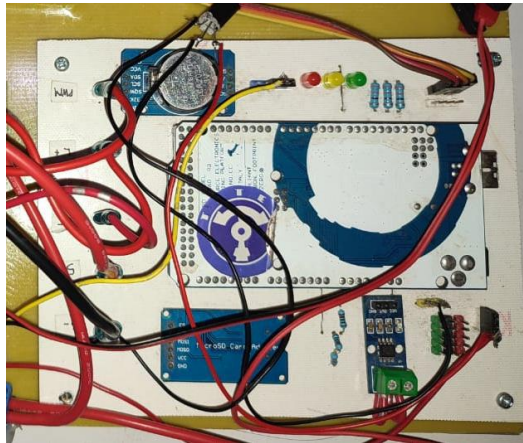
baterai 3300 mAh. Lampu pembebanan yang digunakan berjumlah 3 dengan variasi daya 5 watt, 8 watt, dan 16 watt. (Gambar 2).



Gambar 2. (a) Baterai Lithium Polymer dan (b) Lampu pembebanan

## 2.2. Data Logger

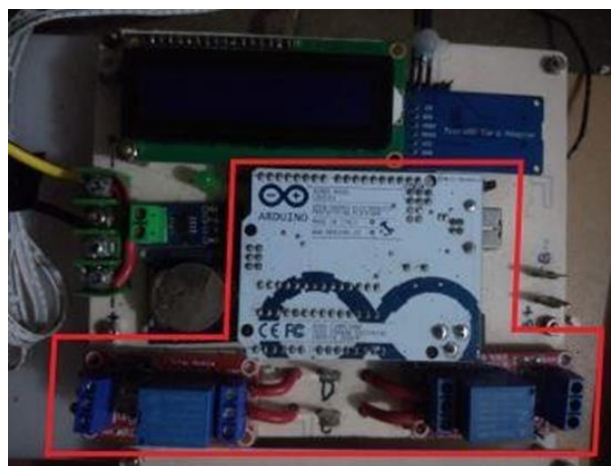
Data logger pada penelitian ini berfungsi untuk merekam atau menyimpan data [15] yang akan dibaca oleh sensor untuk arus, tegangan, suhu dan waktu (Gambar 3). Data logger terintegrasi oleh beberapa sensor seperti sensor ACS712, sensor tegangan DC, sensor suhu LM35 dan Arduino UNO R3 sebagai mikrokontroler.



Gambar 3. Data Logger

## 2.3. Relay Pemutus

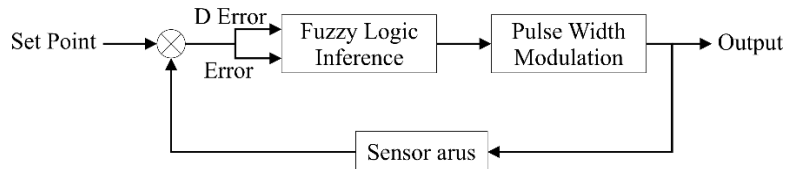
Relay pemutus merupakan sistem proteksi untuk memutuskan arus listrik saat kapasitas baterai lithium yang sedang diuji tidak berkurang tegangannya. Dalam masa pengujian discharge relay akan memutuskan arus ketika baterai telah mencapai tegangan 9 Volt (Gambar 4).



Gambar 4. Relay

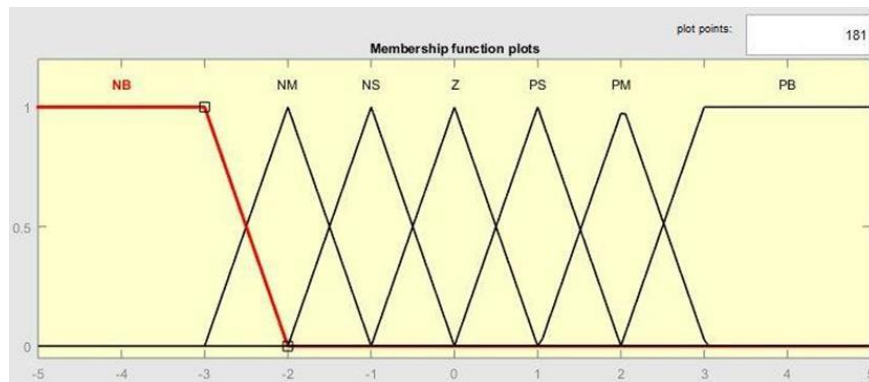
**2.4. Sistem kontrol Fuzzy Inference System (FIS)**

Fuzzy Inference System (FIS) adalah metode kontrol yang digunakan untuk memecahkan masalah matematis dengan merepresentasikan ketidakpastian linguistik melalui logika fuzzy. Logika fuzzy menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan mana yang salah [11]. Sistem kendali fuzzy pada penelitian ini menggunakan pengontrol FIS yang secara otomatis melakukan perubahan parameter berdasarkan perubahan kondisi tegangan baterai pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Penetapan set point juga berfungsi mengontrol arus agar sesuai dengan yang diinginkan.



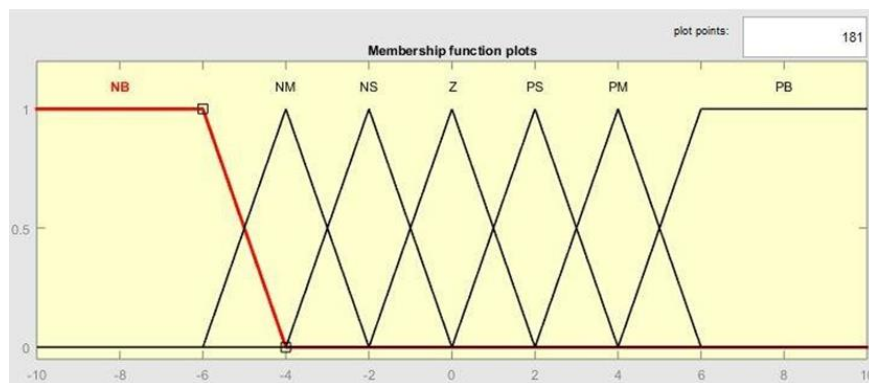
Gambar 5. Blok Diagram Sistem Kontrol FIS

Sistem kendali FIS menggunakan error yang diukur dari selisih antara set point dan arus keluaran. Output fuzzy akan mengatur PWM dengan menambah atau mengurangi switching ke pengontrol. Semakin besar arus yang dihasilkan oleh kontrol maka semakin besar juga nilai dari PWM, berlaku juga sebaliknya. Selain mencari besar arus, delta error didapatkan dari nilai error saat ini dikurangi dengan error sebelumnya. Pada metode logika fuzzy, terdapat membership function error sebanyak 7 seperti Negatif Big (NB), Negatif Medium (NM), Negatif Small (NS), Zero (Z), Positif Small (PS), Positif Medium (PM) dan Positif Big (PB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



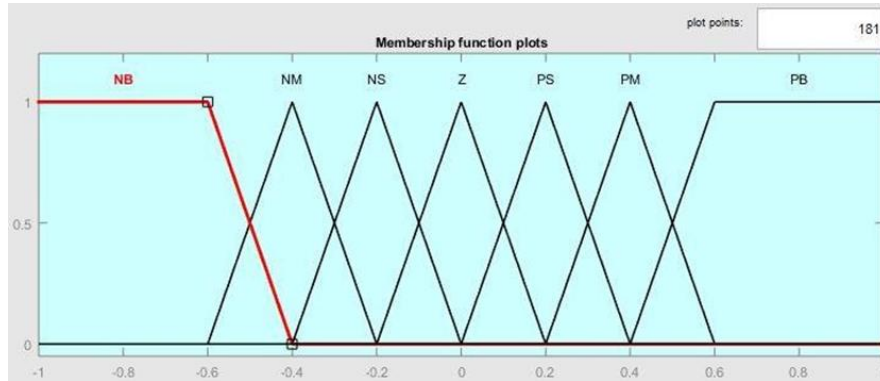
Gambar 6. Membership Function Error

Selanjutnya terdapat delta error, delta error merupakan nilai selisih antara error sekarang dengan error sebelumnya. Membership Function pada delta error dibagi menjadi 7 seperti Negatif Big (NB), Negatif Medium (NM), Negatif Small (NS), Zero (Z), Positif Small (PS), Positif Medium (PM) dan Positif Big (PB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Membership Function Delta Error

Fungsi keanggotaan yang terakhir adalah Membership Function nilai output atau nilai Index PWM yang nantinya digunakan pada kontrol fuzzy. Rentang nilai antara -1 hingga 1 dibagi menjadi 7 seperti Negatif Big (NB), Negatif Medium (NM), Negatif Small (NS), Zero (Z), Positif Small (PS), Positif Medium (PM) dan Positif Big (PB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Membership Function Nilai Output

Rule base digunakan untuk membuat aturan atau pernyataan-pernyataan logika FIS yang menyatakan suatu kondisi. Pada umumnya pernyataan-pernyataan ini berbentuk if – then. Perancangan rule base dilakukan setelah fuzzifikasi untuk tiap input dan output. Selain pembuatan rule base juga diperlukan penentuan membership function juga. Semua prosedur ini berfungsi untuk menentukan output FIS dari input yang diberikan. Pada tabel 1 merupakan tabel dari rule base fuzzy dimana E adalah error dan dE adalah delta error. Fuzzy logic yang digunakan adalah fuzzy logic inference model mamdani.

Tabel 1. Rule Base

dE \ E	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NM	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

**2.5. Pengujian Discharge Baterai**

Pengujian discharge baterai dengan tanpa kontrol dan kontrol FIS dengan penentuan set point arus dengan error sebesar 5%, energi dan kapasitas baterai menggunakan persamaan rumus :

$$I = \frac{P}{V} \tag{1}$$

$$E = P \times t \tag{2}$$

$$E (Wh) = \frac{E (Joule)}{3600} \tag{3}$$

$$Kapasitas (Ah) = \frac{E (Wh)}{Tegangan Baterai} \tag{4}$$

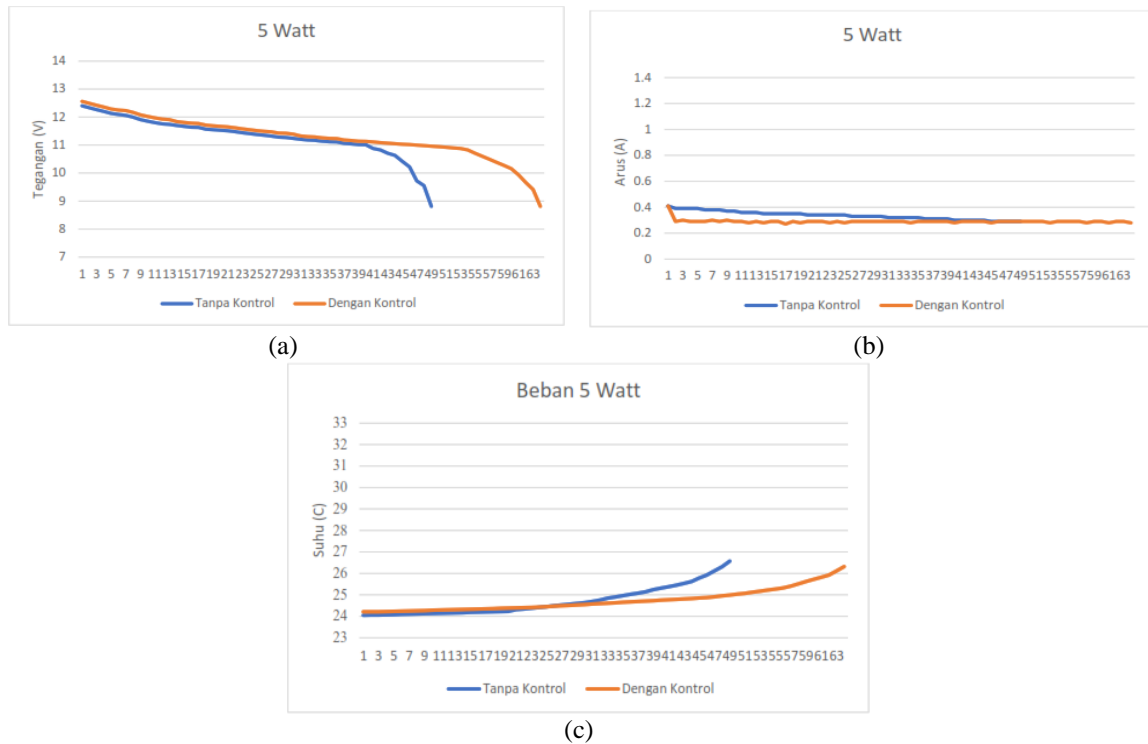
I : arus set point (Ampere), P : daya beban atau energi (Watt), V : tegangan baterai (Volt),  
E : Energi (Joule), t : waktu (detik atau second).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini menggunakan tiga lampu pembebanan dengan daya 5 watt, 8 watt dan 16 watt menggunakan tanpa kontrol dan kontrol FIS untuk menstabilkan arus baterai lithium polymer dengan tegangan 11.1 Volt dan kapasitas 3.3 Ah. Relay akan otomatis mematikan baterai, dengan minimum 8.8 Volt dan 80% dari tegangan baterai asli. Baterai memiliki tegangan maksimum sebesar 12.6 Volt selama pengujian.

### 3.1. Kenaikan Discharge Baterai

Untuk mengetahui karakteristik baterai, perlu dilakukan pengujian tegangan, arus dan suhu baterai dalam kondisi discharging dengan pembebanan lampu berdaya 5 watt, 8 watt dan 16 watt ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian (a) tegangan, (b) arus dan suhu pada baterai lithium polymer.

Pengujian dilakukan dengan menstabilkan arus menggunakan Fuzzy Logic (Gambar 9b), sistem yang menggunakan FIS dapat menstabilkan arus pada menit ke-3 setelah proses discharge dimana arus distabilkan pada 0,3A hingga kapasitas baterai sudah tidak dapat digunakan lagi pada waktu 63 menit. Jika ditinjau dari penggunaan kapasitas baterai (Gambar 9a), penggunaan kontrol FIS mampu mengontrol kapasitas penggunaan baterai jauh lebih lama bila dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol FIS. Penggunaan baterai tanpa sistem kontrol hanya membuat kapasitas baterai bertahan hingga menit ke-49. Hal ini berbeda dengan pengujian sistem menggunakan kontrol fuzzy, baterai dapat bertahan hingga menit ke-63, sehingga menambah lama penggunaan baterai selama 14 menit dengan pembebanan lampu berdaya 5 watt. Tentu sistem tanpa kontrol dari fuzzy membuat pemakaian baterai menjadi lebih boros. Hal ini juga berbanding lurus jika ditelaah dari sisi temperatur, penggunaan kontrol FIS juga menunda proses kenaikan suhu pada discharge baterai. Suhu baterai meningkat pada menit ke-31 pada sistem tanpa kontrol, sedangkan yang sistem dengan kontrol FIS, kenaikan suhu terjadi pada menit ke-53 (Gambar 9c).

### 3.2. Karakteristik suhu baterai

Pada pengujian discharge baterai lithium polymer dengan beban lampu 5 watt, 8 watt, dan 16 watt untuk mengetahui kenaikan suhu baterai tanpa kontrol dan kontrol FIS dijabarkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik discharge baterai didapatkan bahwa kenaikan suhu pada baterai terjadi saat pengujian pembebanan lampu tanpa kontrol dimana saat daya lampu 5 watt terjadi kenaikan suhu sebesar 2.52 OC sedangkan jika dilakukan pengontrolan dengan FIS, kenaikan suhu hanya sebesar 2.11 °C. Hal tersebut juga berlaku pada daya lampu sebesar 8 watt dan 16 watt. Bila kita bandingkan dengan hasil pengujian pada penelitian sebelumnya pada pembebanan lampu 10 watt, 20 watt dan 30 watt kenaikan suhu baterai didapatkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Kenaikan suhu discharge baterai lithium polymer

Beban Lampu (watt)	Kenaikan Suhu Baterai ( °C )	
	Kontrol Fuzzy	Tanpa Kontrol
5	2.11	2.52
8	3.46	4.23
16	7.97	8.69

Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan kontrol FIS mampu mengontrol kenaikan suhu lebih kecil bila dibandingkan tanpa kontrol, hal ini berlaku juga pada pembebanan daya lampu 10 watt, 20 watt dan 30 watt. Pada kedua tabel tersebut semakin kecil daya pembebanan lampu semakin kecil pula kenaikan suhu pada proses discharging baterai baik menggunakan kontrol FIS maupun tanpa kontrol.

Tabel 3. Kenaikan suhu baterai penelitian sebelumnya [4].

Beban Lampu (watt)	Kenaikan Suhu Baterai (°C)	
	Kontrol Fuzzy	Tanpa Kontrol
10	2.44	2.52
20	3.47	4.23
30	8	8.69

### 3.3. Karakteristik kapasitas baterai

Selanjutnya menghitung kapasitas baterai pada pengujian discharge baterai dengan pembebanan daya lampu 5 watt, 8 watt dan 16 watt dengan persamaan rumus (3) dan (4). Perhitungan kapasitas terpakai baterai dilakukan pada 10 menit awal pengujian dan setiap 10 menit selanjutnya. Jika nilai kapasitas setiap 10 menit sudah didapatkan hingga pengujian selesai, kapasitas seluruhnya akan diakumulasi untuk mengetahui kapasitas yang terpakai seperti yang dijabarkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas discharging baterai setelah pengujian

Beban Lampu (watt)	Kapasitas Baterai (Ah)	
	Kontrol Fuzzy	Tanpa Kontrol
5	3.073	2.742
8	2.808	2.581
16	2.631	2.358

Tabel 4 menunjukkan bahwa pengujian discharging baterai dengan beban 8 watt tanpa kontrol FIS menghasilkan kapasitas baterai sebesar 2,581 Ah sedangkan menggunakan fuzzy sebesar 2.808 Ah. Kapasitas baterai maksimum dihitung dengan pengujian pada beban 16 watt tanpa kontrol FIS, sehingga menghasilkan kapasitas baterai sebesar 2,358 Ah. Namun ketika menggunakan kontrol FIS, kapasitas baterai uji yang dihitung adalah 2,631 Ah pada beban 16 Watt.

## 4. PENUTUP

Pada penelitian ini membuktikan bahwa kontrol FIS mampu menunda kenaikan suhu baterai dengan menstabilkan arus, sehingga didapatkan proses discharge baterai lebih lama. Contohnya pada penggunaan pengujian dengan pembebanan lampu berdaya 5 watt, sistem kontrol fuzzy mampu membuat baterai dengan kapasitas sebesar 3300 mAh dan tegangan 11.1 Volt dapat menstabilkan arus 0.3 A mulai menit ke-3 hingga baterai tidak dapat digunakan lagi di menit ke-63. Hal ini juga berdampak pada tertundanya kenaikan suhu pada baterai, penggunaan kontrol fuzzy mampu menunda kenaikan suhu dengan waktu 14 menit bila dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol. Kenaikan suhu sangat berdampak bagi proses discharge baterai karena hal tersebut mempengaruhi kecepatan proses discharge baterai. Saran pengembangan selanjutnya adalah dengan mengimplementasikan jenis FIS yang lain seperti Adaptive Fuzzy Logic Inference dan sistem kontrol yang lebih baru, sehingga penstabilan suhu dan pengurangan kenaikan suhu baterai dapat lebih optimal.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada LP2M Universitas Jember yang telah mendanai penelitian Hibah KeRis – DiMas dengan pendanaan internal di Tahun Anggaran 2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. E. Wibowo and J. Windarta, "Kondisi Gas Bumi Indonesia dan Energi Alternatif Pengganti Gas Bumi," *J. En. Baru & Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.10042.
- [2] M. A. Hakim, E. Heriana, M. A. Hakim, and S. Sukmara, "Perancangan Kendaraan Kampus dengan Penggerak Motor Listrik," *TECHNOMA*, vol. 1, no. 2, 2022.
- [3] J. Xing, B. Leard, and S. Li, "What does an electric vehicle replace?," *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 107, p. 102432, May 2021, doi: 10.1016/j.jeem.2021.102432.
- [4] T. P. Cahyono, T. Hardianto, and B. S. Kaloko, "PENGUJIAN KARAKTERISTIK BATERAI LITHIUM-ION DENGAN METODE FUZZY DENGAN BEBAN BERVARIASI," *JAEL*, vol. 6, no. 3, p. 82, Dec. 2020, doi: 10.19184/jaei.v6i3.19708.

- [5] M. Adaikkappan and N. Sathiyamoorthy, "Modeling, state of charge estimation, and charging of lithium-ion battery in electric vehicle: A review," *Intl J of Energy Research*, vol. 46, no. 3, pp. 2141–2165, Mar. 2022, doi: 10.1002/er.7339.
- [6] W. Chen, J. Liang, Z. Yang, and G. Li, "A Review of Lithium-Ion Battery for Electric Vehicle Applications and Beyond," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 4363–4368, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.783.
- [7] U. Nursusanto, K. Khairunnisa', and H. Hartoyo, "Real Time Battery Monitoring Control in Mini Generating System," *JEE*, vol. 6, no. 2, pp. 96–104, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.54299.
- [8] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, Mar. 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [9] D. Harjono, W. Widodo, H. Sugiarto, and A. Bakar, "Analisis Kapasitas Dan Pengisian Baterai Pada Mobil Listrik Poncar," *ELIT*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2022, doi: 10.31573/elit.v3i1.378.
- [10] D. D. Suranto, S. Anwar, M. Nuruddin, A. Rofi'i, and A. T. Zain, "Analisa Perancangan dan Pengujian Kendaraan Listrik Roda Dua dengan Variasi Pembebanan," *j-proteksion. j. kaji. ilm. dan. teknologi. teknik. mesin.*, vol. 7, no. 2, pp. 47–53, Feb. 2023, doi: 10.32528/jp.v7i2.8927.
- [11] A. Y. B. Dawe, "Electricity Monitoring System based on Fuzzy Logic and Internet of things," *IOTA*, vol. 1, no. 2, pp. 63–80, May 2021, doi: 10.31763/iota.v1i2.459.
- [12] R. Septiani and I. G. Waluyo, "RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI TITIK KEBAKARAN DENGAN METODE FUZZY LOGIC BERBASIS IOT PADA MTS AL-DZIKRI," *OKTAL : Jurnal Ilmu Komputer Dan Sains*, vol. 2, no. 2, pp. 450–459, 2023.
- [13] K. W. Aji, A. G. Putrada, S. Prabowo, and M. A. Saputra, "Water Discharge and River Depth Measurement Using Fuzzy Logic Based on Internet of Things," *RESTI*, vol. 4, no. 3, pp. 384–391, Jun. 2020, doi: 10.29207/resti.v4i3.1785.
- [14] A. Rianto and J. Kusanti, "Identifikasi Kerusakan Dini Otomatis Komponen Elektronika Berbasis Arus Dengan Mikrokontrol Arduino Uno," *Jurnal FORTECH*, vol. 4, no. 2, pp. 33–39, Dec. 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i2.4206.
- [15] V. Gupta, M. Sharma, R. K. Pachauri, and K. N. D. Babu, "A Low-Cost Real-Time IOT Enabled Data Acquisition System for Monitoring of PV System," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 43, no. 20, pp. 2529–2543, Oct. 2021, doi: 10.1080/15567036.2020.1844351.