

*Adaptive Cruise Control* (ACC) merupakan salah satu teknologi yang ada pada kendaraan listrik. ACC memungkinkan kendaraan mempertahankan kecepatan dan jarak aman secara otomatis melalui komunikasi antarkendaraan, namun desain kendalinya menghadapi tantangan. Kendali konvensional seperti MPC dan PID memerlukan model matematis yang presisi, suatu hal yang sulit dicapai karena ketidaksesuaian antara model dan kondisi nyata. Penelitian ini berfokus untuk mengatasi masalah tersebut dengan merancang sebuah sistem kendali adaptif berbasis kendali optimal yang dilengkapi mekanisme *robust*. Sistem ini dirancang untuk mengatasi ketidakpastian parameter pada model kendaraan dan gangguan eksternal yang tidak termodelkan.

Sistem kendali yang diusulkan bersifat *robust*, optimal, dan adaptif. Sifat adaptif dicapai melalui metode *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) yang didukung oleh kendali dasar optimal LQR-PI. Untuk menjamin kekokohan (*robustness*) dan mencegah *parameter drift*, sistem ini diperkuat dengan mekanisme *robust* (*projection* dan *e-modifikasi*). Metodologi pengujian performa kendali dilakukan secara komprehensif dalam dua skenario utama, yakni kecepatan konstan dan *Stop-and-Go*. Pengujian ini mencakup tiga aspek krusial: perbandingan dengan kendali lain, ketahanan terhadap ketidakpastian parameter, dan kekokohan (*robustness*) terhadap gangguan yang tidak termodelkan. Untuk validasi numerik, digunakan metrik *Integral of Time multiplied by Absolute Error* (ITAE) yang dipilih untuk menilai dan menekan kesalahan yang bertahan lama seperti osilasi dan *settling time* yang lambat, serta *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur seberapa akurat keluaran sistem kendali mengikuti sinyal referensi. Seluruh proses desain, simulasi, dan analisis sistem diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink.

Hasil pengujian menunjukkan sistem kendali berhasil melakukan *tracking* jarak aman ( $d_0=5$  m) dengan performa yang mendekati kendali optimalnya, dibuktikan dengan selisih performa yang kecil: pada kasus kecepatan konstan, selisih ITAE sekitar 0.2 dan RMSE 2, sementara pada kasus *Stop-and-Go* selisihnya hanya 2 untuk ITAE dan 0.5 untuk RMSE. Keunggulan utama sistem ini terkonfirmasi pada pengujian ketidakpastian parameter ( $L_a$  dan  $I_w$ ), di mana nilai ITAE-nya tetap stabil di sekitar 104, tidak seperti kendali lain yang berubah signifikan. Selain itu, sistem menunjukkan sifat *robust* dengan menjaga performa ITAE tetap stabil pada rentang 104-105-106, saat diberi gangguan *white gaussian noise* (WGN) dengan  $\sigma_{Disturbance}=5\%-10\%-20\%$ . Secara keseluruhan, hasil pengujian ini membuktikan keunggulan performa kendali yang diusulkan dalam hal mendekati kondisi optimal, mengatasi ketidakpastian parameter, dan mengatasi gangguan yang tidak termodelkan. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah menyediakan sebuah sistem kendali ACC yang terbukti *robust*-optimal-adaptif, menunjukkan performa unggulnya melalui simulasi, dan memberikan landasan serta pendekatan desain untuk pengembangan ACC kendaraan listrik di masa depan.

**Kata kunci**—Kendaraan Listrik, *Adaptive Cruise Control*, *Model Reference Adaptive Control*, Kendali Optimal, Mekanisme *Robust*.

## ABSTRACT

Adaptive Cruise Control (ACC) is one of the technologies found in electric vehicles. ACC allows vehicles to maintain safe speed and distance automatically through inter-vehicle communication, but its control design faces challenges. Conventional controls such as MPC and PID require precise mathematical models, which are difficult to achieve due to the mismatch between the model and real conditions. This study focuses on overcoming this problem by designing an adaptive control system based on optimal control equipped with a robust mechanism. This system is designed to overcome parameter uncertainty in the vehicle model and unmodeled external disturbances.

The proposed control system is robust, optimal, and adaptive. Adaptive properties are achieved through the Model Reference Adaptive Control (MRAC) method supported by the LQR-PI optimal basic control. To ensure robustness and prevent parameter drift, this system is reinforced with robust mechanisms (projection and e-modification). The control performance testing methodology is comprehensively conducted in two main scenarios, namely constant speed and Stop-and-Go. The testing covers three crucial aspects: comparison with other controls, robustness to parameter uncertainty, and robustness to unmodeled disturbances. For numerical validation, the Integral of Time multiplied by Absolute Error (ITAE) metric is selected to assess and suppress persistent errors such as oscillations and slow settling time, and the Root Mean Square Error (RMSE) to measure how accurately the control system output follows the reference signal. The entire system design, simulation, and analysis process is implemented using MATLAB and Simulink software.

The test results show that the control system successfully performs tracking a safe distance ( $d_0=5$  m) with performance close to its optimal control, as evidenced by the small performance difference: in the constant speed case, the ITAE difference is around 0.2 and RMSE is 2, while in the Stop-and-Go case the difference is only 2 for ITAE and 0.5 for RMSE. The main advantage of this system is confirmed in the parameter uncertainty test ( $L_a$  and  $L_w$ ), where the ITAE value remains stable at around 104, unlike other controls that change significantly. In addition, the system shows robust properties by maintaining stable ITAE performance in the range of 104-105-106, when given white gaussian noise (WGN) disturbance with  $\sigma_{Disturbance}=5\%-10\%-20\%$ . Overall, the test results prove the superior performance of the proposed controller in terms of approaching the optimal condition, overcoming parameter uncertainty, and overcoming unmodeled disturbances. The main contribution of this research is to provide a proven robust-optimal-adaptive ACC control system, demonstrate its superior performance through simulation, and provide a foundation and design approach for the development of future electric vehicle ACC.

**Keywords**— Electric Vehicles, Adaptive Cruise Control, Model Reference Adaptive Control, Optimal Control, Robust Mechanism.