BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan kendaraan listrik di Indonesia mendapat dukungan melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk TranSPORTasi Jalan. Peraturan tersebut diterbitkan untuk mempercepat pengembangan ekosistem kendaraan listrik melalui perluasan ruang lingkup kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, penyesuaian penggunaan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN), serta penguatan dukungan pemerintah pusat dan pemerintah daerah (Pemerintah Republik Indonesia, 2023). Kebijakan ini menunjukkan bahwa perkembangan kendaraan listrik tidak hanya berkaitan dengan penggunaan kendaraan sebagai sarana tranSPORTasi, tetapi juga membutuhkan penguasaan teknologi pendukung yang mencakup baterai, motor listrik, elektronika daya, serta sistem kendali kendaraan.

Jumlah kendaraan listrik yang digunakan di Indonesia juga terus bertambah. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia mencatat populasi kendaraan listrik sebanyak 116.439 unit pada tahun 2023 dan meningkat menjadi 207.478 unit pada tahun 2024. Jumlah tersebut mengalami kenaikan sekitar 78% dalam satu tahun (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2025). Data berikutnya menunjukkan bahwa hingga pertengahan tahun 2025 jumlah kendaraan listrik telah mencapai 252.593 unit. Kendaraan listrik roda dua menjadi kelompok terbesar dengan jumlah 184.168 unit, sedangkan kendaraan roda empat penumpang tercatat sebanyak 67.123 unit (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2025). Besarnya jumlah kendaraan roda dua menunjukkan bahwa teknologi kendaraan listrik berukuran kecil mempunyai ruang pengembangan yang cukup besar, termasuk pada sisi sistem kendali motor penggeraknya.

Motor listrik membutuhkan sistem kendali yang mampu mengatur daya dari baterai menuju motor sesuai dengan kebutuhan pengoperasian. Pada motor DC, salah satu cara yang umum digunakan untuk mengatur daya dan kecepatan adalah

melalui *Pulse Width Modulation* (PWM). Nilai *duty cycle* PWM menentukan lamanya tegangan diberikan kepada motor dalam setiap periode sehingga perubahan PWM dapat digunakan untuk mengatur karakteristik putaran motor. Penelitian Pratama et al. (2024) menggunakan Arduino Uno, driver BTS7960, motor DC, sensor arus, *voltage divider*, OLED, dan *push-button* dalam sebuah alat peraga sistem kendali motor. Penelitian tersebut memperlihatkan bahwa Arduino dapat digunakan sebagai pusat pemrosesan data sekaligus pembangkit sinyal kendali untuk driver motor, sementara parameter kerja sistem dapat diamati melalui sensor yang terintegrasi (Pratama et al., 2024).

BTS7960 menjadi salah satu driver yang dapat digunakan untuk mengendalikan motor DC karena memiliki konfigurasi *H-bridge* serta menerima sinyal PWM sebagai masukan kendali. Luqman et al. (2025) menguji BTS7960 sebagai perangkat *power switching* dan menunjukkan bahwa modul tersebut mampu bekerja dengan sinyal yang dibangkitkan Arduino Uno serta menangani arus yang lebih besar dibandingkan driver L298 pada konfigurasi pengujiannya. Penelitian lain juga telah menggunakan kombinasi Arduino Uno, motor DC, dan BTS7960 untuk mengatur sistem mekanis dengan kebutuhan kendali daya yang berbeda-beda (Al Azzah & Aribowo, 2025). Hal ini memperlihatkan bahwa kombinasi mikrokontroler dan BTS7960 cukup fleksibel untuk dikembangkan pada sistem kendali motor DC, tetapi karakteristik sistem tetap perlu disesuaikan dengan beban dan kebutuhan aplikasinya.

Salah satu masalah yang perlu diperhatikan ketika motor mulai berputar adalah arus awal yang dapat meningkat dalam waktu singkat. Kondisi tersebut menjadi perhatian pada sistem penggerak karena perubahan daya secara langsung dari kondisi berhenti menuju keluaran tinggi dapat memberikan beban listrik maupun mekanis yang besar. Menerapkan mekanisme *soft-start* dan *soft-stop* pada pengembangan driver motor DC *brushed* untuk aplikasi otomotif agar motor tidak menarik arus berlebihan dari sumber pada saat memulai dan menghentikan gerakan. Pengaturan kenaikan keluaran secara bertahap juga memberikan perubahan gerakan yang lebih halus dibandingkan pemberian daya maksimum secara langsung.

Permasalahan tersebut menjadi lebih penting pada penelitian ini karena input akselerasi tidak menggunakan tuas gas analog berupa potensiometer atau sensor *Hall*, tetapi menggunakan *push-button*. Tuas gas analog dapat menghasilkan nilai masukan yang berubah mengikuti posisi tuas, sedangkan *push-button* pada dasarnya hanya memberikan dua kondisi logika, yaitu ditekan dan dilepas. Jika kondisi tombol langsung diterjemahkan menjadi PWM maksimum, motor dapat menerima perubahan keluaran yang terlalu cepat. Karena itu, input tombol perlu diikuti algoritma *ramping* yang menaikkan PWM secara bertahap ketika tombol ditekan dan menurunkannya kembali ketika tombol dilepas. Pendekatan ini membuat karakteristik akselerasi tidak hanya ditentukan oleh komponen mekanis, tetapi juga oleh algoritma yang diprogram pada Arduino.

Pengendalian motor juga perlu disertai informasi mengenai kondisi kelistrikan selama sistem bekerja. Tegangan dan arus merupakan parameter yang dapat digunakan untuk melihat perubahan kondisi sumber daya serta beban motor. Erlangga dan Pratama (2026) mengembangkan sistem monitoring baterai kendaraan listrik yang dilengkapi *data logger* untuk merekam arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi. Sistem tersebut diuji pada sepeda listrik dan menunjukkan bahwa pencatatan parameter kelistrikan dapat digunakan untuk mendukung pemantauan performa kendaraan listrik (Erlangga & Pratama, 2026). Pada penelitian ini, prinsip pemantauan tersebut diterapkan melalui sensor tegangan dan sensor arus yang dibaca oleh Arduino sehingga perubahan parameter listrik dapat diamati bersamaan dengan perubahan PWM dan kondisi kerja motor. Data operasional juga dapat disimpan sehingga hasil pengujian tidak hanya mengandalkan pengamatan sesaat, tetapi dapat digunakan kembali pada tahap analisis.

Sistem yang memperlihatkan hubungan langsung antara program, sensor, driver, dan respons motor juga mempunyai kegunaan dalam pembelajaran teknik. Pratama et al. (2024) mengembangkan alat peraga pengendalian kecepatan motor DC berbasis Arduino dan LabVIEW karena pembelajaran yang hanya menggunakan simulasi dinilai belum cukup memberikan pengalaman dalam menerapkan konsep kendali pada sistem nyata. Hasil evaluasi alat tersebut

memperoleh nilai *usability* rata-rata 92,37%, yang menunjukkan bahwa alat peraga dapat membantu pengguna mempelajari respons sistem kendali secara langsung (Pratama et al., 2024). Pada bidang kendaraan listrik, Sudarsono et al. (2024) mengembangkan *Electric Vehicle Learning Simulator* (EVLIS) yang mengintegrasikan materi kendaraan listrik dengan kebutuhan pembelajaran berbasis industri. Pengembangan tersebut menunjukkan pentingnya media pembelajaran kendaraan listrik yang memungkinkan peserta didik mempelajari teknologi tidak hanya melalui teori, tetapi juga melalui proses pengujian dan pengamatan pada sistem yang dapat dioperasikan (Sudarsono et al., 2024).

Beberapa penelitian tersebut memiliki bagian yang berhubungan dengan rancangan yang akan dibuat, tetapi fokus pengembangannya masih berbeda. Pratama et al. (2024) mengembangkan trainer pengendalian motor DC dengan *Fuzzy Logic Controller* berbasis Arduino dan LabVIEW. Luqman et al. (2025) membahas karakteristik BTS7960 sebagai *power switching* pada inverter, sedangkan Al Azzah dan Aribowo (2025) menggunakan Arduino Uno dan BTS7960 pada kendali motor alat latihan tenis. Erlangga dan Pratama (2026) lebih berfokus pada monitoring baterai kendaraan listrik dan pencatatan arus, tegangan, daya, serta konsumsi energi. Pada sisi pendidikan kendaraan listrik, Sudarsono et al. (2024) mengembangkan EVLIS sebagai simulator pembelajaran yang terintegrasi dengan pembelajaran berbasis industri. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa kendali motor, monitoring parameter, pencatatan data, dan media pembelajaran kendaraan listrik telah dikembangkan, tetapi penerapannya masih berada pada sistem dan tujuan yang berbeda.

Penelitian ini mengambil pendekatan dengan menggabungkan fungsi-fungsi tersebut dalam sebuah prototipe skuter listrik roda dua. Arduino Uno digunakan sebagai pusat kendali, sedangkan BTS7960 digunakan untuk mengendalikan motor DC *brushed* 24 V. Akselerasi diberikan melalui *push-button* dan diolah menggunakan algoritma *soft-start* atau *ramping PWM* agar perubahan keluaran menuju motor berlangsung bertahap. Sensor arus dan tegangan digunakan untuk memantau kondisi operasional sekaligus mendukung penerapan batas kerja sistem. Parameter yang diperoleh dapat ditampilkan kepada pengguna dan dicatat sebagai

data pengujian. Rancangan ini memberi kesempatan untuk mempelajari hubungan antara input digital, algoritma pada mikrokontroler, perubahan PWM, kondisi arus dan tegangan, serta respons motor dalam satu sistem yang dapat diuji secara langsung.

Penggabungan *push-button* sebagai akselerator digital, algoritma *ramping*, Arduino Uno, BTS7960, pemantauan parameter kelistrikan, sistem limitasi, serta pencatatan data pada prototipe skuter listrik menjadi bagian yang membedakan penelitian ini dari penelitian sebelumnya. Sistem tidak hanya dirancang agar motor dapat dikendalikan, tetapi juga agar proses kerjanya dapat diamati dan dianalisis. Atas dasar kebutuhan tersebut, penelitian berjudul "Perancangan Sistem Kendali Skuter Listrik Roda 2 Berbasis Arduino" dilakukan untuk menghasilkan sistem kendali skuter listrik yang dapat digunakan dalam pengujian kinerja motor sekaligus sebagai media praktikum untuk mempelajari sistem kendali kendaraan listrik secara aplikatif.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem kendali skuter listrik roda dua berbasis Arduino Uno menggunakan driver BTS7960 untuk mengatur motor DC *brushed* 24 V 250 W?
2. Bagaimana penerapan algoritma PWM, soft-start, dan mode berkendara ECO, NORMAL, serta SPORT terhadap karakteristik kerja motor listrik?
3. Bagaimana kinerja sistem pembatas arus berbasis sensor WCS1700 dalam menjaga arus motor agar tetap berada pada batas operasi yang aman?
4. Bagaimana penerapan sistem monitoring menggunakan sensor arus, tegangan, suhu, OLED, dan SD Card dalam mendukung analisis performa controller skuter listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem controller skuter listrik roda dua berbasis Arduino Uno menggunakan driver BTS7960 dan motor DC *brushed* 24 V 250 W.

2. Mengembangkan algoritma pengaturan PWM dengan fitur soft-start dan variasi mode berkendara ECO, NORMAL, dan SPORT.
3. Mengembangkan sistem pembatas arus berbasis feedback menggunakan sensor WCS1700 untuk menjaga kestabilan kerja motor.
4. Merancang sistem monitoring parameter operasional berupa arus, tegangan baterai, suhu, PWM, dan kondisi fault menggunakan OLED serta SD Card logger.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan prototype controller skuter listrik yang mampu mengatur daya motor secara lebih stabil dan aman.
2. Memberikan informasi mengenai hubungan antara nilai arus motor, tegangan baterai, dan kondisi operasi kendaraan listrik.
3. Menghasilkan sistem monitoring yang dapat membantu proses pengujian dan analisis performa controller.
4. Menjadi media pembelajaran mengenai penerapan mikrokontroler, sensor, driver motor, dan algoritma kendali pada kendaraan listrik.

1.5 Batasan Masalah

1. Sistem menggunakan Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler utama, BTS7960 sebagai driver motor, dan motor DC *brushed* dengan spesifikasi 24 V 250 W.
2. Sumber energi menggunakan dua baterai 12 V 12 Ah yang dirangkai seri sehingga menghasilkan tegangan nominal 24 V.
3. Input akselerasi menggunakan push-button digital dan sistem hanya mengatur arah putaran maju.
4. Sistem memiliki tiga mode operasi yaitu ECO, NORMAL, dan SPORT berdasarkan pengaturan PWM serta batas arus.
5. Parameter yang dimonitor meliputi arus motor menggunakan sensor WCS1700, tegangan baterai menggunakan voltage divider, temperatur menggunakan DS18B20, PWM, status fault.

6. Sistem menerapkan pembatas arus berbasis pengurangan PWM dan tidak menggunakan kontrol kecepatan berbasis sensor RPM.
7. Penelitian tidak membahas sistem pengereman regeneratif, BMS, pengisian baterai, maupun standar kendaraan listrik komersial.