

Safety System Pada Pengendali Motor BLDC Untuk Sepeda Listrik Berbasis IoT

^{1*}Deni Saputra, ²Krisna Abdi Nugraha, ³Elsanda Merita Indrawati,
⁴Miftakhul Maulidina, ⁵Sofyan Ahmadi

^{1,2,3,4,5}Teknik Elektro, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ^{*1}deni49343@gmail.com, ²krisnaan07@gmail.com, ³elsanda@unpkediri.ac.id

⁴miftakhulmaulidi@unpkediri.ac.id, ⁵sofyan.ahmadi@unpkdr.ac.id

Penulis Korespondensi : Deni Saputra

Abstrak— Sepeda listrik berbasis motor Brushless Direct Current (BLDC) banyak digunakan sebagai alternatif transportasi ramah lingkungan dan hemat energi. Namun, motor BLDC rentan mengalami kenaikan suhu berlebih akibat penggunaan terus-menerus, beban berlebih, atau gangguan kelistrikan berupa tegangan dan arus tidak normal, yang dapat menurunkan kinerja dan umur pakai motor. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem keselamatan pada pengendali motor BLDC untuk sepeda listrik berbasis *Internet of Things*. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 terintegrasi dengan sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan sensor suhu termistor untuk memantau kondisi motor secara real-time. Apabila parameter melebihi batas aman, ESP32 memutuskan suplai daya melalui relay yang dikendalikan optokopler, sekaligus mengirimkan data status ke platform monitoring IoT. Pengujian dilakukan dengan menghitung akurasi pembacaan sensor dan persentase keberhasilan sistem proteksi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi kondisi tidak normal secara akurat dan memutuskan daya otomatis, sehingga berpotensi meningkatkan keamanan, keandalan, dan umur pakai motor BLDC pada sepeda listrik.

Kata Kunci— ACS712, BLDC, ESP32, IoT, *safety system*.

Abstract— Electric bicycles powered by Brushless Direct Current (BLDC) motors are increasingly used as an eco-friendly, energy-efficient transport alternative. BLDC motors are prone to excessive temperature rise from continuous use, overload, or abnormal voltage and current, reducing performance and lifespan. This study aims to design and implement a safety system for the BLDC motor controller of an Internet of Things-based electric bicycle. The system uses an ESP32 microcontroller integrated with a voltage sensor, an ACS712 current sensor, and a thermistor to monitor motor condition in real time. When parameters exceed the safe limit, ESP32 cuts the power supply through a relay controlled by an optocoupler, while sending status data to an IoT monitoring platform. Testing was done by calculating sensor accuracy and protection success rate. The system can accurately detect abnormal conditions and automatically cut the power, improving safety, reliability, and lifespan of BLDC motors in electric bicycles.

Keywords— ACS712, BLDC, ESP32, IoT, *safety system*.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor menjadi kebutuhan utama masyarakat saat ini [1]. Dengan berkembangnya teknologi transportasi di era modern semakin mengarah pada penggunaan

kendaraan yang ramah lingkungan dan hemat energi. Salah satu inovasi yang berkembang pesat adalah sepeda listrik saat ini yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama. Sepeda listrik menjadi alternatif transportasi yang efisien karena tidak menghasilkan emisi gas buang, memiliki biaya operasional yang rendah, serta lebih ramah terhadap lingkungan dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil. *Motor Brushless Direct Current* (BLDC) merupakan motor listrik sinkron AC 3 fasa. Disebut dengan motor BLDC karena pada implementasinya menggunakan tegangan DC sebagai sumber utamanya [2]. Motor Brushless DC (BLDC) menjadi pilihan utama karena memiliki efisiensi konversi energi tinggi, torsi besar pada kecepatan rendah, dan kebutuhan perawatan yang minimal [3]. Selain itu, motor BLDC juga memiliki ukuran yang lebih ringkas dan kemampuan kerja yang lebih stabil sehingga sangat cocok digunakan sebagai penggerak utama pada kendaraan listrik skala kecil seperti sepeda listrik.

Namun, dalam penggunaannya motor BLDC juga memiliki beberapa potensi permasalahan, salah satunya adalah kenaikan suhu yang berlebihan (*overheat*) pada motor. Peningkatan suhu dapat terjadi akibat penggunaan motor secara terus-menerus, beban yang terlalu besar, atau kurangnya sistem pendinginan yang baik. Jika suhu motor melebihi batas yang diizinkan, maka dapat menyebabkan penurunan kinerja motor, kerusakan komponen internal, bahkan dapat mengurangi umur pakai motor tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem keamanan *safety system* yang mampu memantau kondisi suhu motor agar tetap berada dalam batas kerja yang aman.[4], pengelolaan suhu (*thermal management*) sangat penting karena kenaikan dan penurunan suhu yang berlebihan dapat memberikan ancaman terhadap keamanan sistem sehingga diperlukan pemantauan suhu secara berkelanjutan untuk mencegah terjadinya *overheating*.

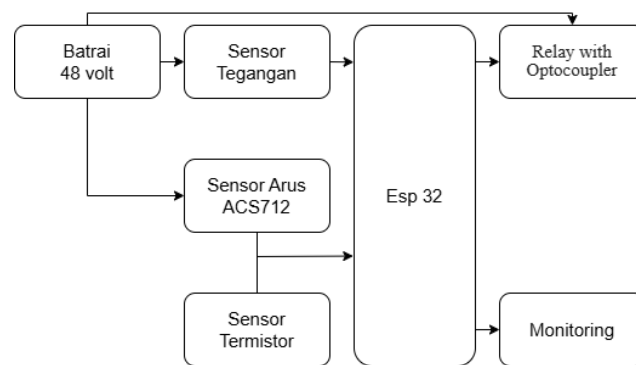
Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau suhu motor adalah dengan menggunakan sensor suhu termistor. Sensor ini mampu mendeteksi perubahan suhu secara akurat dan mengirimkan data suhu kepada sistem pengendali. Dalam penelitian ini, suhu kerja normal motor BLDC berada pada rentang 50°C hingga 70°C. Apabila suhu motor melebihi batas tersebut, maka sistem dapat memberikan peringatan atau melakukan tindakan proteksi untuk mencegah kerusakan pada motor [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu perancangan *safety system* pada motor BLDC untuk sepeda listrik berbasis IoT yang mampu memantau suhu motor secara real-time menggunakan sensor termistor dan mikrokontroler sebagai pengendali sistem. Dengan adanya sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan, keandalan, serta umur pakai motor BLDC pada sepeda listrik. Pengembangan sistem keamanan pada sepeda listrik juga mendukung penelitian sebelumnya mengenai penerapan sistem kendali dan keselamatan pada sepeda listrik yang dilakukan oleh [6], sehingga diharapkan mampu meningkatkan aspek keselamatan dan keandalan kendaraan listrik secara keseluruhan.

Selain itu, perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memungkinkan sistem pemantauan dilakukan secara jarak jauh melalui jaringan internet. Dengan menggunakan teknologi IoT, data suhu motor dapat dikirimkan dan dipantau secara real-time melalui perangkat seperti smartphone atau komputer. Hal ini memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengetahui kondisi motor secara langsung serta melakukan tindakan pencegahan apabila terjadi kenaikan suhu yang tidak normal. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu perancangan *safety system* pada motor BLDC untuk sepeda listrik berbasis IoT yang mampu memantau suhu motor secara real-time menggunakan sensor termistor dan mikrokontroler sebagai pengendali sistem. Dengan adanya sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan, keandalan, serta umur pakai motor BLDC pada sepeda listrik[7].

II. METODE

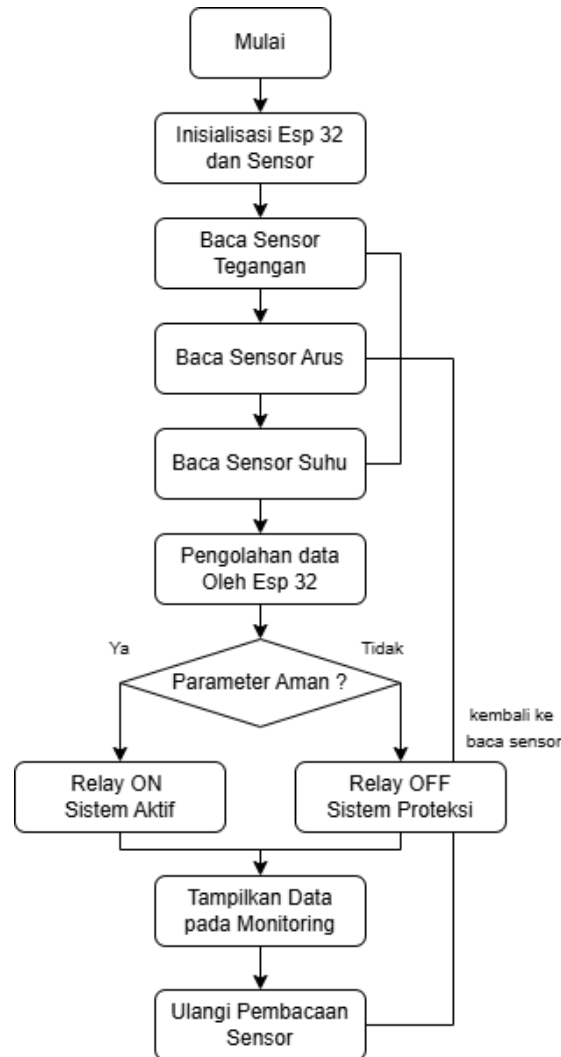
Penelitian ini menguraikan materi dan metode yang digunakan dalam merancang serta menguji sistem keselamatan (*safety system*) pada pengendali motor BLDC (*Brushless DC*) untuk sepeda listrik berbasis *Internet of Things* (IoT). Subyek utama dalam penelitian ini adalah unit sepeda listrik yang diintegrasikan dengan mikrokontroler berbasis IoT, sensor suhu, sensor arus, dan sensor tegangan sebagai variabel input pengendali daya motor BLDC. Prosedur eksperimen dirancang secara lengkap guna memberikan perincian yang memadai agar pekerjaan ini dapat direproduksi oleh peneliti independen di masa depan.



Gambar 1. Cara Kerja *Safety System*

Sistem keselamatan pada sepeda listrik berbasis IoT bekerja dengan melakukan pemantauan terhadap kondisi baterai dan motor BLDC secara berkelanjutan melalui sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan sensor suhu termistor. Data yang diperoleh dari masing-masing sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan dianalisis. Selanjutnya, nilai hasil pengukuran dibandingkan dengan batas operasional yang telah ditentukan guna mengetahui apakah sistem berada dalam kondisi aman atau mengalami gangguan. Apabila parameter tegangan, arus, dan suhu masih berada pada rentang yang diizinkan, maka relay tetap aktif sehingga suplai daya dari baterai menuju motor BLDC dapat berlangsung secara normal.

Sebaliknya, ketika terdeteksi kondisi yang tidak sesuai dengan batas keamanan, seperti tegangan berlebih, tegangan rendah, arus berlebih, atau suhu yang melampaui batas yang ditetapkan, ESP32 akan mengirimkan sinyal kendali melalui optokopler untuk memutus relay sebagai bentuk perlindungan terhadap sistem. Selain fungsi proteksi, seluruh data pengukuran beserta status operasi sistem juga dikirim ke platform monitoring berbasis IoT sehingga dapat dipantau secara real-time oleh pengguna. Proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, dan pengiriman data monitoring dilakukan secara berulang selama sistem beroperasi untuk menjaga keamanan dan keandalan kerja baterai maupun motor BLDC.



Gambar 2. *Flowchart Sistem*

Pada gambar 2, *Flowchart sistem* diawali dengan inisialisasi ESP32 dan sensor yang digunakan. Selanjutnya, sensor tegangan, arus, dan suhu melakukan pengukuran kondisi sistem secara berkala. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 dan dibandingkan dengan batas aman yang telah ditentukan. Jika seluruh parameter berada pada kondisi normal, relay tetap aktif sehingga sistem dapat beroperasi dengan baik. Namun, apabila terdeteksi kondisi tidak normal, relay akan memutus daya sebagai bentuk proteksi. Seluruh data dan status sistem kemudian dikirim ke platform monitoring IoT untuk ditampilkan secara real-time.

Teknik Analisis Data dimulai dari perhitungan Rumus Persentase Error (Error%)

$$Error(\%) = \frac{Xs - Xr}{Xr} \times 100\% \quad (1)$$

Rumus Akurasi (%) yang benar dan baku:

$$Akurasi(\%) = \left(1 - \frac{|Xs - Xr|}{Xr}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

- a) X_s = nilai hasil pembacaan sensor
- b) X_r = nilai referensi (alat ukur standar)
- c) $|X_s - X_r|$ = selisih absolut antara keduanya

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dzaky dan Hadiatna dalam penelitiannya mengenai sistem *automatic engine brake* pada kendaraan listrik Atom Alpha menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan mikrokontroler ESP32 menemukan bahwa sensor mampu membaca jarak dengan akurasi tinggi ($R^2 = 0,9999$) serta dapat menghentikan putaran motor secara otomatis ketika objek terdeteksi pada jarak ≥ 200 cm, di mana pada uji dinamis waktu dan jarak pengereman meningkat seiring kenaikan kecepatan kendaraan — pada kecepatan 10 km/jam kendaraan berhenti dalam 2,3 detik dengan jarak 6,1 meter, sedangkan pada kecepatan 50 km/jam jarak henti meningkat menjadi sekitar 75–87 meter [8]. Sementara itu, Arinando dan Rohman yang meneliti pengaruh variasi beban dan kecepatan terhadap suhu kontroler motor BLDC menyimpulkan bahwa variasi beban kendaraan, terutama pada rentang 3–5 kg, berpengaruh signifikan terhadap kenaikan suhu kontroler, sedangkan variasi kecepatan laju kendaraan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, dengan suhu kontroler tertinggi tercatat 37,58°C pada beban 5 kg dan kecepatan 2,5 m/det, serta secara simultan kedua variabel tersebut memengaruhi suhu kontroler sebesar 57,7% [9].

Sejalan dengan temuan tersebut, Prastya, Dewantara, dan Diah dalam pengujian performa motor BLDC hub drive 2000 W menggunakan metode *dynamometer test* menemukan bahwa arus dan daya motor meningkat secara eksponensial seiring kenaikan kecepatan (10–50 km/jam) pada berbagai kondisi beban (0 kg, 72 kg, dan 139 kg) — pada beban 139 kg konsumsi daya melonjak dari 51,61 W menjadi 1.162 W — yang diikuti pula dengan penurunan tegangan suplai (*voltage sag*) serta tren kenaikan torsi dan suhu motor yang konsisten terhadap peningkatan kecepatan dan beban kerja [10]. Ketiga penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa performa dan keandalan sistem kendaraan listrik berbasis motor BLDC sangat dipengaruhi oleh interaksi antara kecepatan, beban, dan kondisi termal komponen elektronik pendukungnya

Dalam penelitian ini menyajikan data hasil pengujian sistem keamanan motor BLDC pada sepeda listrik yang direkam secara berkala selama operasi berlangsung. Terdapat tiga parameter utama yang diukur, yaitu tegangan baterai (Volt), arus listrik (Ampere), dan suhu motor (°C), di mana pengukuran arus dan suhu dilakukan pada dua kondisi beban berbeda, yakni beban 50 kg dan beban 100 kg. dari sisi tegangan, terlihat pola penurunan yang konsisten dari 54,70 V pada awal pengujian hingga mencapai 46,72 V di akhir sesi pengujian. Hal ini sangat logis karena baterai memang akan mengalami penurunan tegangan secara bertahap seiring dengan penggunaan energi yang terus-menerus. Fenomena ini disebut dengan *voltage sag* atau penurunan tegangan akibat beban kerja, dan ini merupakan karakteristik alami dari baterai yang sedang beroperasi. Untuk parameter arus, data menunjukkan bahwa beban 100 kg selalu menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan beban 50 kg pada setiap titik pengukuran yang sama. Contohnya, pada pengukuran pertama, beban 50 kg menarik arus sebesar 3,0 A sedangkan beban 100 kg menarik arus 5,0 A. secara fisika — semakin berat beban yang harus digerakkan motor, maka semakin besar energi listrik yang dibutuhkan, sehingga arus yang mengalir pun ikut meningkat.

Parameter suhu memperlihatkan tren yang paling menarik. Suhu motor pada beban 50 kg naik secara bertahap dari 25,2°C di awal hingga 32,6°C di akhir pengujian. Begitu pula pada beban 100 kg, suhu naik dari 27,7°C menjadi 37,4°C. Ada dua hal yang dapat disimpulkan dari pola ini. Pertama, suhu motor naik seiring lamanya waktu operasi karena panas yang dihasilkan motor terakumulasi. Kedua, beban yang lebih berat menghasilkan suhu yang lebih tinggi karena motor bekerja lebih keras dan mengonsumsi arus lebih besar, yang pada akhirnya menghasilkan lebih banyak panas.

Yang paling penting untuk dicatat adalah bahwa meskipun suhu terus naik sepanjang pengujian, seluruh nilai suhu yang tercatat masih berada di bawah batas aman motor BLDC, yaitu 50–70°C. Ini membuktikan bahwa dalam kondisi pengujian tersebut, sistem beroperasi dengan normal dan aman. *safety system* yang dirancang dalam penelitian ini yang akan memutus aliran daya secara otomatis jika suhu melebihi batas belum sampai diaktifkan, yang justru menunjukkan bahwa motor bekerja dalam kondisi yang terkendali.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Data

No	Tegangan (V)	Arus (A)		Suhu (°C)	
		Beban 50kg	Beban 100kg	Beban 50kg	Beban 100kg
1	54,70	3,0	5,0	25,2	27,7
6	54,28	4,5	6,5	25,3	28,6
11	53,86	4,2	5,9	26,1	29,3
16	53,44	4,2	5,6	26,5	29,8
21	53,02	4,5	7,0	26,9	29,7
26	52,60	4,8	6,5	27,0	30,4
31	56,18	5,0	6,5	27,9	31,2
36	51,76	4,5	5,9	27,7	32,0
41	51,34	4,5	5,9	28,3	31,9
46	50,92	5,0	5,4	28,4	32,7
51	50,50	4,5	6,7	28,7	33,3
56	50,08	4,5	7,0	29,8	33,4
61	49,66	4,8	6,5	30,1	34,1
66	49,24	5,0	7,0	30,1	34,2
71	48,82	3,5	6,5	30,7	35,1
76	48,40	4,8	5,4	31,5	35,7
81	47,98	3,8	6,7	31,2	36,2
86	47,56	5,0	6,2	32,2	36,7
91	47,14	4,2	5,9	32,5	37,2
96	46,72	4,0	6,5	32,6	37,4

Pola loncatan dengan selisih konsisten setiap 5 angka ini bukan kesalahan penulisan. Data asli yang direkam sistem sebenarnya berjumlah lengkap hingga 96 baris, namun peneliti hanya menampilkan setiap data ke-5 saja dalam tabel artikel. Ini dilakukan karena jika semua data ditampilkan, tabel akan terlalu panjang dan tidak praktis untuk dimuat dalam format prosiding jurnal.

Keseluruhan, data dalam tabel diatas memperlihatkan hubungan yang saling berkaitan antara tegangan, arus, dan suhu: semakin lama motor bekerja dan semakin berat beban yang ditanggung, maka tegangan baterai semakin turun, arus semakin besar, dan suhu motor semakin meningkat. Ketiga pola ini menjadi dasar penting mengapa sistem pemantauan real-time berbasis IoT sangat diperlukan untuk menjaga keamanan dan keandalan motor BLDC pada sepeda listrik.

Dibandingkan dengan Dzaky dan Hadiatna (2025), penelitian mereka berfokus pada sistem pengereman otomatis menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek di depan kendaraan. Perbedaannya, penelitian saya tidak berurusan dengan pengereman, melainkan melindungi motor dari ancaman internal seperti tegangan berlebih, arus berlebih, dan suhu tinggi. Mereka menjaga keselamatan dari sisi luar kendaraan, saya dari dalam sistem kelistrikannya.

Dibandingkan dengan Arinando dan Rohman (2020), penelitian mereka hanya sebatas menganalisis pengaruh beban dan kecepatan terhadap suhu kontroler tanpa merancang sistem proteksi apapun. Penelitian saya melangkah lebih jauh dengan tidak hanya memantau parameter tersebut, tetapi juga merancang sistem yang secara otomatis memutus daya ketika kondisi berbahaya terdeteksi.

Dibandingkan dengan Prastya, Dewantara, dan Diah (2025), penelitian mereka murni mengukur dan mengkarakterisasi performa motor BLDC menggunakan metode dynamometer test. Penelitian saya menggunakan parameter yang sama seperti arus, tegangan, dan suhu, namun tujuannya berbeda yaitu sebagai input sistem keamanan yang bereaksi otomatis, bukan sekadar dicatat dan dianalisis.

Secara garis besar, jurnal-jurnal yang saya jadikan rujukan rata-rata hanya melakukan analisis atau pengukuran terhadap kondisi motor BLDC, atau berfokus pada aspek keselamatan yang berbeda seperti pengereman. Kebaruan penelitian saya terletak pada penggabungan tiga fungsi sekaligus dalam satu sistem, yaitu pemantauan real-time melalui sensor tegangan, arus, dan suhu; proteksi otomatis melalui relay yang dikendalikan optokopler; serta monitoring jarak jauh berbasis IoT menggunakan ESP32. Kombinasi ketiga fungsi ini dalam satu sistem terintegrasi untuk sepeda listrik itulah yang menjadi kontribusi utama dan pembeda penelitian saya dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan implementasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem keselamatan *safety system* pada pengendali motor BLDC untuk sepeda listrik berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan sensor suhu termistor yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengolah data. Sistem ini terbukti dapat memantau kondisi operasional baterai dan motor BLDC secara real-time, serta mampu mendeteksi kondisi tidak normal berupa tegangan berlebih, tegangan rendah, arus berlebih, maupun suhu yang melampaui ambang batas aman, untuk kemudian secara otomatis memutus suplai daya melalui relay yang dikendalikan optokopler sebagai tindakan proteksi. Dengan adanya mekanisme proteksi tersebut, risiko kerusakan komponen serta penurunan umur pakai motor

BLDC akibat *overheat* maupun *overcurrent* dapat diminimalkan. Selain berfungsi sebagai sistem proteksi, integrasi dengan platform monitoring berbasis IoT juga memungkinkan seluruh data pengukuran dan status operasi sistem dipantau secara langsung oleh pengguna melalui jaringan internet, sehingga tindakan antisipatif dapat diambil lebih cepat sebelum terjadi kegagalan sistem. Dengan demikian, perancangan safety system ini telah menjawab tujuan penelitian, yaitu meningkatkan keamanan, keandalan, dan umur pakai motor BLDC pada sepeda listrik, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem proteksi kendaraan listrik berbasis IoT di bidang teknik elektro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Amalia, A. Khabib, E. Yudaningtyas, T. Machfuroh, F. A. N. Aini, and S. D. N. Rosady, "Field Oriented Control untuk Pengaturan Kecepatan Motor BLDC pada Sepeda Motor Listrik," *J. Elkolind Vol.*, vol. 10, no. 9, pp. 1–8, 2023.
- [2] B. O. N. Hidayah, W. Hadi, and W. Cahyadi, "Pengaruh Air Gap Terhadap Unjuk Kerja Motor Brushless Direct Current 3 Fasa Fluks Aksial Stator Ganda," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, 2020.
- [3] A. D. Erlanthiana, T. Mulyanto, and H. Kuncoro, "Perancangan dan Analisis Sistem Powertrain Direct Drive Berbasis Motor BLDC untuk Aplikasi Mobil Wisata," *Inov. Mek. dan Apl. Tek.*, vol. 2, pp. 1–11, 2026.
- [4] SUHARININGSIH, F. YULIANDA, E. SUNARNO, and M. A. B. NUGROHO, "Battery Management System dengan Fitur Adaptive Current Protection terhadap Suhu," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron. ISSN(p)*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [5] M. R. A. Cahyono, I. Mariza, and S. Wirawan, "Electric Bike Monitoring and Controlling System Based on Internet of Things," vol. 11, no. 1, pp. 53–60, 2022.
- [6] B. Suhendro, Joni, and D. Harsono, "Rancang Bangun Sistem Kendali Sepeda Listrik Berbasis Arduino," vol. 2, pp. 1–8, 2019.
- [7] T. R. Prasja and E. Kurniasih, "PERLINDUNGAN KONSUMEN TERHADAP PENGGUNAAN SEPEDA LISTRIK," *J. Kaji. Ilmu Huk.*, vol. 4, no. 2, pp. 231–246, 2025.
- [8] M. Dzaky and F. Hadiatna, "Rancang Bangun Sistem Safety Riding Automatic Engine Brake pada Kendaraan Listrik Atom Alpha," pp. 129–136, 2025.
- [9] L. Arinando and F. Rohman, "Desain dan analisis pengaruh variasi nilai beban dan kecepatan laju kendaraan terhadap suhu kontroler motor BLDC pada purwarupa kendaraan listrik," vol. 9, no. 2, pp. 183–187, 2020.
- [10] H. Y. Prastya, B. Y. Dewantara, and I. Diah, "Karakteristik Kendaraan Konversi Sepeda Motor Listrik Motor BLDC 2000 Watt Type Hub Drive," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 02, pp. 58–63, 2025.