

RANCANG BANGUN DAN SIMULASI PENGENDALIAN MOTOR DC MENGUNAKAN KONTROL P MENGACU PADA JURNAL EV DRIVE SYSTEM

Talitha Naurah Rimanda¹, Desmira², Bilal Bara Saputra³, Anas Nurfirdaus⁴, Faqih
Nazrul Hakim⁵, Fakhri Malikal Aziz⁶

Email: talithanaurahrimanda@gmail.com¹, desmira.dma@bsi.ac.id²,
barasaputra1331@gmail.com³, anasnurfirdaus321@gamil.com⁴,
faqihnqzrulhakim@gmail.com⁵, fakhrimalikalazis@gmail.com⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang serta mensimulasikan sistem pengendalian motor arus searah (DC) menggunakan kontrol proporsional (P) berdasarkan parameter dan prinsip kerja sistem penggerak kendaraan listrik (EV) yang dijelaskan pada jurnal *EV Drive System*. Model motor DC dibangun dari persamaan dinamis listrik dan mekanik, kemudian diubah ke dalam bentuk transfer function dan disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink. Pengujian dilakukan melalui skema kendali loop tertutup untuk mengevaluasi karakteristik respons transien dan kondisi tunak pada beberapa nilai penguatan proporsional. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol P mampu memberikan respons awal yang baik dan menjaga sistem tetap stabil, namun tidak dapat menghilangkan *steady-state error*, baik tanpa gangguan maupun ketika beban berubah. Peningkatan nilai K_p memang mempercepat respons, tetapi dapat mendorong sistem menuju kondisi kurang stabil. Temuan tersebut menegaskan bahwa kontrol P memiliki keterbatasan jika digunakan pada sistem traksi kendaraan listrik yang membutuhkan akurasi tinggi dan ketahanan terhadap variasi beban. Oleh karena itu, pengembangan metode kontrol lanjutan seperti PI atau PID dianjurkan untuk meningkatkan performa pengendalian.

Kata Kunci: Motor DC, Kontrol P, Matlab/Simulink, Kendaraan Listrik, Error Tunak.

ABSTRACT

This study aims to design and simulate a direct current (DC) motor control system using proportional (P) control based on the parameters and working principles of an electric vehicle (EV) drive system described in the EV Drive System journal. The DC motor model is constructed from dynamic electrical and mechanical equations, then converted into transfer functions and simulated using MATLAB/Simulink. Tests are conducted using a

closed-loop control scheme to evaluate the transient and steady-state response characteristics at several proportional gain values. Simulation results show that P control is capable of providing a good initial response and maintaining system stability, but cannot eliminate steady-state errors, both without disturbances and when the load changes. Increasing the K_p value does accelerate the response, but can push the system towards a less stable state. These findings emphasize that P control has limitations when used in electric vehicle traction systems that require high accuracy and robustness to load variations. Therefore, the development of advanced control methods such as PI or PID is recommended to improve control performance.

Keywords: DC Motor, P Control, Matlab/Simulink, Electric Vehicle, Steady State Error.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) semakin pesat seiring upaya global dalam menekan emisi karbon dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Kinerja sistem penggerak EV sangat ditentukan oleh kemampuan pengendalian motor listrik yang stabil dan efisien, sehingga diperlukan rancangan kontrol yang tepat agar traksi, konsumsi energi, dan aspek keselamatan dapat terjaga. Kajian mengenai pemodelan motor DC dan penerapan metode kontrol linear, seperti kontrol P, PI, dan PID, masih menjadi fokus penelitian karena motor tersebut harus mampu merespons perubahan beban serta gangguan selama beroperasi. Studi-studi terbaru juga menunjukkan bahwa pendekatan model ruang keadaan (state-space) dan teknik kontrol linear tradisional tetap relevan, bahkan sering dikombinasikan dengan metode identifikasi parameter maupun algoritma optimasi untuk meningkatkan akurasi dan kinerja sistem kendali (Kuczmann, 2024).

Kontrol proporsional (P) merupakan metode pengendalian yang paling sederhana dan mudah diterapkan, baik pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Pendekatan ini biasanya digunakan sebagai dasar awal sebelum menambahkan komponen integral atau derivatif. Walaupun kontrol P dapat memperbaiki respons awal sistem dengan mengurangi error pada saat transien, metode ini umumnya masih menyisakan *steady-state error* apabila sistem tidak memiliki sifat integratif atau ketika terjadi gangguan beban yang konstan. Dengan demikian, evaluasi terhadap performa kontrol P pada motor DC menjadi langkah penting untuk memahami keterbatasannya serta sebagai acuan dalam merancang metode kontrol yang lebih canggih, seperti PI, PID, ataupun teknik optimasi lainnya.

Dalam ranah praktis maupun implementasi nyata, berbagai penelitian terbaru periode 2022–2024 menunjukkan bahwa MATLAB/Simulink banyak dimanfaatkan sebagai alat simulasi untuk mengevaluasi metode pengendalian motor DC. Selain itu, teknik optimisasi seperti Particle Swarm Optimization (PSO) sering digunakan untuk melakukan *tuning* parameter kontrol, sementara pengujian berbasis perangkat keras—seperti penggunaan Arduino atau STM32—diterapkan untuk membuktikan kinerja PID secara eksperimental. Temuan-temuan tersebut membuktikan bahwa perpaduan antara simulasi, optimisasi parameter, dan verifikasi laboratorium mampu menghasilkan pendekatan yang menyeluruh dalam memenuhi indikator performa, termasuk *rise time*, *overshoot*, *settling time*, serta *steady-state error* pada sistem penggerak traksi. Berdasarkan perkembangan riset tersebut, analisis berbasis model Simulink dan pengujian kontrol P sebagai tahap awal sangat relevan untuk menilai keterbatasan pengendali sederhana dan menjadi benchmark sebelum mengusulkan metode kontrol yang lebih maju, seperti penambahan aksi integral atau teknik tuning otomatis (Firmansyha, 2024).

Motor arus searah (DC motor) merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan pada industri dan sistem penggerak kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV). Motor jenis ini diminati karena mampu menghasilkan torsi awal yang tinggi, mudah dikendalikan kecepataannya, serta memiliki respons dinamis yang baik. Karakteristik kecepatan motor DC dipengaruhi oleh interaksi antara bagian elektrik dan mekanis. Pada sisi elektrik, perilaku motor ditentukan oleh besar tegangan armatur, nilai resistansi, dan induktansi. Sementara itu, sisi mekanis dipengaruhi oleh momen inersia rotor, gesekan mekanik, dan beban torsi. Kedua aspek ini dapat dijelaskan melalui penerapan hukum Kirchhoff serta hukum Newton, sehingga diperoleh model matematis yang menunjukkan hubungan antara arus armatur, torsi yang dihasilkan, dan kecepatan putar rotor. Model ini kemudian diubah ke domain Laplace untuk menghasilkan transfer function yang umum digunakan dalam analisis sistem kendali maupun simulasi.

Dalam penerapannya, motor DC umumnya dikendalikan menggunakan sistem umpan balik (closed-loop) agar keluarannya sesuai dengan nilai referensi yang diinginkan. Pada sistem ini, sinyal keluaran motor dikembalikan ke bagian kontrol untuk dibandingkan dengan sinyal referensi, sehingga menghasilkan error sebagai dasar untuk menentukan sinyal kendali berikutnya. Pendekatan ini berfungsi untuk menjaga stabilitas

kecepatan motor serta meningkatkan kemampuan sistem dalam menghadapi perubahan beban dan gangguan. Pada kendaraan listrik, penggunaan sistem loop tertutup menjadi sangat penting karena motor harus mampu mempertahankan kinerja optimal pada berbagai kondisi operasi dan variasi beban jalan.

Penelitian ini difokuskan pada perancangan serta simulasi model motor DC yang disesuaikan dengan konfigurasi sistem penggerak kendaraan listrik. Selanjutnya, kinerja kontrol P dianalisis melalui pengujian respons transien dan kondisi tunak dengan berbagai variasi nilai K_p serta penerapan gangguan beban. Melalui analisis tersebut, diharapkan diperoleh data dan argumentasi teknis yang dapat menjadi dasar dalam merekomendasikan strategi kontrol yang lebih optimal untuk aplikasi traksi pada EV

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimen berbasis simulasi untuk mengevaluasi performa pengendalian motor DC menggunakan kontrol proporsional (P). Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi parameter motor DC yang diambil dari jurnal *EV Drive System*, meliputi nilai resistansi dan induktansi armatur, konstanta torsi, konstanta back-EMF, momen inersia rotor, serta koefisien friksi mekanik. Seluruh parameter tersebut digunakan untuk membangun model matematis motor DC, yang kemudian diubah menjadi bentuk transfer function dan diimplementasikan pada platform MATLAB/Simulink. Model simulasi dibangun menggunakan konfigurasi kendali loop tertutup yang terdiri atas masukan step, blok penjumlahan error, penguat proporsional, model plant motor DC, jalur umpan balik, dan scope untuk memantau keluaran sistem.

Setelah model selesai dirancang, pengujian dilakukan melalui serangkaian simulasi untuk menilai bagaimana kontrol P memengaruhi dinamika motor DC. Sinyal masukan berupa step digunakan untuk mengamati respons awal sistem, terutama karakteristik seperti rise time, settling time, overshoot, serta besar steady-state error. Simulasi tambahan dilakukan dengan menambahkan gangguan beban untuk mengevaluasi kemampuan kontrol P dalam mempertahankan kinerja motor ketika terjadi perubahan kondisi operasi. Nilai K_p yang digunakan dipilih berdasarkan rentang yang sesuai untuk plant tipe 0, yaitu nilai yang memberi respons cepat namun tetap menjaga kestabilan sistem.

Hasil simulasi kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan karakteristik kinerja motor DC yang dijelaskan dalam jurnal rujukan. Perbandingan tersebut bertujuan menilai

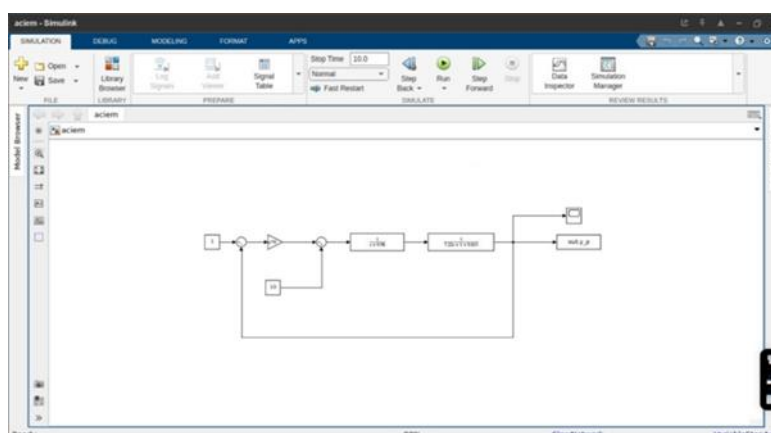
kesesuaian model Simulink dengan perilaku motor sebenarnya dan memahami batasan penggunaan kontrol P sebagai satu-satunya pengendali. Selain itu, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab perbedaan hasil, terutama terkait tidak digunakannya parameter lengkap motor dan belum diterapkannya kontrol lanjutan seperti PI atau PID.

Secara keseluruhan, penelitian ini menggunakan metode kuantitatif melalui simulasi numerik untuk mengukur kinerja sistem kendali. Pemilihan simulasi dianggap efektif karena memungkinkan pengujian pada berbagai kondisi tanpa memerlukan perangkat keras, serta memberikan dasar yang solid untuk pengembangan kontrol tingkat lanjut pada penelitian berikutnya

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

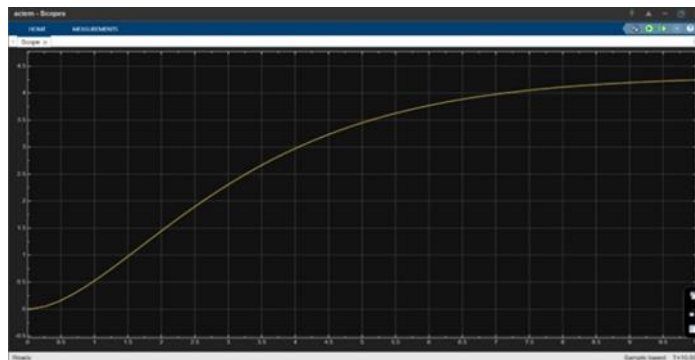
Hasil

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan model sistem kendali motor DC menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink dengan konfigurasi closed-loop. Struktur model yang dibangun terdiri dari komponen utama berupa sinyal masukan step, penguat proporsional (gain), fungsi transfer plant, jalur umpan balik, serta scope pemantau sinyal. Pada tahap implementasi ini, diagram blok sistem didesain tanpa menggunakan elemen integrator maupun derivatif untuk mendapatkan respon murni dari penguat proporsional. Sinyal kesalahan yang terdeteksi dari selisih setpoint dan umpan balik langsung diproses oleh konstanta K_p untuk menghasilkan sinyal kendali yang menggerakkan plant.



Gambar 2.1. Diagram Blok Simulasi Simulink

Berdasarkan pengujian simulasi yang dilakukan, diperoleh data respon transien sistem sebagaimana ditampilkan pada grafik keluaran. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem memiliki karakteristik respon yang lambat dengan waktu penetapan (*settling time*) berkisar antara 8 hingga 10 detik. Grafik menunjukkan pergerakan sinyal keluaran yang naik secara perlahan menyerupai respon sistem orde satu tanpa adanya lonjakan atau *overshoot*. Selain itu, data simulasi menunjukkan adanya selisih nilai yang signifikan antara target referensi dengan nilai akhir keluaran, yang teridentifikasi sebagai *steady-state error*. Ketika gangguan beban diberikan pada sistem, penyimpangan nilai keluaran terlihat semakin membesar secara proporsional.



Gambar 2. Respon Transien Sistem pada Simulink

Pembahasan

Karakteristik respon lambat dan munculnya steady-state error yang ditemukan pada hasil penelitian ini dapat dijelaskan melalui teori sistem kendali linear. Fenomena steady-state error yang persisten terjadi karena motor DC pada simulasi ini merupakan sistem Tipe 0 yang dikendalikan hanya dengan kontrol Proporsional (P). Secara teoritis, kontrol P tidak memiliki kemampuan akumulasi kesalahan (*integral action*), sehingga sinyal kendali yang dihasilkan tidak pernah cukup kuat untuk menghilangkan selisih error hingga nol. Ketiadaan elemen Derivatif (D) juga menjadi penyebab utama mengapa respon sistem menjadi sangat lambat (*sluggish*), karena sistem tidak memiliki mekanisme untuk memprediksi laju perubahan kesalahan guna mempercepat respon transien.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian pada jurnal rujukan "EV Drive System", terdapat perbedaan performa yang sangat mencolok. Penelitian rujukan yang menerapkan kontrol PID lengkap pada motor DC 10,5 kW mampu mencapai rise time sebesar 0,2 detik dengan settling time hanya 2 detik. Hal ini membuktikan bahwa penambahan elemen Integral dan Derivatif sangat krusial dalam aplikasi kendaraan listrik. Elemen

Integral pada rujukan berfungsi menghilangkan steady-state error, sedangkan elemen Derivatif berperan mempercepat respon waktu naik secara drastis, meskipun menimbulkan sedikit overshoot sebesar 10% yang masih dalam batas toleransi.

Diskrepanasi hasil antara simulasi penulis dan jurnal rujukan juga dipengaruhi oleh perbedaan pemodelan parameter fisik. Simulasi ini menggunakan pendekatan fungsi transfer generik, sedangkan rujukan menggunakan parameter fisik detail seperti induktansi jangkar dan momen inersia rotor. Ketiadaan parameter inersia dalam model simulasi menyebabkan dinamika beban mekanik tidak terwakili secara utuh, sehingga respon sistem terlihat lebih ideal namun kurang responsif dibandingkan kondisi riil. Oleh karena itu, untuk aplikasi traksi kendaraan listrik yang membutuhkan presisi tinggi dan respon cepat terhadap perubahan beban jalan, penggunaan kontrol P tunggal terbukti tidak memadai dan memerlukan penerapan kontrol PID yang ditala dengan parameter fisik motor yang lengkap

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis perbandingan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan kontrol proporsional (P) pada model motor DC mampu memberikan respons awal yang stabil, namun memiliki keterbatasan signifikan dalam menghilangkan steady-state error, baik pada kondisi tanpa gangguan maupun saat terjadi perubahan beban. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan performa yang mencolok antara model simulasi penulis dengan jurnal rujukan EV Drive System; model penulis yang hanya menggunakan kontrol P menghasilkan respons lambat dengan settling time sekitar 8-10 detik tanpa overshoot, sedangkan rujukan yang menerapkan kontrol PID lengkap mampu mencapai rise time 0,2 detik dan settling time 2 detik. Kesenjangan kinerja ini menegaskan bahwa meskipun peningkatan nilai K_p dapat mempercepat respons, kontrol P tunggal tidak memadai untuk aplikasi traksi kendaraan listrik yang menuntut akurasi tinggi dan ketahanan terhadap variasi beban dinamis, karena ketiadaan aksi integral menyebabkan sistem gagal mencapai target setpoint secara presisi

DAFTAR PUSTAKA

Miklos kuczmann. "Review of DC Motor Modeling and Linear Control : Theory With."
Firmansyah, Rifqi, Muhammad Badruddin A. M, Mochamad Masnur K, A. G. Prayuda,
F. Rafli, Pressa P. S. Saputra, and Ahmad Althobiti. 2024. "DC Motor Speed Control

Using Particle Swarm Optimization Based on Labview.” 8(2):111–21.

Mousazadeh, Hossein, Alireza Keyhani, Arzhang Javadi, Hossein Mobli, Karen Abrinia, and Ahmad Sharifi. 2009. “Construction and Evaluation of Modern EVs Drive System.” 4(7):221–31.

Muskhir, Mukhlidi, Afdal Luthfi, Muldi Yuhendri, Aswardi Aswardi, and Aprilla Fortuna. 2024. “Performance Analysis of DC Motors With Integrated Proportional-Integral and Artificial Neural Network Control.” 13(4):2684–93. doi: 10.18421/TEM134.

Nasional, Jurnal, and Teknik Elektro. 2024. “Jurnal Nasional Teknik Elektro Development of DC Motor Speed Control Using PID Based on Arduino and Matlab For Laboratory Trainer.” 1