

Representasi Matematis dan Simulasi Sistem Dinamik Motor DC054B-5

Muhammad Ihsan P¹

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

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pemodelan matematis dua jenis motor listrik, yaitu motor DC Type DC054B-5, dengan tujuan utama untuk menganalisis karakteristik dinamis serta merancang sistem kontrol yang optimal melalui pendekatan matematis. Pemodelan dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek listrik, mekanik, dan elektromekanis dari kedua motor. Proses pemodelan diawali dengan menyusun persamaan diferensial yang menggambarkan hubungan antara arus, tegangan, torsi, dan kecepatan sudut, kemudian ditransformasikan ke dalam domain frekuensi menggunakan Transformasi Laplace untuk memperoleh fungsi alih (transfer function).

Untuk motor DC, model mencakup rangkaian armature, back EMF, konstanta torsi, dan momen inersia. Pemodelan menggunakan pendekatan rangkaian RLC, transformasi dq, serta dinamika stator dan rotor. Fungsi alih dari kedua motor dihitung dalam representasi orde 1 dan orde 2, yang kemudian divisualisasikan melalui simulasi MATLAB/Simulink, baik pada mode open-loop maupun closed-loop. Analisis ini mencakup evaluasi parameter performa seperti respon transien, kestabilan sistem, overshoot, rise time, serta pengaruh perubahan beban dan tegangan masukan terhadap sistem.

Laporan ini juga mengintegrasikan metode identifikasi sistem, baik secara analitik (berbasis teori fisika) maupun eksperimen (pengujian langsung), untuk menentukan parameter sistem seperti resistansi, induktansi, konstanta motor, dan momen inersia. Identifikasi parameter dilakukan menggunakan teknik estimasi seperti least squares dan fitting simulasi. Pendekatan ini memungkinkan prediksi performa motor secara lebih akurat dan efisien sebelum implementasi nyata.

Secara keseluruhan, hasil dari pemodelan dan simulasi menunjukkan bahwa pendekatan matematis mampu menggambarkan perilaku dinamis motor dengan baik dan menjadi dasar penting dalam perancangan sistem kontrol modern, termasuk kontroler PID, fuzzy, maupun berbasis AI. Laporan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi mahasiswa teknik elektro dan praktisi industri dalam memahami prinsip kerja motor listrik serta mengembangkan sistem kendali yang andal dan efisien.

Kata kunci: Motor DC, Pemodelan Matematis, Fungsi Alih, Transformasi Laplace, Sistem Kontrol, Simulasi MATLAB, Identifikasi Sistem.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI

DC Motor

Pemodelan Matematika

Fungsi Alih

Sistem Kendali

KONTAK:

muhammadihsan28@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pemodelan Matematis Perkembangan teknologi ke arah serba digital saat ini semakin pesat. Pada era digital seperti ini, manusia secara umum memiliki gaya hidup baru yang tidak bisa dilepaskan dari perangkat yang serba elektronik. Teknologi menjadi alat yang mampu

membantu sebagian besar kebutuhan manusia. Teknologi telah dapat digunakan oleh manusia untuk mempermudah melakukan apapun tugas dan pekerjaan. Peran penting teknologi inilah yang membawa peradaban manusia memasuki era digital (Setiawan, 2017) sehingga terjadi pengeseran tatanan kehidupan (ekonomi, sosial,

psikologi, dan lain-lain). Dalam dua dekade terakhir, pemodelan matematis semakin dipandang sebagai pendekatan pendidikan untuk pendidikan matematika dari tingkat dasar hingga pendidikan tinggi. Dalam pengaturan pendidikan, pemodelan matematis telah dianggap sebagai cara untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah dalam kehidupan nyata (Gravemeijer & Stephan, 2002; Lesh & Doerr, 2003). Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah dilakukan pada pemodelan di berbagai tingkat pendidikan (misalnya, Delice & Kertil, 2014; Kertil, 2008), dan lebih banyak penekanan yang telah diberikan pada pemodelan matematis dalam kurikulum sekolah. Pemodelan matematis merupakan suatu pendekatan sistematis dalam mempresentasikan fenomena utama dunia nyata dengan menggunakan bahasa dan struktur matematis. Dalam proses pemodelan fenomena kompleks disederhanakan tanpa menghilangkan aspek-aspek, kemudian dinyatakan dalam persamaan fungsi, grafik, matriks. Pemodelan matematis sangat berguna di berbagai bidang ilmu, seperti fisika untuk memahami gerak dan energi, ekonomi untuk meramalkan pertumbuhan dan inflasi, biologi untuk merancang sistem dan struktur. Bahkan dalam ilmu sosial, pemodelan matematis mulai banyak digunakan untuk memahami interaksi manusia dalam Masyarakat. Selain itu, kemajuan teknologi dan komputasi juga mendorong pengembangan pemodelan numerik dan simulasi computer yang memungkinkan analisis model yang lebih kompleks. Dengan pemodelan matematis, kita tidak hanya bisa memperoleh pemahaman yang lebih dalam terhadap suatu masalah, tetapi juga mampu mengambil Keputusan yang lebih tepat dan efisien berdasarkan hasil analisis. Dalam kesempatan kali ini, akan meneliti pemodelan matematis motor DC Type DC054B-5 dan motor, dengan menggunakan kinerja pemodelan matematis diharapkan dapat menganalisis kinerja motor DC Type DC054B-5.

Pemodelan matematis adalah metode untuk merepresentasikan fenomena fisik ke dalam bentuk persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antara masukan dan keluaran sistem. Dalam konteks motor listrik, pemodelan memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap pengaruh tegangan, arus, dan beban terhadap kecepatan dan torsi motor. Dengan pendekatan ini, perancang sistem dapat mensimulasikan berbagai kondisi kerja tanpa perlu melakukan eksperimen langsung yang memakan waktu dan biaya besar.

Pentingnya pemodelan matematis dalam sistem kontrol motor Pemodelan matematis dalam sistem kontrol merupakan fondasi utama dalam pengembangan sistem kontrol. Tujuan utamanya yaitu untuk mengatur perilaku suatu sistem dinamis agar dapat beroperasi sesuai dengan kriteria atau spesifikasi yang telah ditentukan, baik itu dalam hal kestabilan, respon waktu, efisiensi, maupun keandalan. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap

karakteristik sistem yang dikendalikan. Peran pemodelan matematis menjadi sangat vital, dengan memodelkan sistem, seperti input, output, dan keadaan internal, dalam bentuk persamaan matematis seperti fungsi transfer, model keadaan, atau persamaan diferensial. Pemodelan matematis juga mempermudah proses desain dan tuning pengendali. Dengan mengetahui model sistem, kita dapat menghitung parameter kontrol yang optimal untuk mencapai performa terbaik. Di era modern, pemodelan menjadi dasar bagi integritas sistem kontrol dengan kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin, dimana model digunakan untuk membangun dan memanfaatkan model matematis bukan hanya merupakan keterampilan teknis, tetapi juga menjadi kunci dalam inovasi dan efisiensi sistem kontrol di berbagai sektor teknologi.

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Rated Voltage	Vr	12	V
Rated Torque	Tr	0.19	Nm
Rated Speed	Wr	2620	Rpm
Rated Current	Ir	6.4	A
Rated Power	Pr	52	W
No Load Speed	Wnl	2990	Rpm
No Load Current	Inl	0.49	A
Motor Constant	KM	0.068	Nm
Torque Constant	KT	0.0371	Nm/A
Voltage Constant	KE	0.0371	V/(rad/s)

Tabel 1. Data Sheet motor DC Type DC054B-5

B. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh parameter teknis yang dibutuhkan dalam proses pemodelan dan simulasi sistem motor listrik. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer berupa spesifikasi teknis motor listrik dari datasheet pabrikan dan data sekunder berupa parameter hasil

identifikasi atau estimasi berdasarkan pengujian atau perhitungan teoritis.

C. Pengolahan Data

DC054B-5			
Motor Data		Units	
Rated Voltage V1	Vr	V	12.0
Rated Torque ¹	Tr	Nm	0.19
		oz-in	27
Rated Speed ¹	wr	rpm	2620
Rated Current ¹	Ir	A	6.4
Rated Power ¹	Pr	W	52
No Load Speed	wnl	rpm	2990
No Load Current	Inl	A	0.49
Rated Voltage V2	Vr	V	15.2
Rated Torque ¹	Tr	Nm	0.17
		oz-in	25
Rated Speed ¹	wr	rpm	3590
Rated Current ¹	Ir	A	5.9
Rated Power ¹	Pr	W	66
No Load Speed	wnl	rpm	3800
No Load Current	Inl	A	0.52
Motor Constant	KM	Nm/√W	0.068
		oz-in/√W	9.6
Torque Constant	KT	Nm/A	0.0371
		oz-in/A	5.25
Voltage Constant	KE	V/(rad/s)	0.0371
		V/krpm	3.88

Gambar 1. Parameter Untuk Persamaan Listrik

Dari data sheet di atas maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (1)$$

$$R_a = 0.28 \, \Omega$$

$$i_a = \frac{V - E_b}{R} = \frac{12 - 10.165}{0.28} = 6.55 \, A \quad (2)$$

$$L_a = 0.45$$

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{12}{0.0045} = 26.66 \, A/sw \quad (3)$$

$$e_b = E_b = K_e \cdot \omega$$

$$K_e = 0.0371 \, V\text{-sec/rad}$$

$$\begin{aligned} \omega &: \frac{2\pi \cdot RPM}{60} \\ &: \frac{2\pi \cdot 2620}{60} \\ &: 274.35 \, \text{rad/s} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} E_b &= K_e \cdot \omega \\ &= 0.0371 \cdot 274.35 \\ &= 10.17 \, \text{Volt} \end{aligned} \quad (5)$$

$$V_a = R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (6)$$

$$= 0.28 \cdot 6.55 + 0.0005 \cdot 26.66 + 10.17$$

$$= 1.83 + 0.013 + 10.17$$

$$= 12$$

3. HASIL

A. Temuan Utama

Analisis akurasi dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian antara data teknis yang tercantum dalam datasheet motor DC tipe DC054B-5 dengan perhitungan teoritis berdasarkan rumus-rumus dasar kelistrikan dan mekanika motor. Pada kondisi tegangan kerja 12 V, daya output dihitung menggunakan rumus $P = T \cdot \omega$ $P = T \cdot \omega$, di mana torsi sebesar 0.19 Nm dan kecepatan 2620 rpm menghasilkan daya sekitar 52.16 W. Nilai ini sangat sesuai dengan daya tertera pada datasheet, yaitu 52 W. Pada tegangan kerja 15.2 V, dengan torsi 0.17 Nm dan kecepatan 3590 rpm (setara dengan 375.99 rad/s), daya output teoritis mencapai 63.92 W, sedangkan datasheet menyatakan 66 W. Selisih kecil ini (sekitar 3%) masih dalam batas toleransi wajar dan dapat disebabkan oleh faktor efisiensi atau pembulatan angka oleh pabrik.

Selanjutnya, konstanta torsi yang dihitung dari perbandingan torsi terhadap arus menunjukkan nilai sebesar 0.0288 hingga 0.0297 Nm/A, tergantung dari kondisi tegangan. Nilai ini lebih rendah dibandingkan data datasheet sebesar 0.0371 Nm/A. Perbedaan sekitar 20% ini mungkin disebabkan oleh pendekatan pengujian yang berbeda atau pengaruh faktor suhu dan kondisi dinamis motor. Sementara itu, konstanta tegangan yang dihitung dari perbandingan tegangan terhadap kecepatan sudut menghasilkan nilai sekitar 0.0404 V/(rad/s), sedikit lebih tinggi dari nilai datasheet yaitu 0.0371 V/(rad/s). Deviasi sebesar 9% ini masih dapat diterima, mengingat adanya toleransi dalam pengukuran dan variasi kondisi operasional.

Secara keseluruhan, hasil verifikasi menunjukkan bahwa data pada datasheet memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Daya output memiliki kesesuaian hampir sempurna, sedangkan konstanta motor menunjukkan perbedaan yang masih dalam batas toleransi teknis, terutama untuk keperluan pemodelan dan simulasi. Hal ini membuktikan bahwa datasheet dapat dijadikan acuan yang valid dalam proses pemodelan matematis motor dan pengembangan sistem kontrol.

B. Temuan Pendukung

Motor DC tipe DC054B-5 merupakan motor berperforma tinggi yang dirancang untuk aplikasi presisi dengan beban menengah. Berdasarkan datasheet, motor ini memiliki tegangan kerja nominal sebesar 12 V hingga 15.2 V, dengan kecepatan putaran maksimum mencapai 3800 rpm dalam kondisi tanpa beban. Dalam kondisi berbeban, motor ini mampu menghasilkan torsi maksimum sebesar 0.19 Nm dengan kecepatan putar 2620 rpm pada tegangan 12 V, dan torsi sebesar 0.17 Nm

pada kecepatan 3590 rpm pada tegangan 15.2 V. Efisiensi mekanisnya cukup baik, ditunjukkan dengan daya output sebesar 52 W hingga 66 W yang secara teoretis sebanding dengan hasil perhitungan dari torsi dan kecepatan sudut.

Kinerja kelistrikan motor ini ditunjukkan dari arus nominal sebesar 6.4 A (pada 12 V) dan 5.9 A (pada 15.2 V), dengan arus tanpa beban berkisar antara 0.49 A hingga 0.52 A. Nilai arus tanpa beban yang relatif kecil mengindikasikan bahwa rugi-rugi internal (seperti gesekan dan histeresis) cukup rendah, yang mendukung efisiensi kerja secara keseluruhan. Motor ini juga memiliki konstanta torsi dan konstanta tegangan masing-masing sebesar 0.0371 Nm/A dan 0.0371 V/(rad/s), yang menunjukkan karakteristik linier antara arus dan torsi, serta antara kecepatan dan tegangan balik (back EMF). Karakteristik ini sangat penting dalam sistem kontrol, karena memudahkan perancangan kontroler seperti PID.

Respons dinamis motor terhadap input tegangan ditandai dengan waktu naik (rise time) yang cepat dan nilai overshoot yang minimal saat disimulasikan dalam MATLAB/Simulink. Dengan kecepatan yang tinggi, arus torsi yang stabil, serta respons sistem yang cepat dan linier, motor DC054B-5 menunjukkan performa yang cocok untuk aplikasi robotik, otomasi industri, dan sistem servo. Secara keseluruhan, motor ini memiliki kinerja yang andal dan efisien, baik dari aspek kelistrikan maupun mekanik, dan sangat layak digunakan dalam sistem berbasis kontrol presisi.

Parameter	Motor DC (close loop)
Waktu naik	0,55s
Overshoot	6,3%
Kesalahan steady-state	< 2%
Recovery setelah gangguan	<1,2 detik

Table 2. Akurasi Sistem Kontrol DC Close Loop

Akurasi sistem terhadap setpoint sangat ditentukan oleh desain fungsi alih, parameter kontrol, dan sifat beban. Sistem dengan fungsi alih orde lebih tinggi cenderung memiliki karakteristik dinamis yang lebih kompleks namun bisa dikompensasi dengan tuning kontroler yang tepat. Penggunaan kontrol loop tertutup terbukti meningkatkan akurasi dan kestabilan sistem secara signifikan.

Parameter	Motor DC (open Loop)
Kesalahan Steady-State	10-15%
Sensitivitas Terhadap Beban	Tinggi
Adaptasi Terhadap Gangguan	Tidak ada
Keandalan Dalam Jangka Panjang	Rendah

Table 3. Akurasi Sistem Kontrol DC Open Loop

Sistem open-loop memiliki kelemahan mendasar dalam hal akurasi, karena tidak mampu menyesuaikan output berdasarkan perbedaan terhadap setpoint. Hal ini menjadikannya kurang cocok untuk aplikasi yang memerlukan kestabilan tinggi atau respon presisi. Meskipun sistem ini murah dan sederhana, efektivitasnya sangat terbatas pada kondisi ideal dan beban tetap.

4. PEMBAHASAN

A. Klasifikator

Klasifikasi kondisi operasi motor DC DC054B-5 ke dalam beberapa kategori performa berdasarkan parameter pengukuran (arus, tegangan, kecepatan, torsi, suhu)

Fitur	Simbol	Satuan	Keterangan
Tegangan	V	Volt	Input motor
Arus	I _a	Ampere	Arus armatur
Kecepatan	ω	rad/s	Kecepatan sudut rotor
Torsi	T	Nm	Torsi elektromagnetik
Suhu Motor	T _m	°C	Monitoring suhu thermal

Tabel 5. Parameter input

Kelas	Status Operasi	Kriteria
0	Normal	Tegangan, arus, kecepatan dan suhu dalam batas aman
1	Overload	Arus > 7 A atau Torsi > 1.2 Nm
2	Overheat	Suhu motor > 80°C
3	Underload	Arus < 1 A dan torsi < 0.1 Nm
4	Fault / Rotor Stuck	V > 10V, tetapi ω ≈ 0 rad/s

Tabel 6. Output klasifikasi

Model matematis yang digunakan

Berdasarkan fungsi alih motor DC Type DC054B-5

Persamaan Listrik :

$$V = R_a \cdot I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (7)$$

Persamaan Mekanik :

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (8)$$

Parameter penting dari data sheet motor :

$$R_a = 0.28 \Omega$$

$$L_a = 0.0005 \text{ H}$$

$$K_e = 0.0371 \text{ V/rad}$$

$$K_t = 0.0371 \text{ Nm/A}$$

$$J = 3.43 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2$$

$$B = 0.000619 \text{ Nm/rad}$$

V (Volt) Ia (Amp) ω (rad/s) T (Nm) Tm (°C) Kelas

12	2.5	200	0.93	60	0
12	7.3	210	1.29	72	1
12	1.0	180	0.37	85	2
12	0.8	160	0.03	58	3
12	2.8	0	0.00	45	4

Tabel 7. Data Sheet Simulasi**B. Perbandingan Hasil Penelitian**

Model orde 1 pada sistem motor merupakan pendekatan yang menggunakan asumsi sederhana, hanya mempertimbangkan elemen mekanik dominan seperti momen inersia (J) dan koefisien redaman (B). Fungsi alihnya berbentuk $G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$ (9)

dengan konstanta waktu $\tau = \frac{J}{B}$ (10)

dan gain $K = \frac{K_t}{B}$ (11)

yang menghasilkan respons sistem yang cepat namun kurang akurat dalam menggambarkan dinamika motor terutama saat kondisi awal atau startup. Sebagai contoh, fungsi transfer orde 1 untuk motor DC yang diturunkan dari data penelitian yaitu $G(s) = \frac{213,12}{0,552s+1}$ (12)

Keunggulan pendekatan ini adalah proses komputasinya yang cepat dan sangat cocok untuk kontrol sederhana. Sebaliknya, model orde 2 menawarkan kompleksitas yang lebih tinggi dengan mempertimbangkan pengaruh dari parameter kelistrikan seperti induktansi (L), resistansi (R), dan konstanta gaya gerak balik (K_e). Fungsi alihnya berbentuk $G(s) = \frac{K_t}{(Js+B)(Ls+R)+K_e^2}$ (13)

yang menghasilkan representasi sistem yang lebih realistis dengan menggambarkan interaksi antara domain listrik dan mekanik secara lengkap. Salah satu hasil perhitungan transfer function orde 2 dalam penelitian yaitu $G(s) = \frac{0,0371}{1,5435s^2+1,926371s+0,00154973}$. Kelebihan dari model orde 2 adalah akurasi yang lebih tinggi dalam simulasi serta kemampuan dalam mendukung desain sistem kontrol presisi. Namun demikian, pendekatan ini memerlukan waktu simulasi yang lebih lama dan penanganan parameter yang lebih kompleks. Dengan demikian, pemilihan model sangat bergantung pada kebutuhan: apakah mengutamakan kesederhanaan dan kecepatan (orde 1), atau ketelitian dan kedalaman analisis (orde 2).

C. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat mempengaruhi akurasi dan generalisasi hasil pemodelan. Pertama, model matematis yang digunakan baik orde 1 maupun orde 2 dibangun berdasarkan

parameter teoritis dan asumsi ideal yang diperoleh dari data teknis atau datasheet motor. Hal ini menyebabkan model tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi aktual dari motor ketika beroperasi di lingkungan nyata yang memiliki fluktuasi beban, gangguan listrik, serta variasi suhu. Kedua, pengaruh dari faktor eksternal seperti gesekan nonlinier, efek saturasi magnetik, dan perubahan efisiensi motor tidak dimasukkan dalam model, sehingga simulasi terbatas pada sistem linier. Ketiga, verifikasi hasil simulasi tidak dilengkapi dengan pengujian eksperimental langsung pada perangkat keras (hardware), yang penting untuk membandingkan hasil simulasi dengan respons aktual motor. Selain itu, akurasi parameter seperti momen inersia (J), tahanan (R), dan induktansi (L) hanya bergantung pada referensi standar tanpa pengukuran laboratorium, yang dapat menimbulkan deviasi dalam hasil simulasi. Terakhir, pendekatan kontrol yang diterapkan masih bersifat dasar (open-loop dan close-loop sederhana) tanpa penerapan teknik kontrol lanjutan seperti PID tuning, fuzzy logic, atau kendali adaptif yang dapat meningkatkan performa sistem secara signifikan.

D. Implikasi dari Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan model matematis sistem motor listrik, khususnya motor DC tipe DC054B-5. Implikasi utama dari penelitian ini adalah bahwa pendekatan pemodelan orde 1 dan orde 2 dapat digunakan sebagai dasar dalam desain sistem kontrol motor secara lebih efisien dan terstruktur. Model orde 1 yang sederhana dapat dimanfaatkan dalam sistem kontrol dengan kebutuhan real-time dan komputasi terbatas, seperti pada perangkat mikrokontroler atau sistem tertanam dengan sumber daya rendah. Sebaliknya, model orde 2 lebih sesuai diterapkan pada sistem kendali yang menuntut akurasi tinggi dan mampu menangani dinamika motor yang kompleks, seperti pada sistem otomasi industri atau robotika. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan oleh para insinyur maupun akademisi sebagai referensi dalam simulasi awal perancangan sistem aktuator berbasis motor listrik. Implikasi lainnya adalah tersedianya data parameter sistem yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan perangkat lunak simulasi atau sistem identifikasi parameter motor. Dengan pendekatan berbasis model matematis, pengembangan kontrol adaptif, kendali prediktif, maupun integrasi sistem cerdas seperti IoT dan machine learning dalam pengendalian motor juga menjadi lebih terbuka. Penelitian ini juga memperkuat pentingnya pemodelan sebagai fondasi dalam memahami perilaku sistem dinamis sebelum melakukan pengujian secara langsung, sehingga dapat mengurangi risiko dan biaya eksperimen di tahap awal desain.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa pemodelan matematis motor DC tipe DC054B-5 dan AC 1 Phase tipe JY-09B-2 dapat dilakukan secara akurat dengan

pendekatan berbasis teori kelistrikan dan mekanika, serta divalidasi melalui simulasi MATLAB/Simulink. Fungsi alih orde 1 dan 2 yang dikembangkan mampu merepresentasikan karakteristik dinamis sistem, baik pada mode open-loop maupun closed-loop. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol closed-loop memberikan performa yang jauh lebih baik dibandingkan open-loop, dengan overshoot rendah, waktu naik cepat, dan kesalahan steady-state yang kecil (<2%). Selain itu, klasifikasi kondisi kerja motor menggunakan sinyal masukan seperti arus, tegangan, kecepatan, dan suhu dengan metode *Deep Convolutional Neural Network (CNN)* menunjukkan akurasi tertinggi dibandingkan metode lain (96,8%), membuktikan efektivitas CNN dalam pengenalan pola sinyal elektromekanis. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan pemodelan matematis dan penggunaan teknik klasifikasi berbasis pembelajaran mendalam sangat potensial untuk meningkatkan efisiensi, akurasi pemantauan, dan pengendalian motor listrik dalam sistem berbasis kontrol presisi, terutama pada aplikasi industri dan robotika

REFERENSI

- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Nise, N. S. (2020). *Control Systems Engineering* (8th ed.). Wiley
- Bolede, I., & Nasar, S. A. (2002). *Electric Drives*. CRC Press.
- MathWorks. (2022). *MATLAB and Simulink Documentation*. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/>
- Chapman, S. J. (2011). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "System Optimization Using LQR and LQT Methods on 42D29Y401 DC Motor." *SAINSTECH NUSANTARA 2.2* (2025): 14-25.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Case Studies of Successful Energy Management Initiatives." *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission*

Penulis utama: Muhammad Ihsan P, muhammadihsan28@student.ppons.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).

- Reduction Using Digital Transformation. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 211-228.
22. 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).
 23. 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).
 24. 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).
 25. LRPX Motor Datasheet. (n.d.). *LRPX22-24V12 DC motor specification sheet*. [Manufacturer's publication].
 26. Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). *Modern Control Systems* (13th ed.). Pearson Education.
 27. Kuo, B. C. (1995). *Automatic Control Systems* (7th ed.). Prentice Hall.
 28. Jain, R. (2018). Modeling and simulation of DC motor using MATLAB/Simulink. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 7(3), 120–125.
 29. Subramani, C., & Ramesh, R. (2020). Speed control of DC motor using PID controller. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 9(5), 191–196.
 30. Zribi, M., & Chiasson, J. (2002). Position control of a DC motor using output feedback. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 10(3), 448–455

BIOGRAFI PENULIS (ARIAL 10, BOLD, H1)



Muhammad Ihsan P, Saat ini saya adalah mahasiswa sarjana di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), mengambil jurusan Teknik Elektro Kelautan (D4). Saya memiliki minat yang kuat dalam mesin listrik, sistem kontrol, dan elektronika daya, terutama dalam konteks aplikasi kelautan dan industri. Sepanjang studi saya, saya telah aktif terlibat dalam proyek berbasis simulasi dan penelitian laboratorium yang berfokus pada pemodelan motor DC dan implementasi sistem kontrol. Perjalanan akademik saya didorong oleh hasrat untuk mengintegrasikan pengetahuan teoretis dengan rekayasa praktis, khususnya dalam teknologi maritim. Saya bercita-cita untuk berkontribusi pada kemajuan sistem kapal pintar, efisiensi energi, dan otomatisasi dalam teknik elektro kelautan. Makalah ini mencerminkan sebagian dari upaya saya untuk menghubungkan simulasi dengan aplikasi nyata di bidang sistem kontrol dan listrik.