

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pengendalian kecepatan pada mobil listrik merupakan elemen kunci yang memungkinkan pengemudi mengatur dan menjaga kecepatan kendaraan sesuai kebutuhan serta berperan penting dalam memberikan pengalaman berkendara yang aman dan nyaman. Sistem kontrol kecepatan pada mobil listrik menggabungkan teknologi canggih seperti motor listrik yang dapat disesuaikan secara tepat dan sistem kendali cerdas untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi kendaraan. Pada mobil listrik, motor listrik berfungsi sebagai sumber tenaga utama yang menggerakkan roda [1]. Kecepatan kendaraan dapat diatur secara tepat menggunakan pengontrol elektronik yang mampu mengatur daya yang disuplai ke mesin. Pengemudi dapat dengan mudah mengontrol kecepatannya melalui pedal akselerator atau tombol di roda kemudi, sehingga memungkinkan pengemudi menangani berbagai situasi berkendara [2].

Dalam beberapa kasus, kecelakaan dapat timbul terkait dengan pengendalian kecepatan mobil listrik. Salah satu masalah yang perlu dipertimbangkan adalah kegagalan pada sistem kendali kecepatan yang dapat menyebabkan kendaraan melaju dengan kecepatan yang tidak diinginkan, meskipun pengemudi tidak menginginkannya. Kegagalan komponen elektronik atau perangkat keras pada sistem pengatur kecepatan dapat mengakibatkan situasi berbahaya di jalan seperti akselerasi yang tidak terkendali atau perlambatan mendadak, yang dapat mengakibatkan kecelakaan serius [3].

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah salah satu komponen inti yang mengemudikan keberhasilan mobil listrik modern, berperan penting dalam efisiensi, kinerja, dan keandalan kendaraan tersebut. Penggunaan motor BLDC di mobil listrik telah memberikan dampak yang signifikan pada industri otomotif dan mobilitas berkelanjutan secara keseluruhan. Salah satu pengaruh paling mencolok dari penggunaan motor BLDC adalah efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam. Motor BLDC memiliki sedikit atau bahkan tidak ada gesekan mekanis, yang membuatnya lebih efisien dalam mengubah energi

listrik menjadi gerakan. Hal ini menghasilkan penggunaan daya yang lebih efisien dan karenanya jarak yang lebih jauh yang dapat ditempuh dengan sekali pengisian baterai, yang menjadi salah satu faktor kunci dalam menarik minat pengguna terhadap mobil listrik dan performa kendaraan juga meningkat signifikan berkat mesin BLDC. Motor ini memberikan torsi tinggi pada rentang kecepatan yang luas, memberikan akselerasi cepat dan pengoperasian yang mulus. Kendaraan listrik yang menggunakan motor BLDC seringkali memiliki akselerasi yang sangat baik sehingga membuat pengalaman berkendara semakin menarik dan menyenangkan, Motor BLDC memiliki kekurangan pada kinerja motor BLDC yang dapat menurun ketika bekerja dalam kondisi berbeban. Dibutuhkan pengaturan kecepatan dengan menggunakan metode pengendalian dengan tujuan dapat mempercepat *rise time* dan mengurangi atau bahkan menghilangkan *overshoot*, karena dengan *rise time* cepat dapat meningkatkan responsif motor BLDC dan mengurangi atau menghilangkan *overshoot* dapat menstabilkan motor BLDC [4] [5].

*Lead compensation* adalah metode yang digunakan dalam sistem kontrol untuk memperbaiki respon dinamik dan meningkatkan stabilitas sistem. Teknik ini melibatkan penambahan komponen kompensasi ke jalur umpan balik sistem kontrol, yang berfungsi untuk mempercepat respons sistem terhadap perubahan *input* dan mengurangi *overshoot* atau osilasi yang mungkin terjadi selama transisi. Kondisi tersebut terjadi di mana *output* sistem melampaui nilai yang diinginkan sebelum akhirnya menetap pada titik setel. Dengan mengoptimalkan respons transien dan stabilitas sistem, *lead compensation* memastikan bahwa sistem kontrol dapat merespon perubahan secara cepat dan akurat, sehingga kinerja keseluruhan sistem menjadi lebih efisien dan andal [6].

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, penelitian ini akan membuat sistem kendali motor BLDC menggunakan metode *lead compensation* pada mobil listrik. Penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki *rise time*, dengan mengurangi *rise time* mobil listrik menjadi lebih stabil dan lebih responsif terhadap perubahan kecepatan. Hal ini membantu mengurangi risiko kecelakaan atau hilangnya kendali kendaraan [7]. Sistem kontrol yang mengurangi atau memperbaiki *rise time* yang lambat cenderung mengurangi keausan pada komponen mekanis dan elektronik.

Respon yang lebih lancar terhadap kecepatan sistem dapat membantu menjaga masa pakai baterai kendaraan listrik [8]. Maka, pada penelitian ini dilakukan perancangan dan implementasi pengendalian kecepatan pada motor BLDC dengan menggunakan metode *lead compensation*.

## 1.2 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Tinjauan penelitian terdahulu merupakan suatu penegasan keaslian penelitian yang akan dilakukan dan menjelaskan perbandingan terhadap riset sebelumnya yang menjadi acuan dalam pembuatan laporan tugas akhir ini. Dalam tahap ini, penelitian akan diuraikan secara singkat sebagai bentuk memperkuat alasan mengapa penelitian ini dilakukan. Tabel 1.1 merupakan referensi jurnal penelitian sejenis yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya.

Tabel 1. 1 Tabel referensi.

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul
1	Puji Astuti, dan Hendri Masdi	2022	Sistem Kendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan PWM Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO
2	Rina Ristiana, Sunarto Kaleg, Rina Mardiaty, Aam Muharam, dkk	2022	<i>Advance BLDC Motor Drive Control for Electric Vehicles</i>
3	Ade Apipudin	2021	Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Motor <i>Brushless Direct Current</i> (BLDC) Menggunakan Kendali PID Pada Mobil Listrik
4	Mahmud, Motakaber, Zahirul Alam, Anis Nurashikin Nordin	2020	<i>Utilizing of Flower Pollination Algorithm for Brushless DC Motor Speed Controller</i>
5	Fatkhur Rohman, Muhammad Arif Nur Huda	2019	Implementasi dan Analisis Kendali Kecepatan Motor BLDC 1 kW Tanpa Beban Menggunakan Algoritma PID

Tahun 2022, P. Astuti, dkk [9] melakukan penelitian mengenai sistem kendali kecepatan motor BLDC menggunakan PWM berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Metodologi penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengontrol, yang menerima sinyal input dari sensor efek *Hall* yang membacakan perubahan medan magnet saat motor BLDC berputar. Motor BLDC yang digunakan berkapasitas 1000 *watt* dengan tegangan 48 *volt* dan dikendalikan oleh *inverter* tiga fasa. Kecepatan motor BLDC diatur menggunakan *keyboard* untuk mengatur nilai *duty cycle*, yang menghasilkan sinyal PWM melalui *inverter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan pulsa kendali ambien meliputi penyesuaian nilai *duty cycle*. Peningkatan nilai *duty cycle* akan meningkatkan tegangan motor yang selanjutnya akan meningkatkan arus. Karena arus sebanding dengan kecepatan motor, peningkatan kecepatan motor juga terjadi seiring dengan peningkatan tegangan dan arus. Uji eksperimental memastikan bahwa tegangan dan arus sebanding dengan jumlah putaran per menit (rpm) motor, sehingga menegaskan prinsip kontrol menggunakan pulsa listrik pada motor BLDC.

Tahun 2022, Ristiana, Rina, Sunarto Kaleg, dkk [10] melakukan penelitian untuk mengusulkan kontrol penggerak motor BLDC yang canggih dengan prinsip PWM digital untuk memperlakukan motor seperti sistem digital. Kontrol PWM digital menetapkan enam sakelar gerbang pada *inverter* dan memilih variasi tugas yang tinggi, rendah, atau keadaan lewat berdasarkan error pada kecepatan dan arus motor aktual. Selain itu, kontrol proporsional memberikan batas arus referensi. Semua proses penyusunan dan pembangkitan PWM digital terintegrasi ke dalam pengemudi. PWM digital dengan kontrol proporsional dapat menghilangkan sinyal gangguan proses, memberikan respons yang baik, dan memiliki waktu penyelesaian yang baik, sehingga memiliki potensi untuk diintegrasikan ke dalam pengemudi motor. Kontrol penggerak motor BLDC dengan prinsip PWM digital diimplementasikan untuk kendaraan listrik.

Tahun 2021, Ade Apipudin [11] melakukan penelitian tentang rancang bangun pengaturan kecepatan motor BLDC menggunakan kendali PID pada mobil listrik. Perancangan kendali dilakukan dengan memodelkan motor BLDC menggunakan

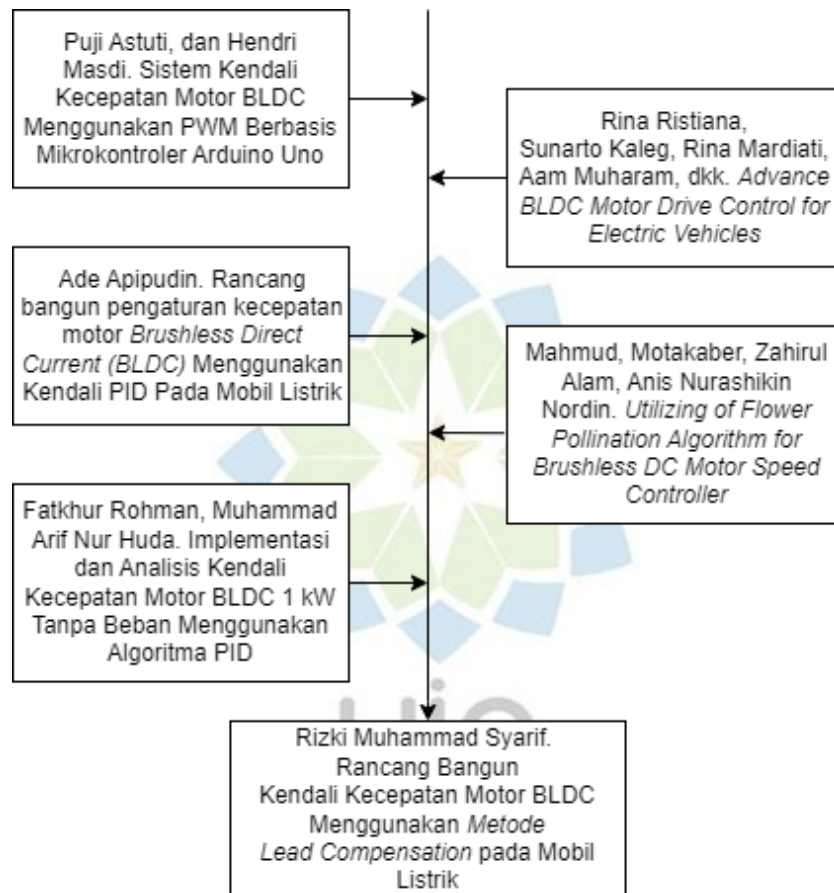
aplikasi SysId Matlab untuk mengamati respon sistem terhadap masukan PWM. Motor BLDC merespon rentang nilai pulsa dari 51 hingga 255, sesuai dengan tegangan dari 1,005 hingga 5 Volt. Hasil pemodelan menghasilkan fungsi transfer sistematis orde pertama. Fungsi alih sistem ini membantu menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada kondisi ideal tanpa jenuh. Selanjutnya dilakukan simulasi sistem kendali PID menggunakan fungsi transfer sistem yang menghasilkan respon stabil dengan *rise time* sekitar 1,32 detik, *settling time* sekitar 3,49 detik, dan melebihi sekitar 2,72%. Hasil tersebut memberikan nilai  $K_p = 79.841$ ,  $K_i = 0.91891$  dan  $K_d = -22.466$  sebagai parameter kendali PID yang efektif untuk sistem motor BLDC.

Tahun 2020, Motakabber, Alam, dkk [12] melakukan penelitian untuk mengamati bahwa motor BLDC telah menjadi pilihan utama dalam kendaraan listrik, sistem otomatisasi, dan aplikasi industri. Namun, tantangan yang dihadapi seperti efisiensi rendah, kompleksitas, ukuran besar, dan waktu respons yang lambat memerlukan pengembangan pengontrol yang lebih baik. Berbagai jenis pengontrol, termasuk Pengontrol *Proportional Integral Derivative* (PID), telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi PID dengan menggunakan algoritma baru, seperti Algoritma Penyerbukan Bunga (FPA), dapat menghasilkan peningkatan signifikan dalam kestabilan kecepatan dan waktu naik motor BLDC. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan desain pengontrol yang lebih baik, yang dapat diterapkan dalam aplikasi kendaraan listrik dan industri.

Tahun 2019, Rohman, Fatkhur Arif, dkk [13] melakukan penelitian yang bertujuan untuk merancang kendali kecepatan *Proporsional, Integral, dan Derivatif* (PID) pada motor BLDC 1 kW berbasis Arduino UNO menggunakan Matlab Simulink. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pengaruh variasi nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  terhadap respons kecepatan motor BLDC 1 kW, dengan fokus pada mencapai respon yang cepat, *overshoot* yang minimal, dan *error steady state* yang rendah. Metode pengambilan data dilakukan dengan variasi parameter PID melalui blok diagram Matlab Simulink yang dieksekusi oleh Arduino UNO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi nilai parameter PID memengaruhi

respons kecepatan motor BLDC 1 kW, dengan hasil optimal diperoleh melalui proses *trial & error* dengan nilai parameter  $K_p = 1.5$ ;  $K_i = 10.5$ ; dan  $K_d = 0.04$ .

Tinjauan penelitian terdahulu menggunakan rujukan tiga jurnal nasional dan dua jurnal internasional yang berhubungan dengan penelitian ini. Hubungan diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Hubungan penelitian.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, ada beberapa masalah yang perlu dirumuskan diantaranya:

1. Bagaimana rancang bangun pengendalian kecepatan motor BLDC berbasis kendali *lead compensation*?
2. Bagaimana kinerja sistem kendali kecepatan motor BLDC berbasis kendali *lead compensation*?

#### 1.4 Tujuan

Dari latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian kecepatan motor BLDC berbasis kendali *lead compensation*.
2. Menganalisis kinerja sistem kendali kecepatan motor BLDC berbasis kendali *lead compensation*.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

##### 1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat akademik dalam perkembangan teknologi dibidang keilmuan sistem kendali khususnya pada pengaturan kecepatan BLDC.

##### 2. Manfaat Praktis

- a. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para pegiat teknisi dalam penggunaan BLDC di Bidang Industri.
- b. Meningkatkan produk pengendalian yang menjadi acuan pada rekayasa teknologi.

#### 1.6 Batasan Masalah

Batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, maka dari itu perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, agar yang akan didapat lebih spesifik dan terarah. Batasan masalah ini menitik beratkan pada:

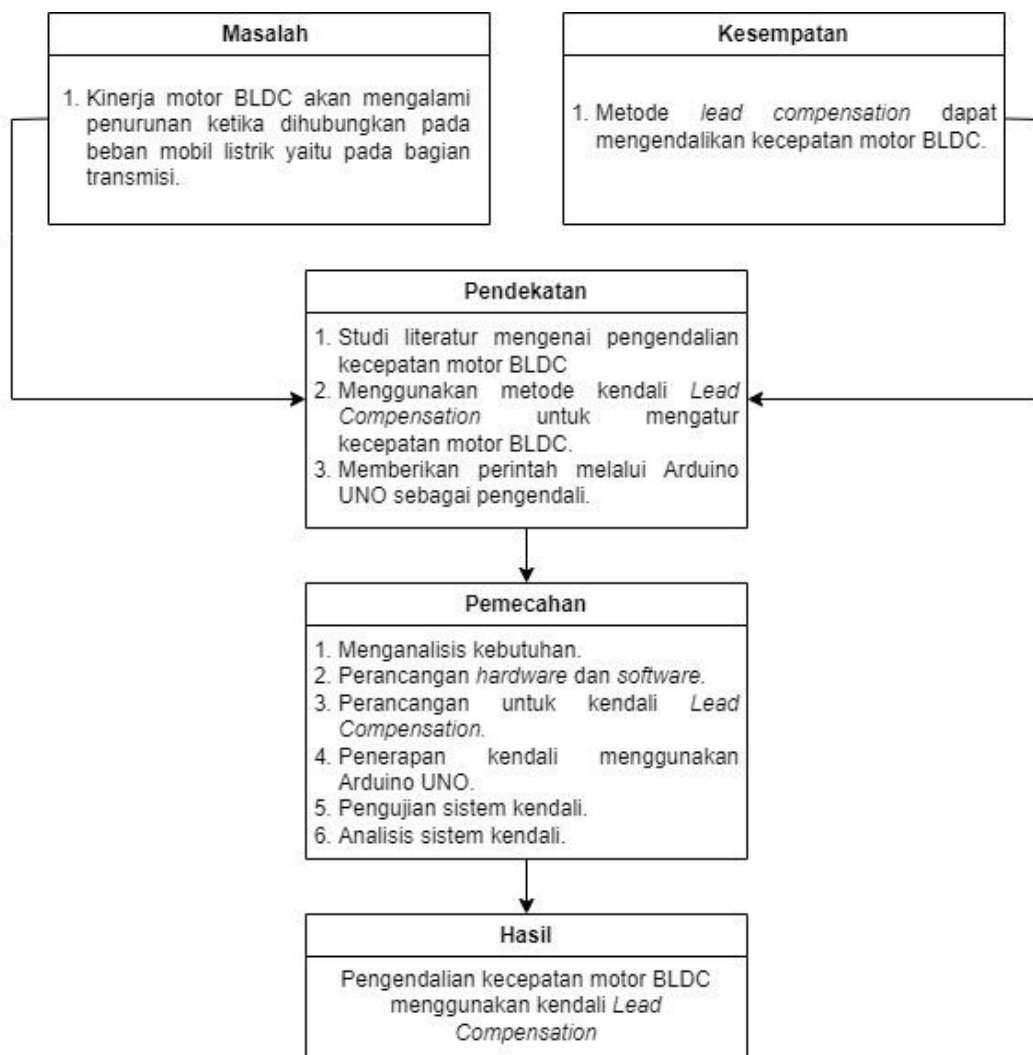
1. BLDC yang digunakan memiliki daya 10 kW yang bekerja pada tegangan *72 Volt*.
2. *Speed* sensor menggunakan sensor *rotary encoder* 400P 5-24 LPD3806-400BM-G5 bertipe *incremental*.
3. *Controller* menggunakan mikrokontroler Arduino UNO.
4. Fokus analisis pada pengujian dilakukan pada *setpoint* pengendalian 900 rpm dan 1800 rpm.



5. Dengan mempertimbangkan aspek keamanan, pengujian dilakukan dalam kondisi mobil tidak bergerak.

### 1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir adalah narasi atau suatu pernyataan tentang kerangka konsep pada suatu pemecahan masalah yang telah teridentifikasi atau di rumuskan. Kerangka berpikir penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir penelitian.

### 1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan suatu tahap penyusunan data dan penulisan dalam suatu laporan yang terdiri dari 6 bab agar dapat menghasilkan penulisan yang baik, diantaranya sebagai berikut:



## **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, tinjauan penelitian terdahulu, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka pemikiran, dan sistematika penulisan.

## **BAB II TEORI DASAR**

Pada bab ini menjelaskan tentang hal-hal pokok sebelum melakukan penelitian. Menyangkut dengan penelitian perlu adanya penguasaan teori yang berhubungan dan menunjang dalam penelitian mengenai rancang bangun kendali kecepatan motor BLDC menggunakan metode *lead compensation* pada mobil listrik.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian mengenai rancang bangun kendali kecepatan motor BLDC menggunakan metode *lead compensation* pada mobil listrik.

## **BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI**

Pada bab ini menjelaskan tahapan yang dilakukan ketika melakukan perancangan pada alat dan melakukan implementasi pada sistem kendali kecepatan motor BLDC dengan metode *lead compensation* pada mobil listrik.

## **BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab ini menjelaskan mengenai pengujian alat dan menganalisis hasil dari pengujian sistem kendali kecepatan motor BLDC dengan metode *lead compensation* pada mobil listrik.

## **BAB VI PENUTUP**

Pada bab ini menjelaskan mengenai bagian penutup dari penelitian. Pada bagian ini terdapat kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.