

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya penggunaan kendaraan listrik, diperlukan sistem yang mampu menjamin keandalan, keselamatan, serta efisiensi operasional, khususnya pada sistem penyimpanan energi dan elektronika daya. Oleh karena itu, sistem pemantauan kondisi operasional kendaraan listrik menjadi aspek penting untuk mendukung keamanan dan keberlanjutan penggunaan kendaraan listrik [1]. Pada kendaraan listrik roda dua, motor Brushless Direct Current (BLDC) banyak digunakan karena memiliki efisiensi tinggi dan respons dinamis yang baik [2].

Selama kendaraan beroperasi, rugi konduksi dan pensaklaran menghasilkan panas. Pengelolaan panas diperlukan agar kondisi termal perangkat dapat dipantau dan pelepasan panasnya dapat berlangsung dengan baik. Temperatur driver atau kontroler menjadi salah satu parameter yang perlu dipantau selama kendaraan beroperasi. Kondisi termal driver dapat berubah mengikuti kondisi operasi kendaraan. Oleh karena itu, selain temperatur sebagai parameter utama, kecepatan kendaraan digunakan sebagai parameter pendukung untuk memberikan informasi mengenai kondisi operasi kendaraan.

Salah satu metode yang relatif sederhana untuk meningkatkan perpindahan panas dari driver menuju udara di sekitarnya adalah *forced-air cooling*, yaitu meningkatkan aliran udara menggunakan fan sehingga koefisien perpindahan panas konveksi menjadi lebih besar dibandingkan konveksi alami [3]. Efektivitas *forced-air cooling* tidak hanya ditentukan oleh keberadaan fan, tetapi juga oleh arah dan distribusi aliran udara terhadap sumber panas. Bünnagel dkk. menunjukkan bahwa distribusi udara yang melewati *heat sink* memiliki pengaruh terhadap temperatur modul semikonduktor daya. Oleh karena itu, pengaturan jalur dan arah aliran udara menjadi salah satu faktor penting dalam sistem pendinginan elektronika daya [4]. Penelitian lain mengenai pendinginan elektronika menunjukkan bahwa penyaluran udara menuju lokasi sumber panas dapat meningkatkan pemanfaatan aliran udara dibandingkan apabila udara didistribusikan tanpa diarahkan terhadap komponen yang membutuhkan pendinginan [5].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, Rahman *et al.* membahas pentingnya *thermal management* pada perangkat elektronika daya, sedangkan Bünnagel *et al.* membahas penggunaan *forced-air cooling* dan pengaruh distribusi aliran udara terhadap temperatur modul elektronika daya. Ouhab *et al.* melakukan pemantauan kondisi termal melalui estimasi *junction temperature* pada *power module* yang digunakan pada *motor drive*, sedangkan Rodríguez-Valderrama *et al.* menerapkan *fuzzy logic* untuk mengatur kecepatan fan berdasarkan kondisi temperatur dan beban termal. Namun, penelitian-penelitian tersebut memiliki fokus dan objek penerapan yang berbeda, sehingga belum secara khusus menggabungkan pemantauan temperatur driver motor kendaraan listrik roda dua, informasi kecepatan kendaraan, dan pengaturan kipas pendingin secara adaptif dalam satu sistem.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring temperatur driver motor dan kecepatan kendaraan yang diproses menggunakan *fuzzy logic* Mamdani untuk menentukan nilai PWM sebagai pengatur dua kipas pendingin. Udara dari lingkungan dialirkan secara paksa menuju driver, sedangkan udara yang telah menerima panas selanjutnya keluar melalui ventilasi atau celah pada box. Penggunaan jalur udara yang tepat penting karena hambatan aliran di dalam enclosure dapat menyebabkan penurunan debit aktual fan dan menurunkan efektivitas pendinginan [6].

Penelitian pengendalian termal berbasis fuzzy menunjukkan bahwa temperatur dan beban termal dapat digunakan sebagai masukan untuk mengatur kecepatan kipas dan aliran udara. Suhu digunakan sebagai informasi utama mengenai kondisi termal driver, sedangkan kecepatan digunakan sebagai informasi pendukung mengenai kondisi operasi kendaraan. Hasil proses fuzzy berupa nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) pada rentang 0–255 yang digunakan untuk mengatur dua fan melalui driver L298N. Dengan Arduino Nano sebagai pengolah data, DS18B20 sebagai pembaca suhu, dan satu sensor Hall bawaan motor BLDC sebagai sumber pulsa kecepatan yang kemudian datanya ditampilkan pada LCD serta HMI sebagai alat bantu pengujian dan pencatatan data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring suhu driver motor dan kecepatan kendaraan listrik yang mampu bekerja secara *real-time* berbasis Arduino Nano serta menampilkan informasinya pada LCD?
2. Bagaimana menerapkan metode *fuzzy logic* Mamdani berdasarkan variabel suhu dan kecepatan kendaraan untuk mengklasifikasikan kondisi operasi ke dalam kategori *ideal*, *caution*, dan *danger*?
3. Bagaimana pengaruh pengoperasian dua kipas yang mengarahkan aliran udara menuju driver motor terhadap perubahan temperatur pada pengujian jalan landai dan jalan menanjak dibandingkan kondisi tanpa kipas?

1.3 Tujuan

1. Merancang dan membangun sistem monitoring suhu driver motor dan kecepatan kendaraan listrik yang mampu bekerja secara *real-time* berbasis Arduino Nano serta menampilkan informasinya pada LCD.
2. Menerapkan metode *fuzzy logic* Mamdani untuk mengklasifikasikan kondisi operasional kendaraan listrik berdasarkan variabel suhu dan kecepatan ke dalam kategori *ideal*, *caution*, dan *danger*.
3. Menganalisis pengaruh penggunaan dua kipas yang diarahkan menuju driver motor terhadap perubahan temperatur melalui perbandingan pengujian jalan landai dan jalan menanjak dalam kondisi dengan kipas dan tanpa kipas.

1.4 Manfaat

1. Bagi penulis, penelitian menjadi media penerapan instrumentasi, sistem embedded, akuisisi data, dan kendali fuzzy pada kendaraan listrik.
2. Bagi pengguna, sistem menyediakan informasi temperatur driver, kecepatan kendaraan, PWM, dan tingkat perintah pendinginan secara real-time melalui LCD.
3. Bagi akademisi, penelitian dapat menjadi referensi pengembangan monitoring termal dan forced-air cooling adaptif pada perangkat elektronika daya kendaraan listrik ringan.

1.5 Pembatasan Masalah

1. Penelitian difokuskan pada sistem monitoring temperatur dan pendinginan driver/kontroler motor BLDC pada kendaraan listrik roda dua.
2. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan satu sensor DS18B20 yang ditempatkan pada titik ukur di area driver motor.
3. Pembacaan DS18B20 merepresentasikan temperatur pada titik pemasangan sensor dan tidak secara langsung merepresentasikan junction temperature MOSFET.
4. Baterai LiFePO₄ hanya digunakan sebagai sumber energi utama kendaraan serta sumber daya sistem monitoring dan pendinginan melalui rangkaian penurun tegangan. Temperatur baterai tidak diukur dan baterai tidak menjadi objek pengendalian temperatur.
5. Variabel masukan fuzzy logic terdiri dari suhu driver dan kecepatan kendaraan.
6. Kecepatan diperoleh melalui pembacaan satu Hall Effect bawaan motor BLDC dan hanya digunakan untuk memperoleh besar kecepatan kendaraan.
7. Pembacaan Hall oleh Arduino tidak digunakan untuk proses komutasi motor BLDC.
8. Keluaran metode fuzzy Mamdani berupa nilai PWM pada rentang 0–255 yang digunakan sebagai perintah pengoperasian dua DC brushless fan.
9. Kedua fan digunakan untuk menghasilkan aliran udara paksa yang diarahkan menuju driver motor. Fan tidak digunakan sebagai pasangan inlet–outlet aktif. Pelepasan udara panas dari box dilakukan secara pasif melalui ventilasi atau celah pada konstruksi box.
10. Sistem tidak mengendalikan kecepatan, torsi, arus utama, maupun proses komutasi motor BLDC.
11. Pengujian termal dilakukan pada jalan landai dan menanjak dengan membandingkan kondisi dengan fan dan tanpa fan.
12. Status IDEAL, CAUTION, dan DANGER yang ditampilkan sistem digunakan untuk menunjukkan tingkat perintah pendinginan berdasarkan nilai PWM, bukan sebagai batas keselamatan temperatur MOSFET atau driver yang telah tervalidasi.

1.6 Sistematika Proposal Tugas Akhir

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini disusun untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai alur pembahasan penelitian, berikut susunannya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori dan kajian pustaka yang mendukung penelitian, meliputi konsep kendaraan listrik, baterai LiFePO₄, sistem monitoring suhu berbasis sensor DS18B20, pembacaan kecepatan menggunakan *Hall Effect*, pengendalian kipas berbasis *PWM*, serta teori *fuzzy logic* Mamdani yang digunakan dalam sistem klasifikasi kondisi operasional.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi perancangan sistem secara keseluruhan, diagram blok sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan sistem *fuzzy logic*, serta alur kerja sistem monitoring dan pengendalian pendingin.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem serta pengujian kinerja untuk mengevaluasi kemampuan sistem. Selain itu, dianalisis pula kinerja sistem pendingin dalam menjaga kestabilan suhu sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat seluruh referensi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir dan ditulis sesuai dengan format sitasi yang ditetapkan (IEEE).

LAMPIRAN

Bagian ini berisi data pendukung penelitian seperti diagram rangkaian, diagram blok sistem, kode program, dokumentasi alat, serta data hasil pengujian.