

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi dan pertumbuhan populasi global telah mendorong peningkatan kebutuhan akan transportasi secara signifikan. Sudah lebih dari satu abad, kendaraan berbahan bakar fosil (bensin dan solar) telah menguasai jalanan tanpa persaingan. Akan tetapi, kenyamanan tersebut memiliki konsekuensi yang sangat besar karena menyebabkan polusi udara, lonjakan emisi gas rumah kaca, serta ketergantungan terhadap sumber energi yang pada akhirnya akan habis. Situasi tersebut mendorong dunia untuk beralih ke alat transportasi yang lebih ramah lingkungan, di mana kendaraan listrik (*electric vehicle/EV*) hadir sebagai salah satu pilihan yang menjanjikan (Boudmen, 2024).

Meskipun kendaraan listrik (*electric vehicle/EV*) digolongkan sebagai bebas emisi pada saat digunakan, proses pengembangannya masih menghadapi berbagai tantangan. Keterbatasan kapasitas baterai dan jarak tempuh, lamanya waktu pengisian daya, dan penyebaran infrastruktur pengisian yang belum merata masih menjadi isu yang memerlukan perhatian serius (Boudmen, 2024). Berbagai tantangan tersebut menempatkan efisiensi konsumsi energi sebagai aspek utama yang memengaruhi kinerja, keandalan, dan tingkat penerimaan masyarakat terhadap teknologi ini. Berbeda dengan kendaraan konvensional yang teknologinya telah mapan, kendaraan listrik memerlukan pendekatan optimasi yang lebih kompleks karena melibatkan interaksi dinamis antara sistem elektrik (baterai, konverter, motor) dan sistem mekanik (transmisi, roda, dinamika kendaraan) (Ristiana dkk, 2018).

Upaya untuk mengoptimalkan strategi konsumsi energi memegang peranan yang sangat penting dan tidak dapat diabaikan. Pengembangan EV pada dasarnya diarahkan untuk memperoleh jarak tempuh maksimum dengan sumber energi yang terbatas, sekaligus tetap menjaga tingkat kenyamanan serta performa berkendara. Dalam kondisi ini, pendekatan kendali optimal (*optimal control*) muncul sebagai pendekatan yang

menjanjikan. Melalui kendali optimal, dapat dirancang strategi pengaturan berbagai variabel kendali, termasuk besarnya arus ke motor dan mekanisme distribusi daya dengan landasan formulasi matematis agar konsumsi energi dapat ditekan seminimal mungkin (Merakeb dkk., 2011).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa pendekatan kendali optimal memberikan hasil yang efektif. Salah satunya dilakukan oleh Rina Ristiana dan kawan-kawan (2018) yang menggunakan metode *calculus of variations* (kalkulus variasi) pada sistem linear untuk memperoleh solusi kendali optimal. Namun, pendekatan yang digunakan pada penelitian tersebut masih bersifat lingkaran terbuka (*open loop*) dan tidak diperbarui secara waktu nyata (*real time*) sehingga kurang adaptif terhadap perubahan kondisi sistem. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menerapkan kendali model prediktif (*model predictive control*/MPC) karena menggunakan pendekatan lingkaran tertutup (*close loop*) dan mampu memperbarui keputusan kendali secara waktu nyata (*real time*) berdasarkan model *state space*.

Kendali Model Prediktif (*Model Predictive Control*/ MPC) merupakan salah satu pendekatan kendali modern yang memanfaatkan model internal suatu sistem untuk memperkirakan respons plant (sistem fisik) di masa mendatang dalam suatu rentang waktu prediksi (*horizon prediksi*). Keunggulan utama MPC adalah mampu menangani kendala sistem secara eksplisit dalam formulasi optimisasi. Selain itu, MPC dapat memanfaatkan batasan kendala dalam proses pengendalian sehingga strategi operasional tetap aman dan terkendali. Formulasi yang digunakan berbentuk *Quadratic Programming* yang bersifat konveks, sehingga solusi optimalnya tetap terjamin (Maciejowski, 2002).

Secara teoritis, dinamika pada kendaraan listrik dapat dirumuskan ke dalam bentuk model matematis melalui pendekatan ruang keadaan (*state space*). Model tersebut pada umumnya menyajikan sistem sebagai himpunan persamaan diferensial biasa yang memuat variabel keadaan (*state variable*), masukan (*input*), dan keluaran (*output*) (Ogata, 1995). Representasi *state space* memiliki keunggulan karena memungkinkan penerapan berbagai metode analisis dan perancangan kendali modern, termasuk di

dalamnya kendali optimal, khususnya untuk sistem yang bersifat linear (Ristiana dkk, 2018).

Penelitian ini menggunakan model sistem linear dalam bentuk *state space* untuk memodelkan dinamika mobil listrik. Pemilihan model tersebut didasarkan pada kemampuannya dalam merepresentasikan hubungan antara komponen elektrik dan mekanik secara utuh, serta menyediakan kerangka matematis yang kuat untuk keperluan analisis dan perancangan kendali. Melalui penggunaan strategi MPC, diharapkan dapat diperoleh pengelolaan energi yang lebih optimal selama kendaraan beroperasi, sehingga jarak tempuh dapat meningkat tanpa mengurangi kinerja kendaraan. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian dengan judul **“Optimalisasi Konsumsi Energi pada Sistem Mobil Listrik dengan Kendali Model Prediktif”**.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menjabarkan perhitungan kendali MPC?
2. Bagaimana memodelkan sistem mobil listrik dalam bentuk *state space* diskrit?
3. Bagaimana merancang MPC untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada sistem mobil listrik?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh:

1. Jenis mobil listrik yang digunakan adalah *Battery Electric Vehicles (BEV)* yang akan dimodelkan ke dalam bentuk *state space* linear *time invariant* waktu diskrit.
2. Metode kendali yang digunakan adalah MPC.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menyusun formulasi matematis dan menjabarkan perhitungan kendali pada MPC.
2. Memodelkan sistem mobil listrik dalam bentuk *state space* diskrit.
3. Merancang MPC untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada sistem mobil listrik.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan penulis terkait metode MPC dan aplikasinya dalam mengoptimalkan konsumsi energi pada sistem mobil listrik.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk perkembangan EV di Indonesia melalui simulasi matematis.
3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi pada penelitian berikutnya.

