

Implementasi Sistem Kendali *Fuzzy Logic* pada *Boost Converter* untuk Pengecasan Baterai *Lithium Ion*

Muhammad Ferdillah Ghalib¹, Sumadi², Ageng Sadnowo Repelianto³, F.X. Arinto Setyawan⁴

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹ferdillahghalib7@gmail.com

²sumadi.1973@eng.unila.ac.id

³ageng.sadnowo@eng.unila.ac.id

³fxarinto@eng.unila.ac.id

Intisari — Baterai *lithium ion* memiliki sensitivitas yang tinggi saat proses pengecasan. Pengecasan baterai secara terus-menerus menyebabkan baterai mengalami *over charged*, sehingga dapat mengurangi usia baterai. Untuk menghindari efek buruk tersebut, maka diperlukan adanya pengendalian yang tepat pada saat pengecasan baterai dengan menggunakan *boost converter*. Metode penelitian yang digunakan yaitu inferensi *fuzzy logic* menggunakan metode Mamdani dengan tujuan penelitian untuk mengetahui kinerja penggunaan *boost converter* pada pengecasan baterai *lithium ion* menggunakan sistem kendali *fuzzy logic* dengan membandingkan lama waktu saat pengecasan baterai. Pengambilan data penelitian dilakukan setiap 6 menit yang terdiri dari dua bagian yaitu data pengecasan baterai tanpa menggunakan *fuzzy logic* pada saat *fast*, *normal*, dan *safe mode* yang mana setiap mode dilakukan pengambilan data sebanyak tiga kali percobaan dan data pengecasan baterai menggunakan *fuzzy logic* dilakukan sebanyak dua kali percobaan. Hasil dari pengecasan baterai dengan *safe mode* lebih direkomendasikan dibandingkan *fast mode* dan *normal mode*, dikarenakan dengan mengorbankan lama waktu pengecasan didapatkan proses pengecasan yang lebih sehat, sedangkan pengecasan baterai menggunakan sistem kendali *fuzzy logic* lebih direkomendasikan daripada pengecasan baterai tanpa sistem kendali *fuzzy logic*, hal ini dikarenakan dengan menggunakan *fuzzy logic* terjadinya *auto switching mode* sehingga dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama.

Kata kunci — *fuzzy logic*, *boost converter*, baterai, *lithium ion*, pengecasan.

Abstract — *Lithium ion* batteries have a high sensitivity during the charging process. Charging the battery continuously will cause the battery to be *overcharged*, thereby reducing battery life. To avoid these bad effects, it is necessary to have proper control when charging the battery using a *boost converter*. The research method used is *fuzzy logic* using the Mamdani method with the aim of research to determine the performance of using a *boost converter* in charging *lithium ion* batteries control system *fuzzy logic* by comparing the length of time when charging the battery. Research data retrieval is carried out every 6 minutes which consists of two parts, namely battery charging data using *fuzzy logic* during *fast*, *normal*, and *safe mode* where each *mode* is carried out three experiments of data retrieval and battery charging data using *fuzzy logic* is carried out two experiments. The results of charging the battery with *safe mode* are more recommended than *fast mode* and *normal mode*, because by sacrificing the length of charging time, a healthier charging process can be obtained, while charging the battery using a *fuzzy logic* is more recommended than charging the battery without using *fuzzy logic* because by using *fuzzy logic* an *auto switching mode* so that it can maintain a longer battery health.

Keywords— *fuzzy logic*, *boost converter*, battery, *lithium ion*, charging.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan baterai untuk jangka waktu yang lama membutuhkan baterai yang memiliki kualitas energi yang baik sehingga dapat di isi ulang dalam jangka waktu yang singkat dan juga memiliki *life time* yang panjang [1]. Baterai yang digunakan secara

terus menerus tanpa perawatan baterai yang baik akan menyebabkan baterai tersebut lebih cepat kehilangan daya yang seharusnya, sehingga baterai akan mengalami *over charged*. Panas yang ditimbulkan dapat mengurangi usia baterai, terlebih lagi dapat menyebabkan baterai sewaktu-waktu meledak sehingga dapat membahayakan

pengguna [2]. Baterai *lithium ion* sangat memiliki sensitivitas yang tinggi saat proses pengecasan, sehingga dapat menyebabkan *over charged* [3]. Biasanya dibutuhkan perangkat *converter* untuk mengubah tegangan, seperti menggunakan *boost converter* untuk menaikkan tegangannya atau menggunakan *buck converter* untuk menurunkan tegangannya. Untuk menghindari efek buruk pada baterai tersebut, maka diperlukan adanya pengendalian arus yang tepat pada pengecasan baterai tersebut.

Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini dengan cara membuat alat pengecasan baterai *lithium ion* menggunakan *boost converter* dengan metode *fuzzy logic* dengan membandingkan lama waktu pengecasan baterai antara menggunakan *fuzzy logic* dengan pengecasan *mode fast, mode normal, safe mode*. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis kinerja *boost converter* pada pengecasan baterai *lithium ion* menggunakan sistem kendali *fuzzy logic* dengan membandingkan lama waktu pengecasan baterai antara menggunakan *mode fast, mode normal, safe mode* serta menggunakan *fuzzy logic*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang pengecasan baterai telah dilakukan oleh Haekal (2018) dengan judul penelitian “Sistem Buck Converter untuk Pengisi Baterai dengan Kontrol Fuzzy Logic. Penelitian yang dilakukan oleh Haekal menghasilkan sistem pengisi baterai dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dapat bekerja dengan baik pada saat pengisian baterai ketika SOC berada pada keadaan 45% sampai 90%. Serta, kinerja yang dihasilkan ketika menggunakan metode *fuzzy logic* belum cukup baik, ketika kondisi SOC baterai diatas atau sama dengan 95% pada metode constant voltage arus pada saat pengisian tidak berada pada nilai yang baik untuk pengisian baterai [4].

B. Panel Surya

Sel surya merupakan suatu perangkat jika disinari oleh sinar matahari dapat melepaskan

muatan listrik sehingga muatan dapat bergerak bebas dalam sebuah semikonduktor yang kemudian mengalir melalui beban listrik [5].

C. Lithium Ion

Baterai *litium ion* yang biasa disebut Li-On termasuk salah satu anggota keluarga baterai isi ulang, hal ini terjadi karena adanya penggantian material dari logam lithium menjadi grafit yang memberikan pengaruh terhadap performa baterai lithium ion sehingga menyebabkan baterai lithium ion bisa diisi ulang [6]. Baterai Li Ion juga termasuk baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya [7].

D. Boost Converter

Boost Converter merupakan DC-DC konverter yang dapat menaikkan tegangan DC berdasarkan *duty cycle* mosfet pada rangkaian *boost converter*. *Boost converter* dikenal juga dengan *step-up converter*. Terdapat beberapa komponen yang dibutuhkan *boost converter* antara lain saklar daya, dioda dengan frekuensi tinggi, kapasitor, induktor, dan resistor.

E. Fuzzy Logic

Fuzzy logic merupakan proses pengambilan kesimpulan berdasarkan ketentuan yang bertujuan untuk memecahkan masalah yang mana sistem tersebut sulit untuk disimulasikan atau terdapat kesamaran dan ketidakpastian yang berlimpah. *Fuzzy logic* digunakan untuk menyatakan besaran nilai yang diibaratkan dalam bahasa. *Fuzzy logic* memiliki kelebihan pada penguasaan kelogisan dari segi bahasa, sehingga dalam perancangan tidak memerlukan persamaan matematis yang rumit dari objek yang dikendalikan [8].

III. METODE PENELITIAN

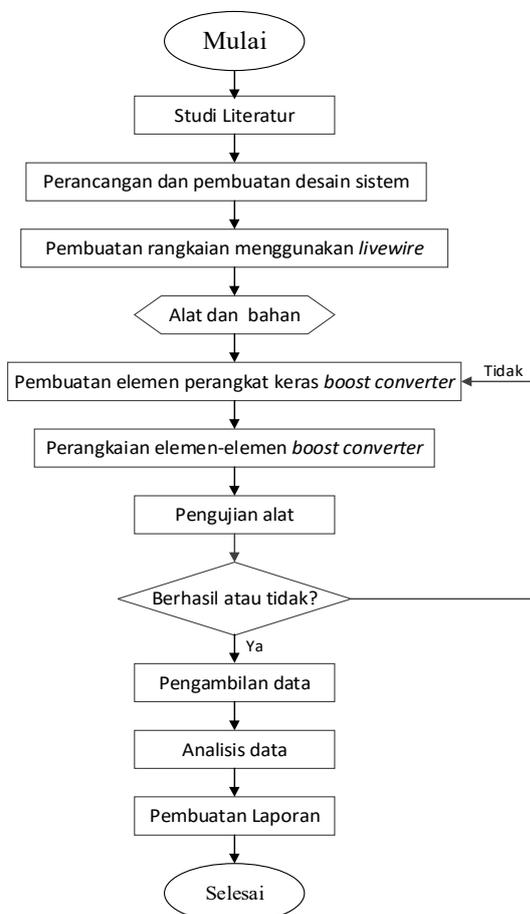
A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu inferensi *fuzzy logic* dengan metode Mamdani, hal ini dikarenakan metode Mamdani menghasilkan algoritma yang

paling optimal untuk sistem pengecasan baterai *lithium ion* dibandingkan metode Sugeno [9]. Fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini adalah bentuk kurva. Defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Centeroid, hal ini dikarenakan hasil nilai dari penggunaan metode defuzzifikasi diambil dari titik pusat pada daerah *fuzzy*.

B. Prosedur Penelitian

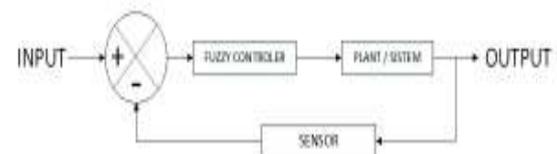
Adapaun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



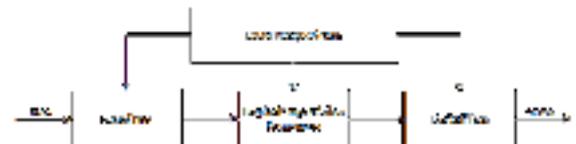
Gbr.1 Diagram Alir

C. Blok Diagram Sistem

Untuk pengecasan baterai pada sistem *boost converter* dengan *fuzzy logic* menggunakan matlab. Digunakannya *software* matlab untuk membuat dan menjalankan simulasi dari sistem *boost converter* untuk pengecasan baterai dengan menggunakan *fuzzy logic* sebagai metode kontrolnya. Berikut merupakan blok diagram sistem.



Gbr.2 Blok Diagram Sistem.



Gbr. 3 Fuzzy Controller.

Pada pengecasan baterai maka diperlukan beberapa metode untuk mengatur arus dan tegangan agar lebih cepat dan aman. Oleh sebab itu, digunakan metode *fuzzy logic* sebagai metode kontrolnya. Hal ini, karena metode *fuzzy logic* dapat mengatur arus dan tegangan secara konstan.

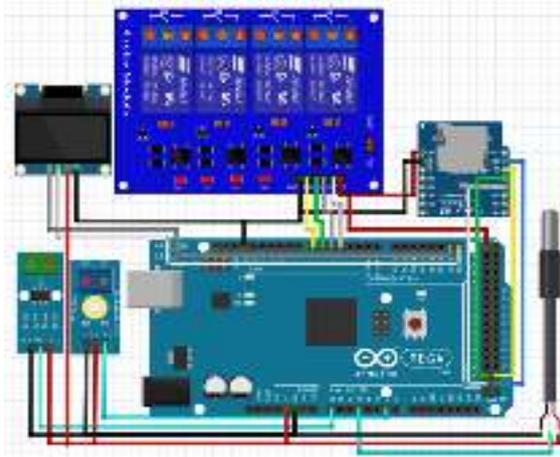
D. Perencanaan Baterai

Pada penelitian ini menggunakan baterai *lithium ion* sebagai baterai yang digunakan untuk simulasi pengecasan baterai. Spesifikasi dari baterai yang digunakan ini adalah baterai Li Ion 22,2 V.

E. Desain Perancangan Pengecasan

Dalam desain perancangan pengecasan ini dibuat bagian-bagian design *circuit* yang memiliki fungsi yang berbeda-beda tetapi saling berkaitan yaitu rangkaian utama terdiri dari mikrokontroller, sensor pembacaan arus dan tegangan, sensor DS18B20, *Real Time Clock* (RTC) dan modul SD card, lalu desain rancangan lainnya berupa rangkaian relay yang mengendalikan proses *switching* pada saat pengecasan baterai yang dapat secara otomatis langsung mengubah ke beberapa mode yang tersedia yaitu *fast*, *normal*, dan *safe mode*.

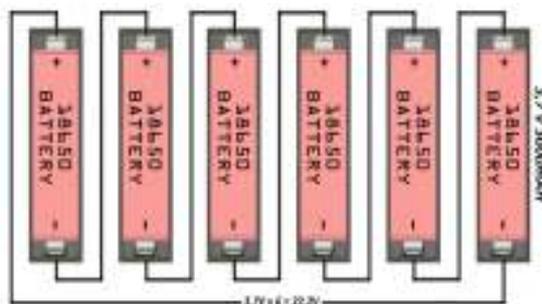
1) Desain Circuit Perancangan



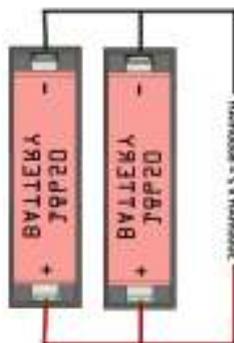
Gbr. 4 Desain *circuit* perancangan.

2) Desain Perancangan Baterai

Desain perancangan baterai, baterai yang digunakan merupakan sony VTC 6 yang bertegangan 3,7 V dan berkapasitas 3000 mA.H. Baterai yang digunakan sebanyak 12 buah baterai sony VTC 6 yang dirakit menjadi satu terdiri dari 2p6s yaitu 2 paralel dan 6 seri. Desain perancangan baterai dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gbr. 5 Desain perancangan baterai secara seri.

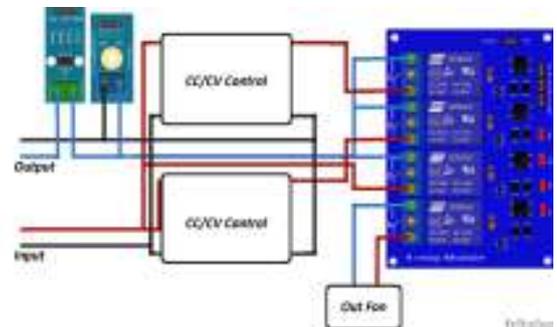


Gbr. 6 Desain perancangan baterai secara paralel.

3) Desain Perancangan Switching Relay

Pada desain perancangan ini terdapat sistem *switching relay* yang berfungsi sebagai pemindah *mode* dan tindakan yang

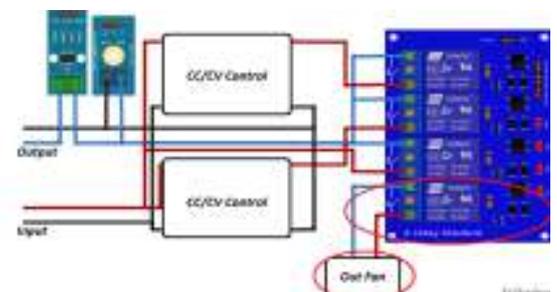
dikondisikan ke baterai, yang mana pengaturan ini didapat dari input mikrokontroler, *input* pada *switching relay* ini berasal dari *input* sensor suhu pada kondisi pengecasan baterai.



Gbr. 7 Desain perancangan sistem *switching relay*.

4) Relay 1

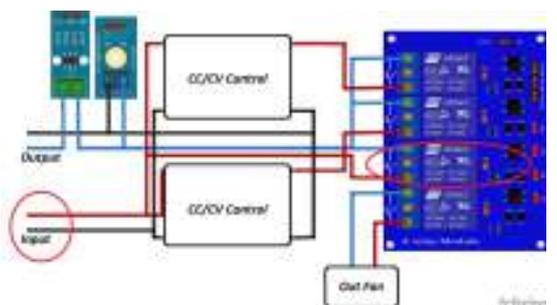
Relay satu merupakan tindakan yang dihasilkan dari mikrokontroler yang membuat *relay* satu bernilai tinggi, sehingga kipas yang tersambung pada *relay* akan hidup dan membuat kondisi suhu menjadi turun.



Gbr. 8 Relay 1.

5) Relay 2

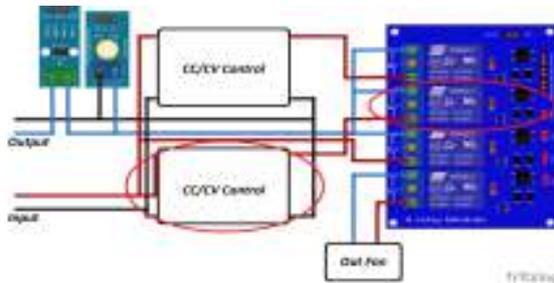
Relay dua berfungsi sebagai *input* dari *supply*, sehingga *input* dari *supply* dapat langsung tersalurkan ke *output*.



Gbr. 9 Relay 2.

6) Relay 3

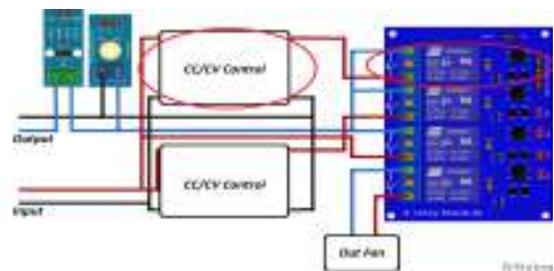
Relay 3 berfungsi sebagai *normal mode*, apabila kondisi memasuki parameter yang terdapat pada *normal mode* maka *relay 3* akan aktif dan mengalirkan tegangan dari *cc/cv control* ke *otput* yang mana pada *normal mode* ini, *input* yang diberikan ke baterai sebesar 2,75A.



Gbr. 10 Relay 3.

7) Relay 4

Pada *relay 4* ini berfungsi sebagai *safe mode*, apabila suhu terlampaui panas dengan parameter tertentu maka akan terjadi *switching mode* yaitu berpindah ke *safe mode*. *Input* yang diberikan dari *safe mode* ke baterai sebesar 2,5A.



Gbr. 11 Relay 4.

F. Desain Layout pada Board

Desain *layout* pada *board* ini merupakan hasil pemasangan dan rancangan yang telah di terapkan ke *board* yang di sediakan, dimana layar 1 terdiri dari sensor tegangan, sensor arus, sensor *DS18B20 RTC*, *oled display*, dan modul *SD card*, sedangkn pada layar ke dua terdapat *relay* dan *cc cv control* yang mana *cc/cv control* ini berfungsi sebagai kontrol arus yang masuk ke baterai dan *input* untuk menjadi *output*.



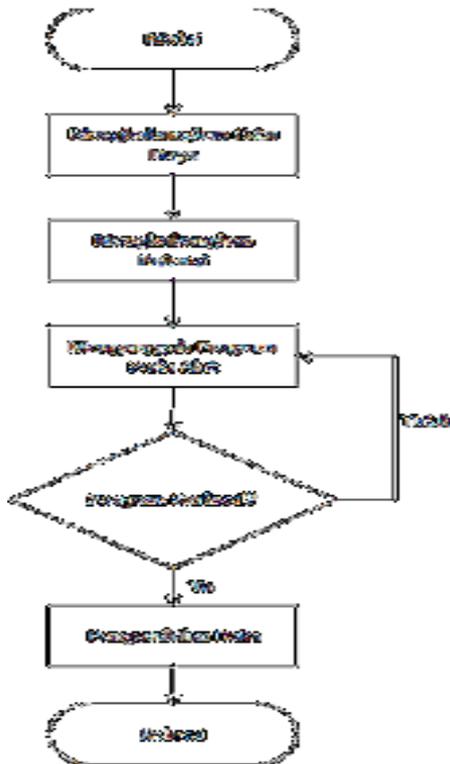
Gbr. 12 Desain full sistem dan proses pengecasan.

G. Pengujian Sistem

Untuk mengetahui hasil kinerja maka dilakukan pengujian sistem pada alat. Pengujian sistem ini dilakukan ketika pembuatan alat telah berhasil. Adapun pengujian sistem pada penelitian ini adalah pengujian setiap komponen dengan tujuan untuk mengetahui spesifikasi komponen sehingga komponen dapat bekerja dengan baik pada system, pengujian program untuk mengetahui program yang dirancang pada dapat berjalan secara sesuai dengan sistem. Pengujian program ini dilakukan antara *fuzzy logic* dengan sensor-sensor yang digunakan pada sistem, yang terakhir, yaitu pengujian alat yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dari pengontrolan *fuzzy logic* pada pengecasan baterai menggunakan sistem *boost converter*.

H. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses pengisian dan pengambilan tindakan yang tepat. Pengambilan data dilakukan dengan prosedur seperti Gambar 13.



Gbr. 13 Prosedur Pengambilan Data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Pengecasan Baterai

Metode pengecasan yang paling sering digunakan adalah *Constant Voltage (CV)*, *Constant Current (CC)* dan *Taper Current*. Metode pengecasan yang paling sering digunakan untuk proses pengecasan dengan menentukan besar arus pengisian sehingga didapatkan proses pengecasan sesuai dengan waktu yang diinginkan adalah metode arus konstan. Lamanya waktu pengecasan didapat dihitung menggunakan persamaan (1) dibawah ini:

$$Time = \frac{Ah}{A} \tag{1}$$

Dimana:

- Time* : Lama pengisian baterai (*hours*)
- AH* : Besar kapasitas baterai (*ampere hours*)
- A* : Besar arus pengisian (*ampere*)

Pada penelitian ini menggunakan yaitu baterai rakitan 22,2 V VTC 6 dan menggunakan metode pengecasan *constant current (CC)*. Lama waktu pengisian baterai pada *fast mode* adalah

$$Time = \frac{Ah}{A} = \frac{6 Ah}{4 A} = 1,5 h$$

Lama waktu pengisian baterai pada normal mode adalah

$$Time = \frac{Ah}{A} = \frac{6 Ah}{2,75 A} = 2,18 h$$

Lama waktu pengisian baterai pada safe mode adalah

$$Time = \frac{Ah}{A} = \frac{6 Ah}{2,5 A} = 2,4 h$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proses pengecasan baterai pada saat *fast mode* membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *fast mode* dan normal mode dengan menggunakan metode pengecasan CC dikarenakan waktu pengisian baterai dapat diatur sesuai kebutuhan dengan meningkatkan besar arus pengisian baterai.

B. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Logic

Variabel penelitian merupakan suatu atribut, objek, atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditentukan oleh peneliti [10]. Variabel memiliki makna dan nilai tersendiri ketika sudah diteliti. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1. Variabel input dan output.

Variabel	Himpunan fuzzy	Dominan	Semesta Pembicaraan
Suhu	Dingin	[0 12]	[0 60]
	Sejuk	[10 24]	
	Normal	[20 31]	
	Hangat	[29 34]	
	Panas	[39 60]	
Pengecas-an	Fast	[0 30]	[0 60]
	Normal	[20 40]	
	Safe	[39 60]	
Kipas	Hidup	[0 30]	[0 60]
	Mati	[26 60]	

Tabel 2. Dominan.

Fungsi	Variabel	Himpunan fuzzy	Semesta Wacana
Input	Suhu	Dingin	[0 60]
		Sejuk	
		Normal	
		Hangat	
		Panas	
Output	Pengecasan	Fast	[0 60]
		Normal	
		Safe	
	Kipas	Hidup	[0 60]
		Mati	

1) Fungsi Keanggotaan Suhu

Himpunan fuzzy dari variabel suhu terdiri dari dingin, sejuk, normal, hangat, dan panas. Fungsi keanggotaan suhu berisikan range [0 60]. Untuk himpunan dingin dan panas berbentuk kurva trapesium, sedangkan untuk himpunan sejuk, normal, dan hangat berbentuk kurva segitiga, seperti pada Gbr 4.2. Adapun bentuk fungsi keanggotaan suhu dari masing-masing himpunan adalah sebagai berikut.

$$\mu_{Dingin} = \begin{cases} 1; & x \leq 10 \\ \frac{12-x}{2}; & 10 \leq x \leq 12 \\ 0; & x \geq 12 \end{cases}$$

$$\mu_{Sejuk} = \begin{cases} \frac{x-10}{2}; & 10 \leq x \leq 12 \\ 1; & 12 \leq x \leq 20 \\ \frac{24-x}{4}; & 20 \leq x \leq 24 \end{cases}$$

$$\mu_{Normal} = \begin{cases} \frac{x-20}{4}; & 20 \leq x \leq 24 \\ 1; & 24 \leq x \leq 29 \\ \frac{31-x}{2}; & 29 \leq x \leq 31 \end{cases}$$

$$\mu_{Hangat} = \begin{cases} \frac{x-29}{2}; & 29 \leq x \leq 31 \\ 1; & 31 \leq x \leq 39 \\ \frac{41-x}{2}; & 39 \leq x \leq 41 \end{cases}$$

$$\mu_{Panas} = \begin{cases} \frac{x-39}{2}; & 39 \leq x \leq 41 \\ 1; & x \geq 41 \end{cases}$$

2) Fungsi Keanggotaan Kipas

Himpunan fuzzy dari variabel kipas terdiri dari hidup dan mati. Fungsi keanggotaan kipas berisikan range [0 60]. Pada Untuk himpunan mati berbentuk kurva linear turun sedangkan untuk himpunan hidup berbentuk kurva linear naik, seperti pada Gambar 16 Adapun bentuk fungsi keanggotaan kipas

dari masing-masing himpunan adalah sebagai berikut.

$$\mu_{Mati} = \begin{cases} 1; & x \leq 16 \\ \frac{30-x}{14}; & 16 \leq x \leq 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{Hidup} = \begin{cases} 0; & x \leq 26 \\ \frac{x-26}{14}; & 26 \leq x \leq 30 \\ 1; & x \geq 40 \end{cases}$$

3) Fungsi Keanggotaan Pengecasan

Himpunan fuzzy dari variabel pengecasan terdiri dari fast, normal, dan safe. Fungsi keanggotaan pengecasan berisikan range [0 60]. Untuk himpunan fast dan safe berbentuk kurva trapesium, sedangkan untuk himpunan normal berbentuk kurva segitiga, seperti pada Gambar 17. Adapun bentuk fungsi keanggotaan kipas dari masing-masing himpunan adalah sebagai berikut.

$$\mu_{Fast} = \begin{cases} 1; & x \leq 20 \\ \frac{30-x}{10}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

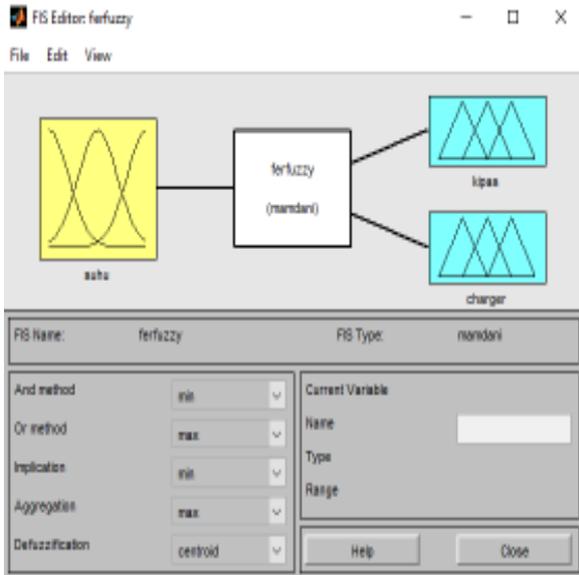
$$\mu_{Normal} = \begin{cases} \frac{x-20}{10}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & 30 \leq x \leq 40 \\ \frac{40-x}{12}; & 28 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{Safe} = \begin{cases} \frac{x-28}{12}; & 28 \leq x \leq 40 \\ 1; & x \geq 40 \end{cases}$$

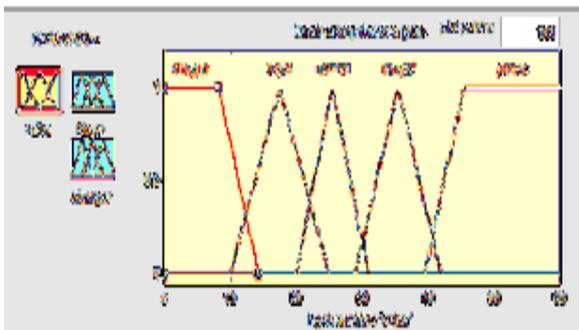
C. Membership dan Hasil Matlab

Terdapat satu input pada kontrol logika fuzzy, yaitu suhu, sedangkan untuk output yaitu kecepatan pengecasan dan kontrol kipas. Input dari logika fuzzy mempunyai nilai keanggotaan (membership function) yang direpresentasikan dalam bentuk kurva trapesium dan kurva segitiga. Membership fuzzy logic dapat dilihat pada Gambar 14.

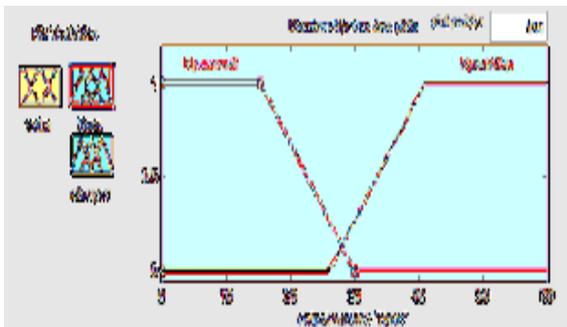
Pada input suhu terdapat 5 membership yang dapat dilihat pada Gambar 15. Pada input kipas terdapat 2 membership yang dapat dilihat pada Gambar 16, sedangkan input pengecasan terdapat 3 membership yang dapat dilihat pada Gambar 17.



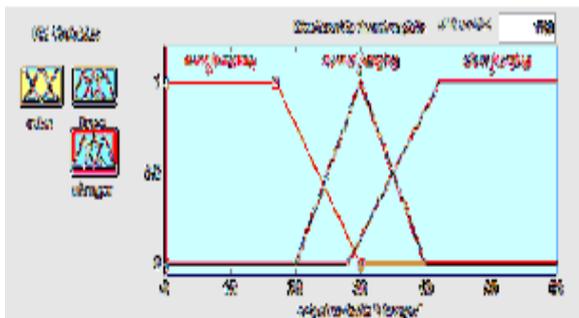
Gbr. 14 Membership fuzzy logic.



Gbr.15 Membership suhu.



Gbr. 16 Membership kipas.



Gbr. 17 Membership pengecasan.

D. Rule Fuzzy

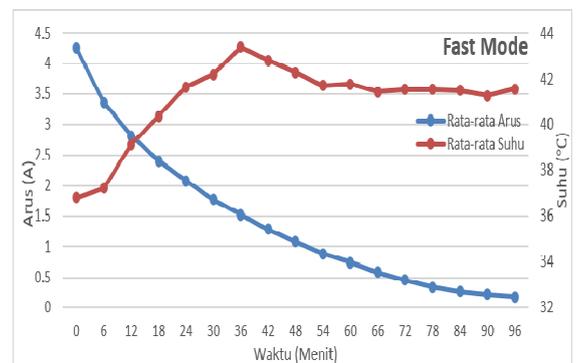
Rule fuzzy yang digunakan pada saat pengecasan baterai yaitu ada 2 rule fuzzy. Rule fuzzy yang digunakan pada saat pengambilan data ke-1 sebanyak 20 rule sedangkan untuk pengambilan data ke-2 sebanyak 11 rule.

E. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian terdiri dari dua bagian utama yaitu data pengecasan baterai tanpa menggunakan fuzzy logic pada saat fast mode, normal mode, dan safe mode dan data pengecasan baterai menggunakan fuzzy logic, yang mana masing-masing datanya diambil setiap 6 menit.

1) Data Pengecasan Baterai Pada Fast Mode

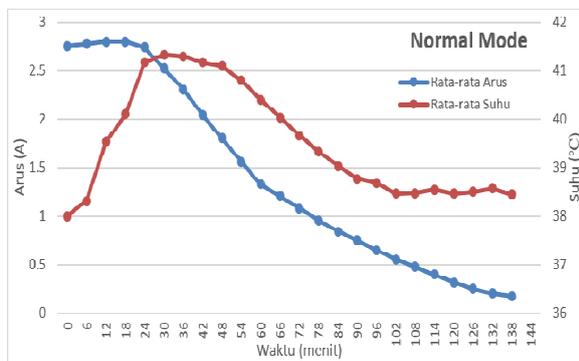
Dapat dilihat pada grafik, nilai rata-rata dari 3 percobaan pada saat proses pengecasan baterai terhadap lama waktu pengecasan dan arus pengecasan memiliki nilai yang bervariasi, artinya nilai arus pengisian semakin berkurang dengan bertambahnya state of charge dari baterai dimana data yang diperoleh untuk mengindikasikan baterai terisi penuh adalah sebesar 0.18 A. Pada grafik terhadap suhu dan waktu pengecasan, data suhu pada awal pengecasan yaitu sebesar 36,8 °C, sedangkan suhu pada saat pengecasan selesai yaitu sebesar 41,55 °C, artinya semakin lama waktu pengecasan baterai maka suhu yang dihasilkan terdapat adanya peningkatan.



Gbr. 18 Grafik proses pengecasan baterai pada fast mode.

2) Data Pengisian Baterai Pada Normal Mode

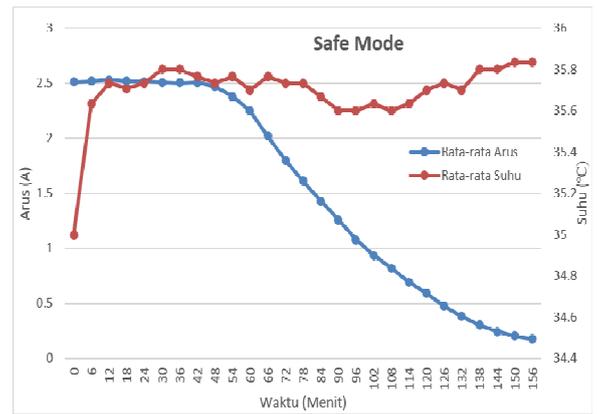
Dapat dilihat pada grafik, nilai rata-rata 3 percobaan pada saat proses pengisian baterai terhadap lama waktu pengisian dan arus pengisian memiliki nilai yang bervariasi, artinya nilai arus pengisian semakin berkurang dengan bertambahnya *state of charge* dari baterai dimana data yang diperoleh untuk mengindikasikan baterai terisi penuh adalah sebesar 0.175 A. Pada grafik terhadap suhu dan waktu pengisian, data suhu pada awal pengisian yaitu sebesar 38 °C, sedangkan suhu pada saat pengisian selesai yaitu sebesar 38,45 °C, artinya semakin lama waktu pengisian baterai maka suhu yang dihasilkan terdapat adanya peningkatan.



Gbr.18 Grafik proses pengisian baterai pada normal mode.

3) Data Pengisian Baterai Pada Safe Mode

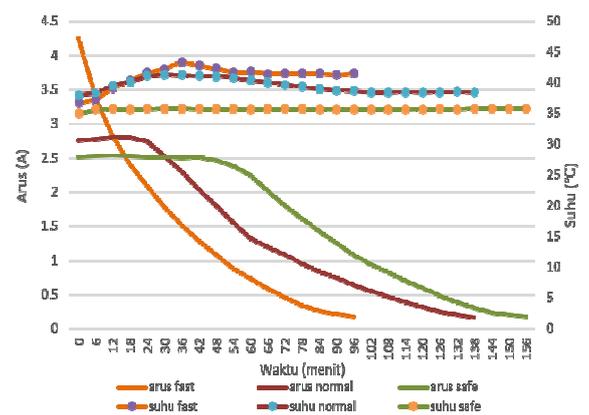
Dapat dilihat pada grafik, nilai rata-rata 3 percobaan pada saat proses pengisian baterai terhadap lama waktu pengisian dan arus pengisian memiliki nilai yang bervariasi, artinya nilai arus pengisian semakin berkurang dengan bertambahnya *state of charge* dari baterai dimana data yang diperoleh untuk mengindikasikan baterai terisi penuh adalah sebesar 0.18 A. Pada grafik terhadap suhu dan waktu pengisian, data suhu pada awal pengisian yaitu sebesar 35 °C, sedangkan suhu pada saat pengisian selesai yaitu sebesar 35,83 °C artinya semakin lama waktu pengisian baterai maka suhu yang dihasilkan terdapat adanya peningkatan.



Gbr.19 Grafik proses pengisian baterai pada safe mode.

4) Perbandingan Rata-rata Pengisian Baterai Pada Mode Fast, Normal, dan Safe

Pengambilan data pengisian baterai dilakukan setiap 6 menit dengan banyak percobaan di masing-masing mode sebanyak 3 kali percobaan.



Gbr. 20 Grafik Perbandingan rata-rata pengisian baterai pada mode fast, normal, dan safe.

Berdasarkan grafik diatas, rata-rata pengisian baterai sampai baterai diindikasikan terisi penuh pada *fast mode*, *normal mode*, dan *safe mode* secara berurutan sebesar 0,18 A; 0,175 A; 0,18 A dengan waktu yang dibutuhkan secara berurutan yaitu 96 menit, 138 menit, dan 156 menit. Pengisian pada saat *fast mode* memiliki waktu pengisian yang paling cepat yaitu 96 menit, sedangkan yang memiliki waktu pengisian paling lama yaitu 156 menit pada saat *safe mode*.

Pada saat *fast mode*, data suhu pada awal pengisian sebesar 36,8 °C, sedangkan suhu pada saat pengisian selesai sebesar 41,55 °C

yang mana rata-rata suhu pengecasan sebesar $41,06^{\circ}\text{C}$. Pada saat normal *mode*, data suhu pada awal pengecasan sebesar 38°C sedangkan suhu pada saat pengecasan selesai yaitu sebesar $38,45^{\circ}\text{C}$ yang mana rata-rata suhu pengecasan sebesar $39,5^{\circ}\text{C}$. Pada saat *safe mode*, data suhu pada awal pengecasan sebesar 35°C sedangkan suhu pada saat pengecasan selesai yaitu sebesar $35,83^{\circ}\text{C}$ yang mana rata-rata suhu pengecasan sebesar $35,69^{\circ}\text{C}$. Pengecasan yang memiliki rata-rata suhu paling tinggi yaitu pada saat *fast mode* sebesar $41,55^{\circ}\text{C}$, sedangkan rata-rata suhu paling rendah yaitu pada saat *safe mode* sebesar $35,69^{\circ}\text{C}$.

Pengecasan baterai dengan *safe mode* lebih direkomendasikan dibandingkan *fast mode* dan *normal mode* dikarenakan dengan mengorbankan lama waktu pengecasan didapatkan proses pengecasan yang lebih sehat, sehingga dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama.

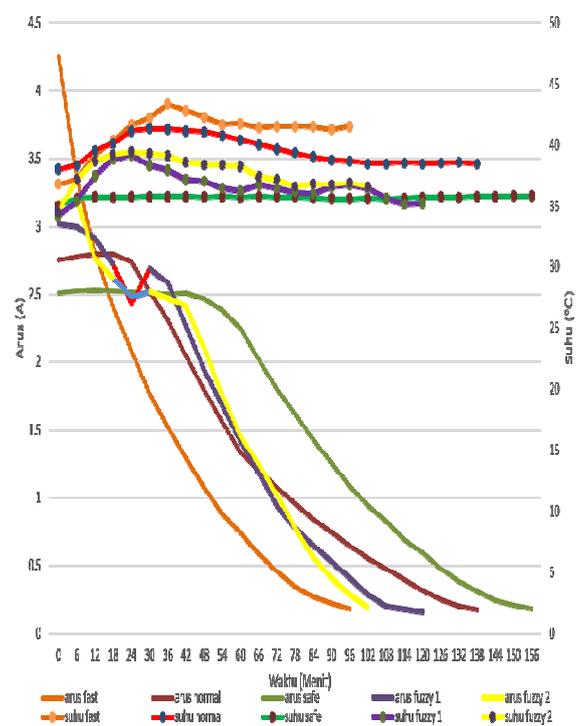
5) Perbandingan Data Pengecasan Baterai Menggunakan Fuzzy Logic dengan Rata-Rata Pengecasan Baterai Pada Mode Fast, Normal, dan Safe

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan saat pengecasan baterai pada *mode fast*, *normal*, dan *safe* dengan tiga data percobaan diperoleh rata-rata pengecasan baterai dari masing-masing *mode*, kemudian dilakukan perbandingan dengan 2 data hasil penelitian pengecasan baterai berdasarkan suhu dengan menggunakan *fuzzy logic*, yang mana data masing-masing percobaan diambil setiap 6 menit. Perbandingan data pengecasan baterai dapat dilihat pada Gambar 21.

Dua data pengecasan baterai berdasarkan suhu dengan menggunakan *fuzzy logic* memiliki nilai data hasil yang berbeda-beda dan perubahan *switching* pada *relay* juga berbeda-beda yang mana menghasilkan lama waktu pengecasan dan suhu pengecasan yang berbeda-beda. Pengambilan data arus *fuzzy 1* yang ditunjukkan dengan warna ungu tua pada grafik membutuhkan waktu selama 120 menit sampai baterai terindikasi penuh, sedangkan pengambilan data arus *fuzzy 2* yang ditunjukkan dengan warna ungu tua membutuhkan waktu selama 102 menit

sampai baterai terindikasi penuh, artinya arus *fuzzy ke-2* menghasilkan waktu pengecasan yang lebih cepat dibandingkan data pengambilan yang pertama.

Switching mode pada arus *fuzzy 1* dan arus *fuzzy 2* terjadi pada saat yang sama yaitu menit ke-18 dari *fast mode* ke *normal mode*, kemudian menit ke-24 dari *normal mode* ke *safe mode*, lalu pada menit ke-30 dari *safe* ke *normal mode*. Adapun perbedaan yang dihasilkan dari 2 data percobaan *fuzzy logic* yaitu pada perubahan besar arus dan suhu. Perubahan arus pada data arus *fuzzy 2* tidak signifikan dibandingkan data arus *fuzzy 1*.



Gbr. 21 Grafik Perbandingan rata-rata pengecasan baterai pada *mode fast*, *normal*, *safe* dengan pengecasan baterai berdasarkan suhu menggunakan *fuzzy logic*.

Untuk pengecasan baterai terhadap suhu, pengambilan data *fuzzy ke-1* menghasilkan rata-rata suhu sebesar $36,62^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata suhu pada saat pengecasan baterai menggunakan *fuzzy logic* saat pengambilan data ke-2 sebesar $37,73^{\circ}\text{C}$, artinya rata-rata suhu data fuzzy ke-2 lebih tinggi dibandingkan data fuzzy ke-1, dikarenakan *rule* pada *fuzzy* yang berbeda.

Pengecasan baterai menggunakan *fuzzy logic* lebih direkomendasikan daripada pengecasan baterai dengan *mode fast*, *normal*, dan *safe mode*, hal ini dikarenakan dengan

menggunakan *fuzzy logic* terjadinya *auto switching mode* sehingga dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja penggunaan *boost converter* pada pengecasan baterai *lithium ion* menggunakan sistem kendali *fuzzy logic* dengan membandingkan lama waktu saat pengecasan baterai pada mode *fast*, normal, serta *safe mode*
2. Lama waktu pengecasan baterai pada mode *fast*, mode normal, serta *safe mode* sangat bervariasi bergantung dengan arus yang diberikan
3. Berdasarkan data hasil pengecasan baterai *lithium ion* pada *fast mode*, normal mode, dan *safe mode* secara berurut-urut sebesar 0,18 A; 0,175 A; 0,18 A dengan waktu yang dibutuhkan secara berurut-urut yaitu 96 menit, 138 menit, dan 156 menit
4. Pengecasan baterai dengan *safe mode* lebih direkomendasikan dibandingkan *fast mode* dan normal mode dikarenakan dengan mengorbankan lama waktu pengecasan didapatkan proses pengecasan yang lebih sehat, sehingga dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama.
5. Pengecasan baterai menggunakan *fuzzy logic* lebih direkomendasikan daripada pengecasan baterai dengan mode *fast*, normal, dan *safe*. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan *fuzzy logic* terjadinya *auto switching mode* sehingga dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diajukan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dimana dapat ditambahkan notifikasi ke pengguna yaitu penambahan konsep *Internet of things* yang mana konsep dari

internet of things adalah dapat berkomunikasi, mengendalikan, menghubungkan, dan bertukar data melalui alat lain selama masih terhubung ke jaringan.

2. Dapat dilakukannya penggantian mikrocontroller arduino ke esp32 yang mana esp32 merupakan pengganti esp8266, sehingga penambahan notifikasi dan kontrol dari jauh lebih efisien karena sudah termasuk *bluetooth*, *wifi*, dan penambahan lainnya dibandingkan arduino, kemudian dengan desain yang lebih kecil dapat memperkecil sistem pengecasan yang mana bisa menambah mobilitas saat perpindahan tempat pengecasan (portabel).
3. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya menggunakan metode *fuzzy logic*, tetapi dapat juga menggunakan metode lainnya, sehingga dapat membandingkan antara *fuzzy logic* dan metode yang lainnya.
4. Dapat dilakukannya pengecasan metode *fuzzy logic* dengan menggunakan jenis baterai yang lain, contohnya baterai *lithium polymer*. Dengan adanya perbedaan baterai yang digunakan, diharapkan dapat mengetahui apakah pengecasan dengan metode *fuzzy logic* dapat diterapkan pada baterai lain dan mengetahui perbedaan karakter pengecasan baterai tersebut.

REFERENSI

- [1] Rivani, R., Hiendro, A., Syaifurrahman, "Studi Perancangan dan Analisis Sistem Pengecasan Cerdas (Smart Charger) Baterai," Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura., vol. 2, no. 1, pp. 1-10, 2019.
- [2] King, B. F., Panjaitan, S. D., Hartoyo, A, "Sistem Kontrol Charging dan Discharging Serta Monitoring Kesehatan Baterai," Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura., vol. 1, no. 1, pp. 1-15, 2020.
- [3] Arfianto, D, F., Asfani, D, A., Fahmi, D, "Pemantauan, Proteksi, dan Ekuivalisasi Baterai Lithium-ion Tersusun Seri Menggunakan Konverter Buck-Boost dan LC Seri dengan Kontrol Synchronous Phase Shift," Jurnal Teknik ITS., vol. 5, no. 2, pp. B122-127, 2016.

- [4] Haekal, I, “Sistem Buck Converter Untuk Pengisi Baterai Dengan Kontrol Fuzzy Logic,” S.T. Skripsi, Universitas Jember., Jember, 2018.
- [5] Hu, C. & R. M. White, “Solar Cell: From Basics to Advance Systems”. Berkeley: McGraw-Hill Inc, 1983.
- [6] Julisman, A., Sara, I. D., Siregar, R. H, “Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomatis Atap Stadion Bola,” Jurnal Online Teknik Elektro, vol. 2, no. 1, pp. 35-42, 2017.
- [7] Rohman, F, “Aplikasi Graphene Untuk Lithium Ion Battery”. Bandung: Institut Teknologi. Bandung.
- [8] Sarwono, C., “Perancangan Program Pengambilan Keputusan Dengan Menggunakan Fuzzy Query Database,” S.T. Skripsi, Universitas Bina Nusantara., Jakarta, 2007.
- [9] Faqih, M. R., Windarko, N. A., Wahjono, E, “Sistem Baterai Balancing Pasif Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Tipe Mamdani Untuk Baterai Pack Lithium,” Jurnal J-Innovation, vol. 10, no. 2, pp. 34-43, 2021.
- [10] Sugiyono, “Statistika untuk penelitian”. Bandung: Alfabeta, 2017.