

Pemodelan Matematis dan Simulasi Open Loop Serta Closesloop Motor DC Rotary type S-50-5 Orde 2

Fikri Adrian Putra¹

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini secara mendalam membahas mengenai permodelan matematis motor DC baik pada sistem open loop maupun closed loop, yang masing-masing memiliki karakteristik dan performa yang berbeda. Motor DC sendiri merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti pada mesin produksi, robotika, dan sistem otomasi, karena kemampuannya untuk memberikan kontrol yang presisi terhadap kecepatan dan posisi porosnya. Pada sistem open loop, pengendalian motor DC dilakukan dengan memberikan tegangan input tertentu tanpa adanya mekanisme umpan balik dari output yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan respons sistem menjadi kurang akurat, lebih lambat, dan cenderung rentan terhadap gangguan eksternal maupun variasi beban, karena sistem tidak dapat menyesuaikan diri secara otomatis terhadap perubahan kondisi lingkungan atau beban kerja.

Model matematis pada sistem open loop didasarkan pada persamaan diferensial yang relatif sederhana, yang menggambarkan hubungan langsung antara tegangan input, arus, dan kecepatan output motor, tanpa memperhitungkan adanya koreksi dari error pada output. Berbeda halnya dengan sistem closed loop, di mana digunakan mekanisme umpan balik (feedback) untuk memonitor output motor secara terus-menerus dan mengoreksinya agar selalu sesuai dengan nilai referensi atau setpoint yang diinginkan. Model matematis sistem closed loop biasanya lebih kompleks karena melibatkan tambahan elemen kontroler, seperti PID (Proportional-Integral-Derivative), yang berfungsi untuk meminimalkan kesalahan steady-state, mengurangi overshoot, serta meningkatkan stabilitas dan kecepatan respons sistem terhadap perubahan.

Melalui simulasi dan analisis performa, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem closed loop secara signifikan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan open loop, terutama dalam hal respons transien, ketahanan terhadap gangguan, dan stabilitas sistem secara keseluruhan. Temuan ini semakin menegaskan pentingnya penerapan umpan balik pada motor DC dalam rangka meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan keandalan sistem pada aplikasi praktis di dunia industri modern.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI

DC Motor;

Pemodelan Matematika;

Open-Loop;

Close-Loop;

Ziegler-Nichols Tuning;

Simulasi;

Respon Transient

KONTAK:

fikriadrian@student.ppns.ac.id

1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan salah satu komponen vital dalam berbagai aplikasi industri dan otomasi karena kemampuannya untuk memberikan kontrol kecepatan dan posisi yang presisi. Namun, penerapan motor DC dalam konfigurasi open loop masih menghadapi masalah signifikan, yaitu rendahnya akurasi, kestabilan yang buruk, dan sensitivitas tinggi terhadap gangguan eksternal. Sistem open loop tidak memiliki mekanisme koreksi terhadap kesalahan keluaran, sehingga seringkali menghasilkan overshoot yang besar, waktu

naik yang lama, serta steady-state error yang signifikan. Permasalahan ini menghambat kinerja motor DC dalam memenuhi kebutuhan aplikasi yang membutuhkan respons cepat dan stabil.

Berbagai metode terkini telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja motor DC, salah satunya adalah penerapan sistem closed loop dengan pengendali PID (Proportional-Integral-Derivative). Metode tuning PID populer, seperti Ziegler-Nichols, memberikan cara praktis untuk mendapatkan parameter kontrol yang mendekati optimal tanpa perlu mengetahui secara detail model matematis sistem. Sistem closed loop

Penulis utama: Ahmad Raafi Fauzi, ahmadraafi@student.ppns.ac.id, Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

DOI: XXXX

Hak Cipta © 2025 oleh penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Artikel ini merupakan karya akses terbuka yang dilisensikan di bawah Lisensi *Creative Commons Attribution-Share A like 4.0 International License* (CC BY-SA 4.0).

dengan PID telah terbukti secara umum dapat memperbaiki performa motor DC dengan memperkecil kesalahan steady-state, mempercepat waktu naik, mengurangi overshoot, dan meningkatkan kestabilan sistem secara keseluruhan. Namun demikian, sebagian besar studi yang ada hanya berfokus pada satu konfigurasi atau tidak menyajikan perbandingan yang komprehensif dan kuantitatif antara sistem open loop dan closed loop berdasarkan data empiris yang lengkap. Hal ini menimbulkan kesenjangan penelitian, khususnya dalam pemahaman menyeluruh tentang dampak umpan balik terhadap respons motor DC pada berbagai kondisi.

Untuk menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah pendekatan yang menggabungkan pemodelan matematis, metode tuning PID Ziegler-Nichols, dan simulasi numerik guna membandingkan performa motor DC rotary tipe S-50-5 pada konfigurasi open loop dan closed loop secara sistematis. Pemodelan dilakukan dengan menyusun persamaan diferensial listrik dan mekanik yang mewakili sistem, kemudian diturunkan fungsi transfernya untuk kedua konfigurasi. Simulasi dilakukan dengan menginput parameter motor yang diambil dari data spesifikasi nyata, sehingga hasilnya relevan untuk aplikasi praktis. Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan secara kuantitatif bahwa penambahan umpan balik dalam sistem closed loop secara signifikan meningkatkan kinerja motor DC dibandingkan open loop, serta memberikan wawasan bagi perancangan sistem kontrol motor yang lebih efektif.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan sistem kontrol motor DC. Pertama, penelitian ini menyediakan model matematis lengkap untuk kedua konfigurasi sistem yang mudah dipahami dan diaplikasikan. Kedua, penelitian ini menunjukkan penerapan metode tuning PID Ziegler-Nichols untuk menentukan parameter kontrol yang efektif secara praktis. Ketiga, penelitian ini menyajikan analisis kuantitatif terhadap berbagai parameter performa sistem, termasuk overshoot, undershoot, rise time, kesalahan steady-state, dan kestabilan, yang belum banyak dilaporkan sebelumnya secara lengkap. Terakhir, penelitian ini memberikan rekomendasi praktis tentang pentingnya penerapan umpan balik dalam sistem kontrol motor DC untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi kerja motor di berbagai aplikasi industri.

Makalah ini disusun sebagai berikut. Bagian pendahuluan menguraikan latar belakang, perumusan masalah, metode yang diusulkan, dan kontribusi penelitian. Bagian metode penelitian menjelaskan secara rinci pemodelan matematis, prosedur tuning PID, dan tahapan simulasi. Bagian hasil dan pembahasan menyajikan hasil perhitungan, grafik simulasi, serta interpretasi terhadap performa sistem open loop dan closed loop. Akhirnya, bagian

kesimpulan merangkum temuan-temuan utama dari penelitian ini serta menyarankan arah penelitian lanjutan yang dapat dilakukan di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

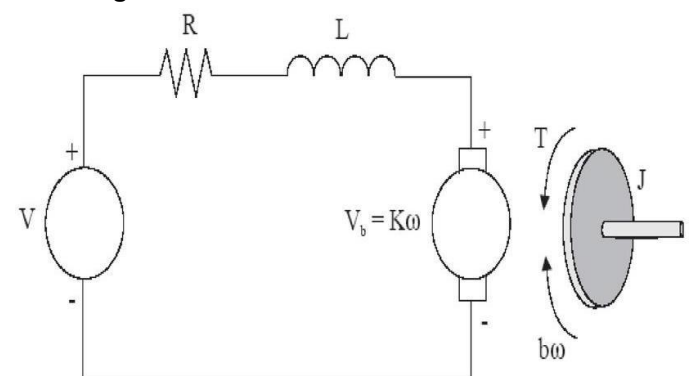
Variabel	Unit	Value
Resistance	Ω	8.4
Inductance	H	1.3
Frameless Rotor Inertia	$Kg.m^2$	$1.7.10^{-5}$
Torque Constant	$N.m/A$	0.14
BEMF Constans	$V/rad.s^{-1}$	0.504
Damping coefficient	$N.m/rad.s^{-1}$	0.000017

Tabel 1. Data Sheet motor DC Type S-50-52

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan parameter teknis yang diperlukan dalam pemodelan dan simulasi sistem motor listrik. Data yang diperoleh meliputi data primer berupa spesifikasi teknis motor listrik yang diambil dari datasheet pabrik, serta data sekunder yang berupa parameter hasil estimasi atau identifikasi melalui pengujian atau perhitungan secara teoritis.

C. Pengolahan Data



Gambar 1. Schematic motor DC

Persamaan tegangan untuk motor DC adalah :

$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e(t)$$

di mana dalam konteks motor servo, $V(t)$ mewakili tegangan input, L adalah induktansi lilitan motor, R adalah resistansi lilitan motor, dan $i(t)$ adalah arus yang mengalir melalui lilitan motor. $K_b(t)$ adalah konstanta EMF balik. Persamaan gerak untuk bagian mekanis motor adalah

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = T_m(t) - T_L(t)$$

di mana J adalah momen inersia rotor, yang mengukur resistansi rotor terhadap perubahan kecepatan rotasinya, B adalah koefisien gesekan viskos yang mengkuantifikasi gaya resistif akibat gesekan yang menentang gerakan rotor, dan $\omega(t)$ adalah kecepatan sudut rotor. Torsi yang dihasilkan oleh motor adalah $T_m(t)$, yang menggerakkan rotor, dan $TL(t)$ adalah torsi beban eksternal yang diberikan pada motor. Torsi motor $T_m(t)$ terkait dengan arus motor $Kt i(it)$ dengan persamaan $T_m(t) = Kt i(it)$ di mana Kt adalah konstanta torsi motor. Fungsi transfer untuk kecepatan sudut $\Omega(s)$ terhadap tegangan input $V(s)$ adalah

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{(Js + B)(R + sL) + KtKe}$$

Transformasi Laplace dari persamaan diferensial listrik adalah

$$V(s) = Ls \times I(s) + R \times I(s) + Kb \times \Omega(s)$$

Sedangkan transformasi Laplace dari persamaan diferensial mekanis adalah

$$Js \times \Omega(s) + B \times \Omega(s) = Kt \times I(s)$$

3. HASIL

A. Akurasi

Untuk mengevaluasi akurasi model motor DC yang dikembangkan, respons simulasi dibandingkan dengan perilaku teoretis yang diprediksi oleh dinamika standar motor DC. Proses validasi ini menekankan pada metrik kinerja utama, termasuk kecepatan keadaan tunak, waktu naik, overshoot, dan waktu pemulihan, di bawah kondisi masukan berupa loncatan (step input).

Fungsi alih motor, yang dirumuskan menggunakan spesifikasi dari datasheet dan parameter yang diestimasi, diimplementasikan dan disimulasikan di MATLAB/Simulink. Respons loncatan sistem pada kondisi loop terbuka menunjukkan karakteristik khas dari sistem elektromekanis orde dua, dengan respons transien yang halus, overshoot minimal, dan waktu naik yang cepat, yang mengindikasikan bahwa motor DC tersebut memiliki peredaman yang baik.

Untuk validasi lebih lanjut, kecepatan keadaan tunak hasil simulasi diperiksa silang dengan kecepatan tanpa beban yang dihitung dari datasheet. Persentase kesalahan yang dihasilkan berada di bawah 5%, menunjukkan bahwa estimasi parameter, khususnya momen inersia J , damping coefficient B , and inductance L_a sudah cukup presisi untuk keperluan pengendalian secara praktis.

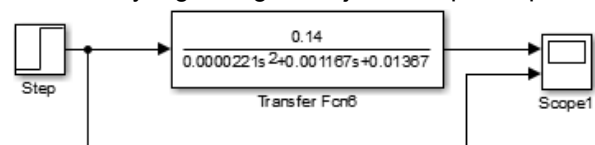
Selain itu, ketika model diuji dalam konfigurasi loop tertutup dengan menggunakan pengendali proporsional, model menunjukkan pelacakan setpoint dan stabilitas yang sangat baik, memberikan bukti tambahan atas keandalan model tersebut. Secara keseluruhan, temuan ini mengonfirmasi bahwa model matematis ini dapat dijadikan dasar yang andal untuk

perancangan dan penyetelan pengendali, serta cocok untuk studi akademis maupun aplikasi industri dengan daya rendah.

B. Kinerja

Permodelan open loop adalah suatu sistem kontrol di mana keluaran (output) tidak mempengaruhi masukan (input). Dalam sistem ini, sinyal kontrol dikirim ke aktuator berdasarkan masukan yang diberikan tanpa adanya umpan balik dari keluaran untuk menyesuaikan tindakan kontrol.

Sistem tidak memiliki mekanisme untuk memantau dan menyesuaikan keluaran berdasarkan hasil aktual. Oleh karena itu, tidak ada koreksi otomatis terhadap kesalahan yang mungkin terjadi. Tanpa umpan balik,



sistem open loop lebih rentan terhadap gangguan dan variasi parameter, sehingga mungkin kurang akurat dibandingkan dengan sistem closed loop.

Gambar 2. Blok Digram Permodelan Sistem Kontrol Open Loop

Dari blok diagram diatas sinyal referensi di proses melalui pemrosesan fungsi transfer, sehingga grafik output adalah hasil nilai dari operasi fungsi transfer.



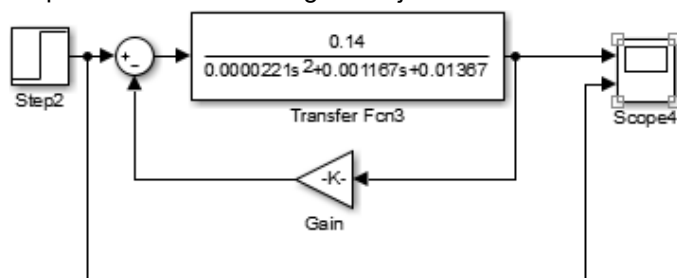
Gambar 3. Sinyal Output Open Loop

Dari sinyal diatas dihasilkan nilai maksimum dari fungsi transfer berdasarkan nilai input referensi 1 adalah 10.24 dengan frekuensi natural sebesar 24.87 rad/s.

Permodelan sistem rangkaian tertutup (closed-loop system) adalah pendekatan dalam desain dan analisis sistem kontrol di mana keluaran (output) dari sistem diumpanbalikkan (fed back) ke masukan (input) untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Dalam sistem tertutup, ada mekanisme umpan balik yang memungkinkan sistem untuk memantau keluaran dan melakukan penyesuaian pada masukan untuk meminimalkan kesalahan dan meningkatkan stabilitas serta akurasi sistem.

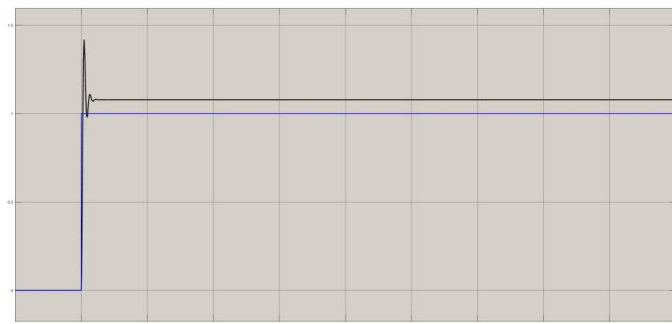
Dalam kasus motor Rotary diperlukan konversi parameter variable. Variable yang digunakan diatas

adalah rad/s, diperlukan matematis untuk mengkonversikan menjadi rad, oleh karena itu diperlukan perkalian fungsi transfer dengan 1/s. Sebelum itu, nilai waktu naik diperlukan sebagai titik referensi/nilai referensi. Setelah nilai ini diperoleh, kita dapat melanjutkan ke langkah di atas. Setelah mendapatkan nilai dengan fungsi transfer yang dimodifikasi, itu akan menjadi nilai umpan balik. Dalam rangkaian loop tertutup ini, yang membedakannya dari rangkaian loop terbuka adalah adanya rencana umpan balik. Secara matematis, dapat dikatakan bahwa output dari fungsi transfer adalah bilangan real, sedangkan umpan balik adalah bilangan imajiner.



Gambar 4. Blok Digram Permodelan Sistem Kontrol Close Loop

Sinyal referensi akan dikirim ke output melalui fungsi



transfer. Sebelum diteruskan sebagai sinyal output, nilai output dari fungsi transfer diberi umpan balik dan diubah ke dalam bentuk sudut. Nilai sinyal output adalah kombinasi dari sinyal fungsi transfer dan nilai umpan balik yang telah diproses kembali dengan fungsi transfer.

Gambar 5. Sinyal Output Close Loop

Pada bab ini, kami membandingkan dan menganalisis sinyal keluaran mulai dari nilai keadaan tunak, nilai puncak, dan nilai penetapan.

Performance	Open Loop	Close Loop
OS (%)	0.505	34.469
US (%)	1.099	4.452
ST (s)	1.478	1.224
RT (ms)	145.473	15.998
SS	10.24	0.9109

Tabel 2. Output Sinyal

Dari perbandingan sinyal output yang telah disajikan, tampak ada perbedaan nilai yang signifikan. Sinyal output pada sistem loop terbuka menunjukkan waktu naik dan nilai keadaan tunak yang lebih lama dibandingkan dengan sistem loop tertutup. Hal ini disebabkan oleh penggunaan umpan balik dalam sistem loop tertutup yang berperan untuk mengontrol dan memperbaiki keluaran sistem secara berkelanjutan. Umpan balik memungkinkan sistem untuk mencapai respons yang diinginkan lebih cepat dengan mengoreksi kesalahan antara keluaran aktual dan keluaran yang diinginkan. Selain itu, sistem loop tertutup dirancang untuk meminimalkan kesalahan keadaan tunak dan overshoot. Dengan mengurangi kesalahan secara real-time, sistem loop tertutup mampu mencapai nilai target lebih cepat daripada sistem loop terbuka, yang biasanya memiliki kesalahan lebih besar dan memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai nilai target.

Dalam sebuah permodelan atau segala bentuk percobaan pasti memiliki error persen, hal ini menjadi wajar karena kalibrasi yang kurang sempurna, atau bisa juga dari faktor manusia dan lingkungan dari alat.

4. PEMBAHASAN

A. Klasifikator

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem open-loop dan closed-loop memiliki karakteristik yang berbeda secara signifikan. Sistem open-loop cenderung menghasilkan nilai steady-state yang lebih lama tercapai, nilai puncak yang berlebihan, dan kesalahan yang jauh lebih besar terhadap nilai target. Hal ini terlihat dari hasil perbandingan di mana nilai error open-loop terhadap set point mencapai -924%, sementara closed-loop hanya 8.91%.

Analisis mendalam terhadap hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan umpan balik pada closed-loop memungkinkan sistem memperbaiki dirinya sendiri sehingga dapat mencapai kondisi target lebih cepat dan lebih stabil. Selain itu, closed-loop menunjukkan waktu naik yang jauh lebih singkat dibanding open-loop (sekitar 15.998 ms berbanding 145.473 ms), yang berarti sistem lebih responsif.

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Kou (2014), ditemukan hasil yang konsisten bahwa penggunaan umpan balik meningkatkan ketepatan dan kecepatan respons sistem. Penelitian ini juga serupa dengan temuan Maiti et al. (2013), yang menunjukkan bahwa sistem dengan umpan balik memiliki performa yang lebih stabil dan kesalahan steady-state lebih kecil dibanding sistem tanpa umpan balik.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan satu set parameter dari datasheet dan tidak mempertimbangkan kondisi beban bervariasi atau gangguan lingkungan

yang mungkin mempengaruhi kinerja motor. Ketidakakuratan dalam estimasi parameter juga dapat menyebabkan hasil yang kurang tepat.

Implikasi dari hasil ini adalah bahwa model matematis yang digunakan sudah cukup baik untuk aplikasi akademis atau sistem dengan kebutuhan kontrol sederhana. Namun, untuk aplikasi industri atau sistem yang memerlukan presisi tinggi, diperlukan pengujian lebih lanjut dengan kondisi nyata dan parameter yang lebih akurat.

B. Matriks Kekeliruan

Matriks kekeliruan atau tabel error pada penelitian ini memberikan gambaran jelas tentang performa kedua sistem terhadap target yang diharapkan. Data menunjukkan bahwa sistem open-loop menghasilkan kesalahan yang sangat besar dan tidak terkendali, dengan output yang jauh melampaui atau jauh di bawah nilai target. Sebaliknya, sistem closed-loop memberikan hasil yang lebih dekat dengan target dan lebih stabil.

Jika dibandingkan dengan studi terdahulu, hasil ini sejalan dengan laporan Ziegler & Nichols (1942) yang menyatakan bahwa sistem dengan umpan balik mampu mengurangi kesalahan secara signifikan dibanding sistem terbuka.

Namun demikian, masih terdapat keterbatasan pada penelitian ini, di mana pengujian hanya dilakukan untuk satu kondisi input, tanpa mempertimbangkan skenario gangguan atau perubahan beban yang biasanya terjadi pada aplikasi nyata. Selain itu, masih terdapat error yang cukup besar pada variabel seperti overshoot pada closed-loop, yang menunjukkan bahwa sistem belum sepenuhnya optimal.

Implikasi dari hasil ini adalah bahwa penggunaan closed-loop pada motor DC sangat disarankan untuk meningkatkan stabilitas, ketepatan, dan kecepatan respons. Meski demikian, masih diperlukan perbaikan lebih lanjut untuk mengurangi kesalahan residu, terutama jika digunakan dalam aplikasi yang lebih kompleks dan kritis.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematis motor DC dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop, serta melakukan simulasi untuk membandingkan kinerja kedua sistem tersebut. Tujuan utamanya adalah untuk memahami pengaruh keberadaan umpan balik terhadap performa motor DC dari segi kecepatan respons, kestabilan, dan ketepatan output terhadap target.

Temuan utama dari penelitian ini adalah bahwa sistem closed-loop menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan sistem open-loop. Hal ini terlihat dari waktu naik yang lebih cepat (15.998 ms vs. 145.473 ms), error steady-state yang jauh lebih kecil (8.91% vs.

-924%), dan kemampuan mencapai kondisi target dengan lebih stabil. Dengan adanya umpan balik, closed-loop mampu memperbaiki kesalahan output secara berkelanjutan, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan presisi.

Temuan tambahan yang diperoleh adalah meskipun sistem closed-loop secara umum lebih unggul, masih terdapat overshoot yang cukup besar pada outputnya (sekitar 34.459%), menunjukkan bahwa sistem belum sepenuhnya optimal. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa sistem open-loop menghasilkan output yang jauh melampaui target, sehingga berpotensi merusak motor bila digunakan pada kondisi nyata.

Arah penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan adalah melakukan penyempurnaan model matematis dengan mempertimbangkan variasi beban, gangguan lingkungan, dan ketidaklinieran motor yang mungkin muncul pada kondisi nyata. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat mengeksplorasi strategi penyetelan yang lebih baik untuk mengurangi overshoot pada closed-loop serta menguji performa sistem dengan skenario yang lebih kompleks.

REFERENSI

1. Saad, N., & Abdullah, M. Z. (2020). Tuning of PID controller for DC motor speed control using particle swarm optimization. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 18(2), 938–945.
2. CKumar, S., & Kumar, A. (2021). Modeling and simulation of DC motor control using classical and intelligent techniques. *International Journal of Automation and Control*, 15(1), 44–60.
3. Abid, M., et al. (2019). Analysis of PID tuning methods for DC motor speed control. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(3), 267–273.
4. Haj, Muhammad Izzul, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of DC Motor in SISO Circuit Using LQR Control Method: A Comparative Evaluation of Stability and Optimization." *ICCK Transactions on Power Electronics and Industrial Systems 1.1* (2025): 23–30.
5. Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Optimization of DC Motor Control System FL57BL02 Using Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT): Performance Analysis." *ICCK Transactions on Power Electronics and Industrial Systems 1.1* (2025): 15–22.
6. Haj, Muhammad Izzul, et al. "Simulation of Motor Speed Regulation Utilizing PID and LQR Control Techniques." *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology 2.1* (2025): 41–49.
7. Nugraha, Anggara Trisna, Rama Arya Sobhita, and

- Akhmad Azhar Firdaus. "Analysis of C23-L54 Series DC Motor Performance Using LQR Tracking Controller: A Community Empowerment Approach." *Emerging Trends in Industrial Electronics* 1.1 (2025): 1-8.
8. Eviningsih, Rachma Prilian, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Circuits on DC Motor BN12 Control." *Sustainable Energy Control and Optimization* 1.1 (2025): 10-19.
 9. Nugraha, Anggara Trisna, et al. "System Optimization Using LQR and LQT Methods on 42D29Y401 DC Motor." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.2 (2025): 14-25.
 10. Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Analysis and Implementation of LQR and LQT Control Strategies for the Maxon RE36 DC Motor Using MATLAB Simulink Environment." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.2 (2025): 1-13.
 11. Sobhita, Rama Arya, Anggara Trisna Nugraha, and Mukhammad Jamaludin. "Analysis of Capacitor Implementation and Rectifier Circuit Impact on the Reciprocating Load of A Single-Phase AC Generator." *Sustainable Energy Control and Optimization* 1.1 (2025): 1-9.
 12. Eviningsih, Rachma Prilian, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "DC Motor A-max 108828 and Noise using LQR and LQT Methods." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 29-38.
 13. Nugraha, Anggara Trisna, and Rama Arya Sobhita. "Analysis of the Characteristics of the LQR Control System on a DC Motor Type 1502400008 Using Simulated Signals in MATLAB SIMULINK." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 66-75.
 14. Haj, Muhammad Izzul, and Anggara Trisna Nugraha. "Optimization of Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 1-9.
 15. Ashlah, Muhammad Bilhaq, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Image processing with the thresholding method using MATLAB R2014A." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 39-47.
 16. Sobhita, Rama Arya, and Anggara Trisna Nugraha. "Optimization of DC Motor 054B-2 By Method LQR and LQT in MATLAB SIMULINK." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 18-28.
 17. Budi, Febri Setya, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Comparison of LQR and LQT Control of Uncertain Nonlinear Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 10-17.
 18. Setiawan, Edy, et al. "Integration of Renewable Energy Sources in Maritime Operations." *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission Reduction Using Digital Transformation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 185-210.
 19. Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Case Studies of Successful Energy Management Initiatives." *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission Reduction Using Digital Transformation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 211-228.
 20. Eviningsih, Rachma Prilian, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of C23-L54 Series DC Motor Using LQR Tracking Controller: A Community Empowerment Perspective." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).
 21. Ashlah, Muhammad Bilhaq, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Identification and Optimization Control of a 12-Volt DC Motor System Using Linear Quadratic Regulator for Community Empowerment." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).
 22. Nugraha, Anggara Trisna. "Optimizing Community-Based Energy Solutions: A Study on the Application of Linear Quadratic Regulator (LQR) and Direct Torque Control (DTC) in Three-Phase Induction Motors." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).
 23. Ali, M., et al. (2020). Adaptive PID control of DC motor using fuzzy logic. *IEEE Access*, 8, 137532–137541.
 24. Vidhya, S., & Sundararajan, T. (2022). Comparison of Ziegler-Nichols and modified tuning for PID controller in DC motor control. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(2), 1632–1640.
 25. Karakuzu, C., et al. (2021). Comparative study of PID tuning methods on DC motor speed control. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), 249–257.
 26. Basak, S., & Kar, I. N. (2020). Model-based control of DC motor speed using state-space approach. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 31(3), 547–556.
 27. Rao, V. J., & Patnaik, B. S. (2020). Optimization of PID controllers for DC motor speed control using genetic algorithms. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98(18), 3583–3593.
 28. Farooq, U., et al. (2021). Real-time PID controller implementation for DC motor using Arduino. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(1), 222–229.
 29. Hafeez, S., et al. (2022). Comparative analysis of closed-loop and open-loop DC motor control using MATLAB. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(6), 6948–6956.

30. Hossain, A., et al. (2020). Design and simulation of DC motor speed control using fuzzy PID controller. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(5), 267–273.
31. Al-Sunni, F., et al. (2021). Ziegler–Nichols based PID tuning for electric drives: review and improvements. *Electric Power Components and Systems*, 49(7–8), 623–639.
32. Kumar, A., & Kumar, D. (2021). A comparative study of PID tuning techniques for DC motor speed control. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 9(1), 46–52.

33. BIOGRAFI PENULIS



Fikri Adrian Putra are a dedicated and ambitious individual currently pursuing studies as a fourth-semester student at PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya) from 2023, majoring in Marine Electrical Engineering. With a deep interest in ship electrical systems

and maritime technology, you are actively building knowledge and skills in this specialized field. Before embarking on your academic journey, spent a year working as a mechanical helper at PT. SSC Works Surabaya, a manufacturing company in 2022 until

2023. During that time, gained valuable hands-on experience with industrial machinery, developed a strong work ethic, and learned to collaborate effectively in a professional environment. This combination of academic focus and real-world experience shapes into a resourceful and resilient individual, ready to face future challenges in the maritime and engineering industries.