

Desain dan Implementasi Elektronik Speed Kontrol Untuk Sepeda Listrik Menggunakan Logika Fuzzy

Farid Dzaky Elfarabi¹, Septyana Riskitasari²

e-mail: elfarabi.farid16@gmail.com, septyana_riskitasari@polinema.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No. 9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 5 Mei 2025

Direvisi 28 Mei 2025

Diterbitkan 31 Mei 2025

Kata kunci:

Logika Fuzzy

Sepeda Listrik

Kontrol Kecepatan Elektronik

ABSTRAK

Penggunaan sepeda listrik sebagai mobilitas yang ramah lingkungan terus meningkat akhir akhir ini, namun masih banyak kendala dalam efisiensi penggunaan dan kendali kecepatan optimal. Penelitian ini merancang sebuah *Electronic Speed Control (ESC)* Berbasis logika fuzzy untuk meningkatkan efisiensi serta kenyamanan berkendara. Sistem ini dibangun menggunakan ESP32, motor DC brushed MY1016Z, baterai LiFePO4 24V 6Ah, dan driver BTS7960. Logika fuzzy menerima empat input utama: beban pengendara, kecepatan, arus, dan kapasitas baterai; lalu menghasilkan dua output: daya dan estimasi jarak tempuh. Pengujian dilakukan pada lintasan landai dengan variasi beban 60 kg dan 70 kg serta sudut throttle 36°, 48°, dan 72°. Hasil menunjukkan bahwa ESC berbasis fuzzy meningkatkan kecepatan rata-rata hingga 1,54 km/jam dibanding sistem konvensional. Sistem juga mampu menyesuaikan daya berdasarkan kondisi aktual, mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu. Dengan hasil ini, logika fuzzy terbukti efektif dalam mengoptimalkan performa sebuah sepeda listrik.

ABSTRACT

The use of electric bicycles as an eco-friendly mobility solution continues to grow, yet efficiency and optimal speed control remain challenging. This study designs and implements an Electronic Speed Control (ESC) system based on fuzzy logic to improve riding efficiency and comfort. The system uses ESP32, a brushed DC motor MY1016Z, a 24V 6Ah LiFePO4 battery, and a BTS7960 driver. The fuzzy logic receives four main inputs: rider load, speed, current, and battery capacity; and produces two outputs: required power and estimated range. Testing was conducted on flat terrain with variations in load (60 kg and 70 kg) and throttle angles (36°, 48°, and 72°). Results show that the fuzzy-based ESC increased average speed by up to 1.54 km/h compared to the conventional system. The system also adapts power output based on real-time conditions, reducing unnecessary energy consumption. These results demonstrate that fuzzy logic is effective in optimizing electric bicycle performance.

Keywords:

Fuzzy Logic

Electronic Bicycle

Electronic Speed Control

Penulis Korespondensi:

Farid Dzaky Elfarabi,

Jurusan Teknik Mesin,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, Kode Pos 65141.

Email: elfarabi.farid16@gmail.com

Nomor HP/WA aktif: +62 858-8473-3130



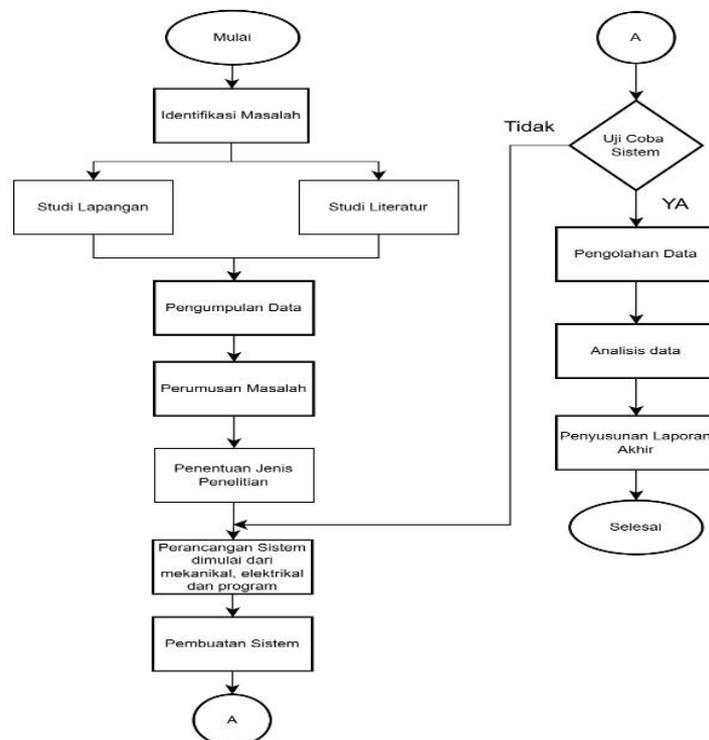
1. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik telah menunjukkan kemajuan yang signifikan sebagai solusi untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil dalam sektor transportasi [1]. Di antara berbagai jenis kendaraan listrik, sepeda listrik muncul sebagai alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis. Meskipun sepeda listrik menawarkan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan listrik lainnya, banyak model yang terjangkau sering kali memiliki keterbatasan dalam fitur, terutama dalam hal sistem kendali kecepatan dan efisiensi penggunaan daya baterai [2]. Dalam kondisi jalan yang bervariasi, pengendalian kecepatan yang tidak optimal dapat menyebabkan pemborosan daya dan menurunkan kenyamanan berkendara. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan sistem pengendalian kecepatan yang lebih cerdas dan adaptif, salah satunya melalui penerapan metode logika fuzzy dalam sistem Electronic Speed Control (ESC).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan metode fuzzy logic dalam sistem kendali kendaraan listrik. Sebagai contoh, studi oleh Brafianto [3] menunjukkan bahwa penerapan fuzzy logic dalam manajemen penyimpanan energi kendaraan listrik dapat meningkatkan efisiensi daya secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, penelitian oleh Arifin dan Hakim [4] mengembangkan sepeda listrik berbasis Arduino, di mana hasil pengujian menunjukkan bahwa berat pengguna berpengaruh terhadap jarak tempuh sepeda. Penelitian lain oleh Syhari dan Bintoro [5] menekankan pentingnya penggunaan sensor akurat dalam monitoring daya untuk mengoptimalkan efisiensi energi. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa metode fuzzy logic berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas pengendalian kecepatan sepeda Listrik.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, menggunakan metode yang dipakai adalah uji coba lapangan untuk mengevaluasi pengaruh variasi dan kecepatan terhadap kontrol sepeda listrik yang diberikan logika fuzzy. Pengujian dilakukan dengan variasi derajat putaran *throttle grip* dan beban pengendara pada saat sepeda dikendarai, lalu dibandingkan kontroler yang tidak ditambahkan logika fuzzy dengan kontroler biasa untuk memungkinkan pengaturan daya dan kecepatan motor yang lebih presisi. Metode penelitian ini digambarkan di diagram alir yang disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian



2.1 Sepeda Listrik

Evolusi transportasi telah menghasilkan sepeda listrik sebagai respons terhadap kebutuhan akan sarana mobilitas yang efisien dan ramah lingkungan, menggabungkan keunggulan sepeda kayuh tradisional dengan bantuan daya motor [6]. Identitas utama sepeda listrik ditentukan oleh penggunaan motor listrik sebagai penggerak, yang diatur dalam beberapa regulasi dengan daya maksimum motor tidak melebihi 500 watt [7].



Gambar 2 Sepeda Listrik

Pada penelitian ini motor DC sikat karbon (brushed DC motor) menjadi pilihan yang paling cocok karena kemudahannya dalam kontrol. Karakteristiknya yang memungkinkan pengendalian kecepatan putar dan torsi yang mudah menjadikannya solusi yang efisien [8]. Dalam konteks sepeda listrik ini, motor DC sikat karbon tipe MY1016Z digunakan sebagai penggerak utama untuk memberikan dorongan tambahan bagi pengguna. Spesifikasi dari motor DC MY1016Z akan disajikan pada tabel serta ditunjukkan pada Gambar sebagai berikut :



Gambar 3 Motor Brushed DC

Tabel 1 Spesifikasi Motor Dc MY1016Z

Perangkat	Spesifikasi
Tegangan masuk	24 Volt DC
Nilai Arus	13.4 Amps
Efisiensi motor	78%
Torsi	0.80 Nm
Tenaga	250W (0.33 Horsepower)
RPM (tanpa beban)	3850 (Setelah reduksi gearbox 400RPM)

2.2 ESP 32

Papan pengembangan ESP32 dari Espressif Systems digunakan dalam penelitian ini karena kapasitasnya yang superior. Dengan prosesor dual-core Tensilica LX6 (hingga 240 MHz) dan 520 KB SRAM, ESP32 mampu menangani kebutuhan pemrosesan data yang kompleks dan cepat yang diperlukan oleh aplikasi [9]. Papan ini dibekali berbagai jenis *input/output* dengan total 32 input, Esp 32 dapat berintegrasi dengan berbagai jenis sensor seperti sensor Hall NJK-5002C di pin Digital, Dan *throttle gas* untuk input dan beserta 2.7 Motor Driver BTS7960 sebagai *output*, Gambar Esp 32 dapat dilihat pada Gambar 4.





Gambar 4 ESP 32

2.3 Baterai LifePO4 24V 6ah

Sebagai komponen krusial sebagai penyuplai daya sepeda listrik, baterai (akumulator) berfungsi sebagai sel listrik reversibel dengan efisiensi tinggi [10]. Pada penelitian ini, sistem sepeda listrik mengadopsi baterai LiFePO4 dengan spesifikasi 24V 6 Ah. LiFePO4 merupakan material katoda populer dalam baterai Lithium-ion dan berbahan *Lithium Iron Phosphate* dikategorikan sebagai baterai sekunder karena sifatnya yang dapat diisi ulang. Keunggulan utama dari baterai LiFePO4 adalah biaya produksi yang kompetitif serta kemampuannya untuk beroperasi pada tegangan kerja yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 [11].



Gambar 5 Baterai LifePo4

Untuk menentukan waktu pemakaian baterai dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Waktu pemakaian Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai (Ah)}}{\text{Arus Kerja Motor (A)}} \quad (1)$$

Dan untuk mengubah data tegangan baterai menjadi persen (%) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ Baterai} = \frac{\text{Tegangan Baterai Terukur}}{\text{Tegangan Baterai Penuh}} \times 100\% \quad (2)$$

2.4 Motor Driver 7960

Dalam perancangan sistem kendali pada motor dc ini, modul H *Bridge* BTS7960 diintegrasikan sebagai driver motor. Modul ini menawarkan solusi drive motor PWM arus tinggi yang telah dilengkapi proteksi, sekaligus meminimalkan kebutuhan ruang pada papan sirkuit. Modul ini didesain untuk memberikan solusi yang efisien biaya dengan konsumsi ruang papan yang sangat rendah, sekaligus menyediakan penggerak motor PWM arus tinggi yang terlindungi, sebagai mana disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Motor Driver BTS 7960

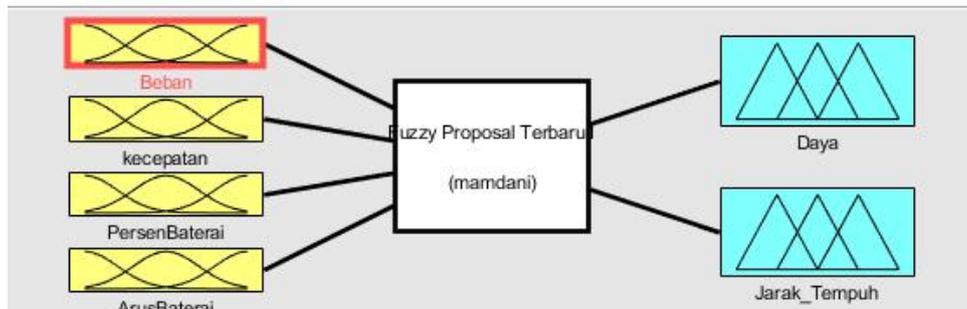
2.5 Desain Kontrol Logika Fuzzy

Sistem kontrol pada kendaraan listrik adalah sebuah komponen yang paling utama, termasuk sepeda listrik dan seringkali menghadapi tantangan akibat sistem non linear dan ketidakpastian lingkungan seperti perubahan beban atau kondisi jalan [12]. Dalam konteks ini, logika fuzzy (fuzzy logic) muncul sebagai pendekatan kontrol cerdas (intelligent control) yang sangat efektif. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya untuk



memproses informasi yang tidak presisi (linguistik) dan mengambil keputusan yang adaptif, mirip dengan penalaran manusia, namun tanpa intervensi langsung secara terus-menerus[13].

Pada penelitian ini, implementasi fuzzy logic difokuskan untuk mengoptimalkan Electronic Speed Control (ESC) sepeda listrik. Input utama bagi sistem fuzzy meliputi beban yang dirasakan motor (kg), kecepatan aktual sepeda (km/jam), persentase baterai (%), dan arus baterai (Ampere). Berdasarkan input tersebut, fuzzy logic akan menghasilkan dua output fuzzy utama: daya yang dibutuhkan (Watt) dan estimasi jarak tempuh yang tersisa (km). Seperti yang tersaji pada Gambar dibawah ini.



Gambar 7 Fuzzy Inference System

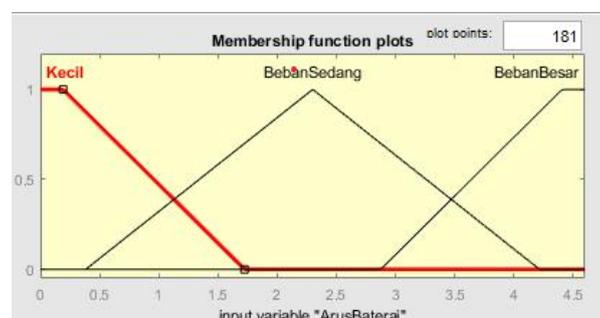
Output berupa nilai daya ini kemudian akan dikonversi menjadi duty cycle sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang berfungsi untuk mengendalikan kecepatan putar motor DC sikat karbon, sehingga respons motor menjadi lebih halus dan efisien sesuai kondisi operasional. Untuk membuat sebuah sistem kontrol *fuzzy* terdapat tiga tahapan yaitu fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Ketiga hal tersebut mutlak dilakukan untuk mendapatkan sistem kontrol yang baik. Berikut skema kerja dari sistem kontrol logika *fuzzy*.

2.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengkonversi nilai-nilai input nyata (crisp/numeric) dari sensor atau data pengukuran menjadi nilai-nilai fuzzy atau derajat keanggotaan (membership degree) dalam himpunan fuzzy. Misalnya, jika kecepatan motor adalah 12 km/jam, proses fuzzifikasi akan menentukan seberapa "pelan", "sedang", atau "kencang" kecepatan tersebut berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan. Dimana Fuzzifikasi terdiri dari 4 input, pada setiap input terdiri dari 3 keanggotaan triangular dan trapezoidal dengan range sesuai kondisi pemakaian sepeda.

a. Input Arus Baterai

Gambar 8 menampilkan representasi grafis dari fungsi keanggotaan fuzzy pada variabel input " arus baterai". Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk mengkategorikan nilai arus yang masuk ke dalam baterai menjadi beberapa tingkatan linguistik, yang selanjutnya akan diproses dalam sistem inferensi fuzzy. Penggunaan beberapa kategori linguistik bertujuan untuk memudahkan proses pengambilan keputusan otomatis terkait pengelolaan arus pengisian pada baterai.



Gambar 8 Input fuzzy " arus baterai"



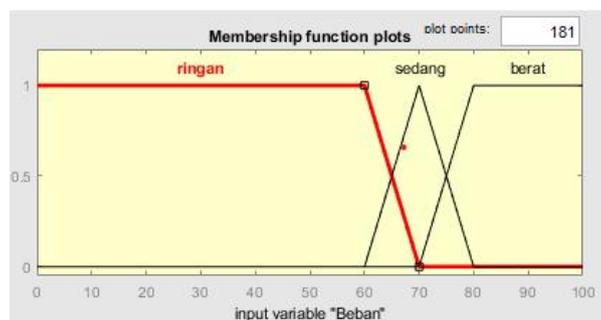
Tabel 2 memperlihatkan deskripsi linguistik dan rentang nilai numerik pada variabel input arus baterai. Kategori "Kecil" memiliki rentang nilai [-2.25, -0.2501, 0.2501, 2.25], yang mengindikasikan arus pengisian dengan intensitas rendah. Selanjutnya, kategori "Sedang" berada pada rentang [0.4999, 3, 5.501], yang menggambarkan arus dengan intensitas menengah. Terakhir, kategori "Besar" dengan rentang [3.75, 5.749, 6.252, 8.25] menunjukkan arus dengan intensitas tinggi. Penentuan rentang ini dilakukan berdasarkan karakteristik sistem pengisian dan kebutuhan pengelolaan baterai.

Tabel 2 Input Fuzzy arus Baterai

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	Kecil	[-2.25 -0.2501 0.2501 2.25]
2	Sedang	[0.4999 3 5.501]
3	Besar	[3.75 5.749 6.252 8.25]

b. Input Beban

Gambar 9 memperlihatkan fungsi keanggotaan fuzzy untuk variabel input "beban". Grafik tersebut menampilkan tiga kategori linguistik yang merepresentasikan berbagai tingkatan beban yang diterima oleh sistem. Fungsi keanggotaan ini menjadi dasar untuk mendefinisikan tingkat beban secara kualitatif dalam sistem kontrol fuzzy, sehingga sistem dapat merespons perubahan beban secara adaptif.



Gambar 9 Input Fuzzy Beban

Tabel 3 mendeskripsikan kategori linguistik serta rentang nilai dari variabel input beban. Kategori "Ringan" memiliki rentang [-5.6, -0.64, 48, 56], menandakan kondisi beban minimum hingga menengah. Kategori "Sedang" terletak pada rentang [48, 56, 64], sedangkan "Berat" berada pada [56, 64, 96, 160], yang menunjukkan beban berat pada sistem. Pengelompokan rentang ini bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas sistem dalam mendeteksi dan mengelola variasi beban.

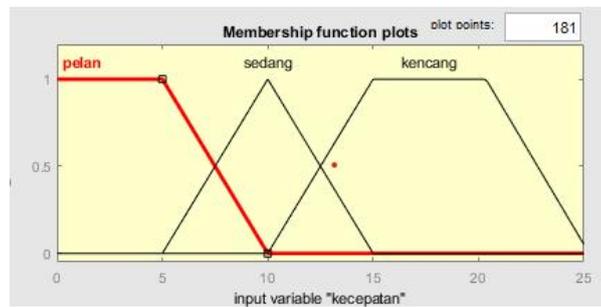
Tabel 3 Input Fuzzy Beban

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	Ringan	[-5.6 -0.64 48 56]
2	Sedang	[48 56 64]
3	Berat	[56 64 96 160]

c. Input Kecepatan

Gambar 10 menyajikan kurva fungsi keanggotaan fuzzy pada variabel input "kecepatan". Fungsi keanggotaan ini membagi nilai kecepatan ke dalam tiga kategori utama, yaitu "pelan", "sedang", dan "kencang". Dengan pendekatan ini, sistem fuzzy dapat menyesuaikan strategi kontrol kecepatan berdasarkan kondisi aktual yang terjadi di lapangan.





Gambar 10 Input Fuzzy Kecepatan

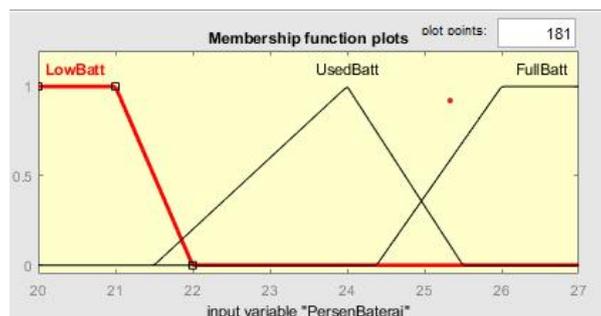
Tabel 4 menjelaskan tiga deskripsi linguistik untuk variabel kecepatan, beserta rentang nilai masing-masing kategori. Kategori "Pelan" mencakup rentang [-9.375, -1.042, 5, 10], "Sedang" [5, 10, 15], dan "Kencang" [10, 15, 20.3, 25.5]. Penentuan rentang nilai pada masing-masing kategori didasarkan pada hasil analisis karakteristik kecepatan yang relevan dengan kinerja sistem.

Tabel 4 Input Fuzzy Kecepatan

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	Pelan	[-9.375 -1.042 5 10]
2	Sedang	[5 10 15]
3	kencang	[10 15 20.3 25.5]

d. Input Persen Baterai

Gambar 11 menampilkan fungsi keanggotaan fuzzy untuk variabel input "persen baterai". Grafik ini digunakan untuk mengelompokkan kondisi kapasitas baterai menjadi beberapa kategori status, yang sangat berpengaruh terhadap pengambilan keputusan dalam sistem manajemen baterai berbasis fuzzy.



Gambar 11 Input Fuzzy Persen Baterai

Tabel 5 memaparkan rentang nilai pada setiap kategori linguistik input "persen baterai". Kategori "LowBatt" memiliki rentang [18.12, 20, 21, 22], mengindikasikan level baterai yang rendah. "UsedBatt" berada pada rentang [21.5, 24, 25.5], menggambarkan kondisi baterai yang telah digunakan sebagian. Sementara itu, "FullBatt" berada pada rentang [24.38, 26, 27.29, 29.62], menunjukkan baterai dalam kondisi penuh. Definisi kategori ini memudahkan sistem untuk melakukan aksi yang tepat berdasarkan level pengisian baterai secara real-time.

Tabel 5 Input Fuzzy Persen Baterai

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	LowBatt	[18.12 20 21 22]
2	UsedBatt	[21.5 24 25.5]
3	FullBatt	[24.38 26 27.29 29.62]



2.5.2 Inferensi

Inferensi merupakan tahap pengambilan keputusan berdasarkan *input fuzzy* dan basis dari aturan yang dibuat. Pada tahap ini, basis yang digunakan untuk membuat aturan sesuai penalaran atau logika manusia memiliki bentuk aturan *IF and IF -THEN*. Proses inferensi dari setiap input dan output akan dibuat menjadi *rules yang* berbentuk seperti tabel dibawah ini

Tabel 6 Rules Fuzzy

No	Beban	Kecepatan	Persen Baterai	Arus Baterai	Daya	Jarak Tempuh
1	ringan	pelan	FullBatt	Kecil	Low	jauh
2	sedang	pelan	FullBatt	kecil	low	Jauh
3	Ringan	sedang	FullBatt	Sedang	mid	Sedang
4	ringan	sedang	FullBatt	sedang	mid	sedang
5	sedang	sedang	FullBatt	sedang	mid	sedang
6	berat	sedang	Fullbatt	sedang	Mid	sedang
7	Ringan	Kencang	UsedBatt	Kecil	Mid	Jauh
8	Sedang	Kencan	UsedBatt	Sedang	Mid	Sedang
9	Berat	Kencang	UseBatt	Besar	High	Dekat
10	Ringan	Pelan	UsedBatt	Kecil	Low	Sedang
11	Sedang	Sedang	UsedBatt	Sedang	Mid	Sedang
12	Berat	Sedang	UsedBatt	Sedang	Mid	Sedang
13	Berat	Kencang	UsedBatt	Sedang	High	Sedang
14	Berat	Kencang	UsedBatt	Besar	High	Sedang
15	Ringan	Pelan	LowBatt	Besar	Low	Dekat
16	Sedang	Pelan	LowBatt	Besar	Low	Dekat
17	Berat	Pelan	LowBatt	Besar	Low	Dekat
18	Ringan	Sedang	LowBatt	Besar	Low	Dekat
19	Sedang	Sedang	LowBatt	Besar	Low	Dekat
20	Berat	Sedang	LowBatt	Besar	Low	Dekat

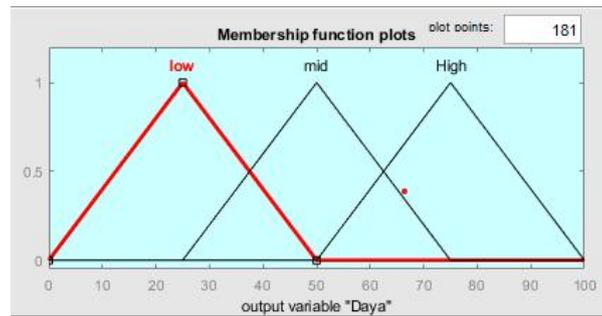
2.5.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses mengubah output fuzzy yang diperoleh dari hasil inferensi menjadi nilai numeris menggunakan fungsi keanggotan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzifikasi. Proses Defuzzifikasi dari setiap input akan menghasilkan 2 output yaitu sebagai berikut sesuai yang akan diharapkan agar motor bekerja dengan stabil.

a. Daya



Gambar 12 menyajikan fungsi keanggotaan fuzzy untuk variabel output "daya". Grafik ini menggambarkan bagaimana sistem fuzzy mengelompokkan keluaran daya ke dalam beberapa kategori linguistik, yaitu "Low", "Mid", dan "High". Fungsi keanggotaan ini berperan penting dalam menentukan besarnya daya yang diberikan kepada sistem berdasarkan hasil pemrosesan semua input fuzzy sebelumnya. Dengan demikian, sistem mampu melakukan pengaturan daya secara adaptif sesuai dengan kondisi aktual.



Gambar 12 Output Fuzzy Daya

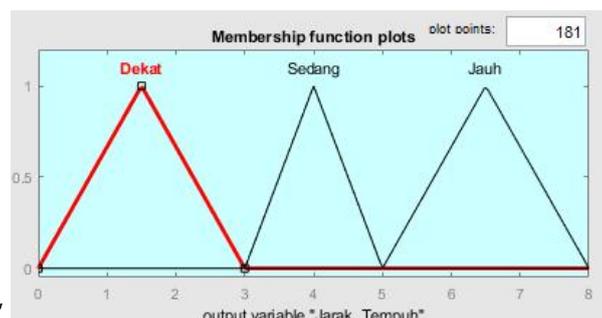
Tabel 7 memperlihatkan tiga kategori linguistik untuk variabel output daya beserta rentang nilainya. Kategori "Low" berada pada rentang [0, 25, 50], menandakan kondisi daya keluaran rendah. Selanjutnya, "Mid" berada pada rentang [25, 50, 75], menunjukkan tingkat daya sedang, sementara kategori "High" berada pada rentang [50, 75, 100], yang menunjukkan daya keluaran maksimum. Rentang-rentang ini dirancang untuk memudahkan sistem dalam mengontrol daya yang dikeluarkan berdasarkan hasil inferensi fuzzy sehingga efisiensi dan performa sistem tetap optimal.

Tabel 7 Output Fuzzy Daya

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	Low	[0 25 50]
2	Mid	[25 50 75]
3	High	[50 75 100]

b. Jarak Tempuh

Gambar 13 menampilkan fungsi keanggotaan fuzzy pada variabel output "jarak tempuh". Grafik tersebut mengilustrasikan pembagian status jarak tempuh menjadi tiga kategori linguistik utama, yakni "Low", "Mid", dan "High". Penerapan fungsi keanggotaan ini memungkinkan sistem untuk menginterpretasikan prediksi atau estimasi jarak tempuh secara kualitatif, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk tindakan lanjutan, seperti optimasi rute atau manajemen energi.



Gambar 13 Output Fuzzy Jarak Tempuh

Tabel 8 menyajikan kategori linguistik dan rentang nilai untuk output jarak tempuh. Kategori "Low" berada pada rentang [0, 1.5, 3], menunjukkan prediksi jarak tempuh yang rendah. Kategori "Mid" terdapat pada rentang [3, 4, 5], sementara kategori "High" berada pada rentang [5, 6.5, 8], yang menandakan jarak tempuh yang tinggi



atau maksimal. Pengelompokan ini didasarkan pada kebutuhan sistem untuk menyesuaikan pengelolaan sumber daya dan strategi pengoperasian berdasarkan capaian jarak tempuh.

Tabel 8 Output Fuzzy Jarak Tempuh

NO	DESKRIPSI LINGUISTIK	RENTANG NILAI
1	Low	[0 1.5 3]
2	Mid	[3 4 5]
3	High	[5 6.5 8]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian dari ESC (*Electronic Speed Control*) sepeda listrik yang sudah diberikan logika *fuzzy* dan yang belum diberikan logika *fuzzy*. Tahap pertama pengambilan data mentah dari ESC sepeda listrik sebelum ditambahkan logika fuzzy. Tahap kedua adalah pengambilan data ESC yang sudah diberikan logika *fuzzy*, lalu dibandingkan dengan jarak tempuh aktual selama pengujian di lintasan. Hasil dari kedua pengujian ini dianalisis untuk mengetahui.

3.1 Pengambilan data mentah dari controller yang dibuat

Tahap ini dilakukan untuk memperoleh data awal yang akan digunakan sebagai dasar perancangan logika *fuzzy*. Data yang dikumpulkan berupa hubungan antara tegangan baterai dengan arus yang dihasilkan baterai dan jarak tempuh aktual selama pengujian. Pengambilan dilakukan dengan 2 set point beban yaitu 60 kg dan 70 kg untuk melihat pengaruh beban terhadap penurunan tegangan dengan jarak tempuh yang dicapai. Untuk setiap set point beban dilakukan 3 kali pengujian sudut *throttle* yaitu pada 36°, 48°, dan 72°. Setiap kondisi dilakukan dengan kondisi jalan dengan lintasan yang landai dan dengan kapasitas baterai yang penuh hingga habis. Pada tabel dibawah disajikan data mentah.

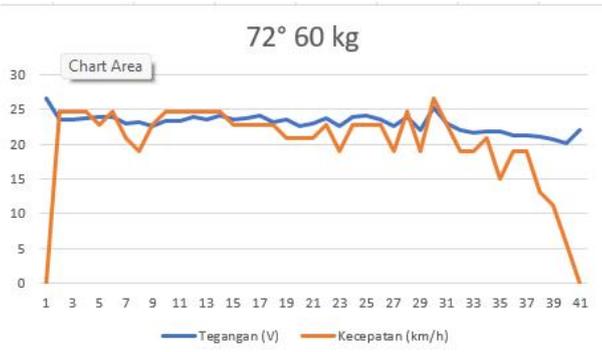
Tabel 9 Data mentah

Beban Pengendara	Sudut <i>Throttle Grip</i>	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	Jarak Tempuh (km)
60 kg	36°	26,6	22	10,1	8,08
	48°	26,6	22	14,97	6,8
	72°	26,6	22	20,06	5,8
70 kg	36°	26,6	22	9,2	7,81
	48°	26,6	22	14,87	6,3
	72°	26,6	22	17,49	5,1
Rata-rata					6,64

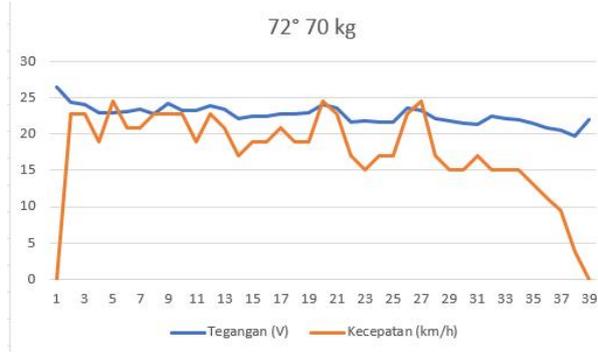
3.2 Hasil Pengujian Sistem Kontrol *Fuzzy*

Setelah Logika fuzzy dirancang, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian kestabilan kecepatan dari sistem yang sudah diberikan logika fuzzy dengan yang ada di aktual dilapangan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem ini dapat membuat menjalankan sepeda listrik dengan kecepatan yang stabil berdasarkan kondisi baterai dari full (100%) sampai low *battery* (0%) dilintasan yang landai, kemudian mencatat nilai dari kecepatan yang muncul di display dengan kecepatan yang ada di aplikasi Strava yang terintegrasi dengan GPS. Data ini kemudian dibandingkan untuk melihat selisih kestabilan kecepatan dari jarak tempuh yang dicapai. Pada grafik dibawah disajikan data yang sudah diberikan kontrol Fuzzy.





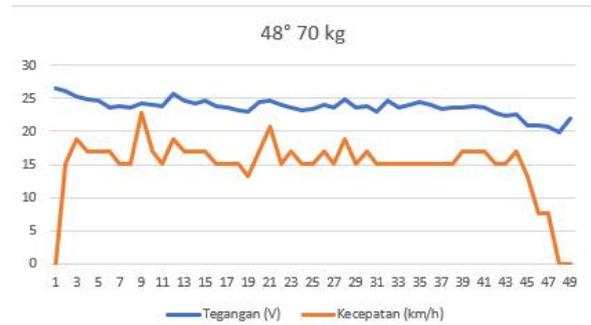
Gambar 14 pengujian 2



Gambar 15 pengujian 1

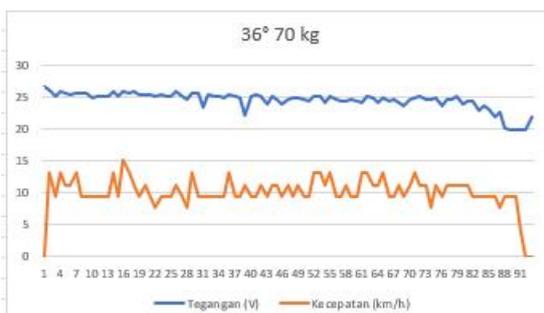


Gambar 16 pengujian 4

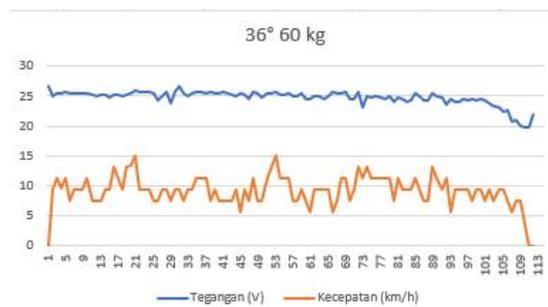


Gambar 17 pengujian 3

Pada Gambar grafik pengujian 1 (Gambar 15) dan 2 (Gambar 14) yang menunjukkan 72 derajat 70 kg dan 72 derajat 60 kg diatas menunjukkan rata rata kecepatan 18,9km/jam dan 21,6km/jam yang menunjukkan kenaikan rata rata kecepatan setelah diberikan logika fuzzy. Pada Gambar grafik pengujian 3 (Gambar 17) dan 4 (Gambar 16) yang menunjukkan 48 derajat 70 kg dan 48 derajat 60 kg diatas menunjukkan rata rata kecepatan 15,2 km/jam dan 16,4 km/jam yang menunjukkan kenaikan rata rata kecepatan setelah diberikan logika fuzzy.



Gambar 19 pengujian 5



Gambar 18 pengujian 6

Pada Gambar grafik pengujian 5 (Gambar 18) dan 6 (Gambar 19) yang menunjukkan 36 derajat 70 kg dan 36 derajat 60 kg diatas menunjukkan rata rata kecepatan 10,25 km/jam dan 10,97 km/jam yang menunjukkan kenaikan rata rata kecepatan setelah diberikan logika fuzzy. Pada penelitian ini meunjukkan rata rata hasil dari selisih kecepatan rata rata menggunakan fuzzy dengan tanpa fuzzy pada percobaan 1 (72 derajat 70 kg) adalah sebesar 1,41 km/jam, pada percobaan 2 (72 derajat 60 kg) adalah sebesar 1,54 km/jam, pada percobaan 3 (48 derajat 70 kg) adalah



sebesar 0,23 km/jam, pada percobaan 4 (48 derajat 60 kg) adalah sebesar 1,43 km/jam, pada percobaan 5 (36 derajat 70 kg) adalah sebesar 0,65 km/jam, pada percobaan 1 (36 derajat 60 kg) adalah sebesar 0,87 km/jam. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol fuzzy dapat menaikkan rata rata kecepatan dan akselerasi dari sepeda listrik, sehingga bisa menaikkan jarak tempuh serta kecepatan untuk mencapai titik tertentu. Para pengguna dapat merasakan akselerasi yang halus dengan daya jelajah yang tinggi dikarenakan sistem kontrol dapat mengatur dan menurunkan penggunaan daya yang tidak dibutuhkan sehingga dapat mengurangi pemborosan energi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diatas dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem ESC (*Electronic Speed Control*) untuk sebuah sepeda listrik dengan motor dc *Brushed* telah berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang cukup memuaskan. Dari keenam percobaan menunjukkan bahwa percobaan ke 2 dengan variasi beban 60 kg dan *throttle* 72 derajat menghasilkan selisih kecepatan rata rata sebesar 1,54 km/jam dengan daya jelajah yang sama. Hal ini menghasilkan peningkatan rata-rata kecepatan dan akselerasi, serta efisiensi penggunaan energi yang lebih tinggi dalam mendapatkan hasil rata rata kecepatan yang paling baik pada kecepatan tinggi dan beban yang lebih ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. A. S. A. P, I. N. S. Kumara, and I. G. A. P. R. Agung, "Status Perkembangan Sepeda Listrik Dan Motor Listrik Di Indonesia," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, pp. 8–19, 2021.
- [2] W. C. Budianto, M. Muladi, and I. M. Wirawan, "Sistem Pengisian Baterai Sepeda Listrik Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 23–30, Mar. 2023, doi: 10.23917/EMITOR.V1I1.21772.
- [3] D. R. Brafianto, I. Wijono, and T. Nurwati, "Aplikasi kontrol fuzzy pada manajemen penyimpanan energi kendaraan listrik," *Seminar Nasional Fortei7-3ISSN (Print): 2621-3540 Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia Regional VII*, pp. 267–272, 2021.
- [4] Z. Arifin and E. A. Hakim, "Pengembangan Sepeda Listrik Dalam Upaya Peningkatan Mobilitas Pedagang Usaha Mikro Kecil Menengah," *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur*, vol. 3, no. 1, pp. 661–671, 2023, doi: 10.22219/skpsppi.v3i1.7688.
- [5] A. Syhari and A. Bintoro, "Monitoring dan Controlling Daya Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor PZEM-004T," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 12, no. 1, p. 43, 2023, doi: 10.29103/jee.v12i1.9836.
- [6] F. J. a b C *et al*, "A comprehensive review of energy storage technology development and application for pure electric vehicles," *Journal of Energy Storage*, 2024.
- [7] P. M. Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan No. 44 Tahun 2020."
- [8] L. T. Ion Boldea, *ELECTRIC MACHINES Steady State, Transients, and Design with MATLAB*. 2020.
- [9] N. Kolban, *KOLBANS Book on ESP32*. 2019. doi: 10.31826/9781463240134-toc.
- [10] P. L. D. Prihananto, M. Facta, and S. Sudjadi, "Perancangan Cut Off Sebagai Pemutus Tegangan Dan Arus Sistem Charging Baterai," *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 911, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.911-817.
- [11] A. Satriady, W. Alamsyah, H. I. Saad, and S. Hidayat, "PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO 4," *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. 06, no. 02, pp. 43–48, 2016.
- [12] T. S. Haque *et al*, "A Review on Driving Control Issues for Smart Electric Vehicles," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 135440–135472, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3116353.
- [13] R.-E. Precup and H. Hellendoorn, "Survey paper A survey on industrial applications of fuzzy control", doi: 10.1016/j.compind.2010.10.001.

