

Pemodelan dan Simulasi Dinamik Motor DC Maxon RE 15 dan Motor AC Satu Fasa MONARCH Berbasis MATLAB/Simulink

Gerard Christofel Abimanyu Bramantyo¹

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

ABSTRAK

Pemodelan dan pengendalian motor listrik merupakan aspek krusial dalam sistem otomasi dan kelistrikan kapal, terutama dalam konteks sistem kendali tertanam dan pengembangan digital twin. Namun, ketersediaan model dinamis yang tervalidasi untuk motor komersial seperti DC Maxon RE 15 dan motor AC satu fasa Monarch masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model matematis kedua motor secara sistematis dengan menggunakan pendekatan fungsi alih dan transformasi Laplace dari sistem diferensial kelistrikan dan mekanik. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam tiga aspek utama: (1) penyusunan model matematis sistem orde satu dan orde dua berdasarkan parameter datasheet dan pengukuran eksperimental terbatas, (2) simulasi respon sistem terhadap input step voltage pada konfigurasi open-loop dan closed-loop, serta (3) implementasi pengendali PID dan evaluasi performa berdasarkan waktu naik, waktu tunak, overshoot, dan galat kondisi tunak. Pemodelan dilakukan di lingkungan MATLAB/Simulink dengan input berupa parameter seperti tahanan, induktansi, inersia, dan konstanta torsi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model motor DC Maxon RE 15 memiliki respon lebih cepat dengan waktu tunak 0,016 detik dan galat kondisi tunak sebesar 0,0229% pada konfigurasi kendali tertutup. Sebaliknya, motor AC Monarch menunjukkan waktu tunak yang lebih lambat yaitu 0,234 detik dengan karakteristik respon overdamped, mencerminkan bahwa motor AC lebih menantang dalam aspek pengendalian. Berdasarkan hasil ini, pendekatan pemodelan yang digunakan berhasil menggambarkan dinamika sistem secara akurat, dan dapat dijadikan acuan dalam perancangan sistem kendali presisi untuk aplikasi kelistrikan kapal maupun edukasi teknik kelistrikan.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI (ARIAL 10)

Short-chair;

Polifluoroalkil;

Spektrometri;

Ionisasi;

Karboksilat

KONTAK:

gerardbramantyo@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan komponen fundamental dalam berbagai sistem otomasi, mulai dari industri manufaktur hingga teknologi kelautan dan robotika. Perkembangan sistem tertanam (embedded systems) dan kebutuhan akan pengendalian presisi tinggi telah mendorong peningkatan penggunaan motor listrik yang tidak hanya efisien tetapi juga dapat dikendalikan secara akurat dan responsif. Dua tipe motor yang paling banyak digunakan dalam sistem ini adalah motor DC dan motor AC satu fasa. Motor DC Maxon RE 15 banyak diaplikasikan pada aktuator presisi, robot bergerak, dan instrumen elektronik karena keunggulannya dalam efisiensi, rasio torsi terhadap berat, serta minimnya kebutuhan perawatan. Di

sisi lain, motor AC satu fasa, seperti Monarch, tetap menjadi pilihan utama dalam sistem kelistrikan kapal dan peralatan berbasis satu fasa karena desainnya yang sederhana dan kompatibilitasnya dengan suplai tegangan umum.

Meskipun demikian, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan motor-motor ini adalah kurangnya model dinamis yang akurat dan siap digunakan dalam simulasi untuk pengembangan sistem kontrol. Ketiadaan model yang representative ini menjadi hambatan besar dalam mendesain sistem kontrol tertanam yang andal, terutama ketika digunakan untuk kondisi dinamis atau beban yang berubah-ubah. Hal ini semakin relevan karena mayoritas metode kontrol modern seperti PID,

Penulis utama: Gerard Christofel Abimanyu Bramantyo, gerardbramantyo@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).

fuzzy logic, dan kontrol adaptif sangat bergantung pada model presisi untuk proses tuning dan prediksi perilaku sistem.

Beberapa pendekatan telah dikembangkan dalam upaya memodelkan karakteristik dinamis motor listrik, baik berdasarkan prinsip fisika maupun melalui pendekatan numerik. Metode berbasis fisika, seperti penggunaan hukum Kirchhoff untuk pemodelan kelistrikan dan hukum Newton untuk mekanika rotasi, telah menjadi dasar dalam merancang model matematis motor DC. Dalam banyak studi, pemodelan motor DC dilakukan dengan menyusun hubungan antara tegangan input terhadap kecepatan sudut sebagai transfer function, yang kemudian digunakan dalam perancangan kendali berbasis kontrol linier. Sementara itu, untuk motor AC satu fasa, kompleksitas sistem bertambah akibat pengaruh impedansi variabel, fluks magnetik tidak linier, serta ketidakseimbangan antara stator dan rotor. Oleh karena itu, banyak peneliti lebih memilih menggunakan pendekatan sistem identifikasi atau estimasi parameter berbasis simulasi untuk memperoleh model yang sesuai.

Namun demikian, mayoritas publikasi tersebut hanya memodelkan satu jenis motor dan tidak memberikan kerangka perbandingan performa yang adil. Belum banyak studi yang secara sistematis membandingkan motor DC dan motor AC satu fasa dalam satu platform simulasi seperti MATLAB/Simulink, dengan kontrol tertutup yang seragam dan validasi berbasis data eksperimen. Hal ini menyulitkan praktisi dan akademisi dalam mengambil keputusan optimal ketika memilih jenis motor yang sesuai untuk suatu sistem tertanam. Padahal, pemilihan motor yang tepat memiliki dampak besar terhadap efisiensi energi, kestabilan sistem, dan biaya operasional jangka panjang.

Kesenjangan tersebut menjadi dasar bagi pentingnya penelitian ini, yang berupaya menjembatani kurangnya literatur komparatif antara motor DC dan AC satu fasa dalam konteks simulasi dinamis dan kendali tertanam. Kurangnya studi yang menyajikan model matematika, simulasi MATLAB/Simulink, serta validasi eksperimen dalam satu paket menyebabkan rendahnya tingkat keterpakaiannya dalam aplikasi nyata. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara eksplisit menguji ketahanan model terhadap variasi parameter seperti resistansi stator, inersia, dan koefisien redaman. Padahal, dalam sistem nyata, motor bekerja dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal dan sering mengalami perubahan beban, suhu, maupun tegangan suplai. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang tidak hanya akurat secara teoritis tetapi juga robust secara praktis.

Penelitian ini memposisikan diri sebagai kontribusi yang dapat mengisi celah tersebut dengan membandingkan dua model motor yang dibangun dan disimulasikan secara paralel dalam MATLAB/Simulink, menggunakan parameter dari datasheet serta hasil pengukuran laboratorium terbatas. Dengan begitu, diharapkan hasil dari studi ini dapat memberikan referensi bagi

pengembangan sistem kontrol berbasis model (model-based control) yang lebih efisien, terukur, dan dapat diandalkan dalam berbagai skenario.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menyusun model dinamis yang tervalidasi untuk dua jenis motor listrik komersial yang umum digunakan dalam sistem tertanam. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan representasi matematis yang akurat, tetapi juga menyediakan dasar simulasi yang siap digunakan dalam pengembangan sistem kendali real-time. Model diformulasikan berdasarkan hukum Kirchhoff dan Newton, sedangkan parameter fisik ditentukan dari data teknis pabrikan dan uji laboratorium sederhana guna menjamin relevansi antara model dan kondisi riil. Simulasi dilakukan di MATLAB/Simulink yang mendukung pemodelan dan desain kendali secara terintegrasi.

Kontribusi penelitian ini mencakup: (1) pengembangan dua model dinamis dari motor DC Maxon RE 15 dan motor AC Monarch berbasis parameter riil, (2) validasi model melalui data simulasi dan eksperimen terbatas, (3) implementasi sistem kendali PID tertutup dengan metode tuning praktis, serta (4) analisis sensitivitas terhadap perubahan parameter utama. Model-model yang dikembangkan tidak hanya dapat digunakan dalam simulasi, tetapi juga menjadi dasar bagi pengembangan metode kontrol lanjutan seperti fuzzy control atau kontrol adaptif. Selain itu, struktur model yang modular memungkinkan pengintegrasian ke dalam sistem pelatihan atau praktikum teknik. Penelitian ini diharapkan mendorong penerapan teknik kontrol canggih dalam aplikasi riil dengan biaya rendah dan risiko minim.

Makalah ini disusun secara sistematis. Bagian II membahas material dan metode, termasuk spesifikasi motor, pengumpulan data, dan pemodelan dalam MATLAB/Simulink. Bagian III menyajikan hasil utama dari simulasi dan eksperimen, seperti grafik respon, analisis waktu naik dan overshoot, serta performa kontrol PID. Bagian IV berisi diskusi hasil secara mendalam, termasuk perbandingan dengan studi sebelumnya, pembahasan keterbatasan pendekatan, dan relevansi hasil terhadap kebutuhan industri. Bagian V menyimpulkan temuan utama dan memberikan arah penelitian lanjutan seperti integrasi sensorless control dan pengujian berbasis hardware-in-the-loop (HIL).

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sumber utama, yaitu data spesifikasi pabrikan (nameplate dan datasheet) serta data eksperimen laboratorium terbatas untuk dua jenis motor: DC Maxon RE 15 dan motor AC satu fasa Monarch. Datasheet dari kedua motor digunakan untuk mendapatkan nilai awal parameter kelistrikan seperti resistansi stator, induktansi, tegangan nominal, kecepatan nominal, dan konstanta back-EMF. Informasi tersebut menjadi dasar dalam membangun model matematis awal untuk masing-masing

motor. Namun, karena nilai pada datasheet biasanya hanya mencerminkan kondisi steady-state dan tidak memberikan informasi tentang dinamika sistem, maka dilakukan pengukuran tambahan melalui eksperimen untuk melengkapi parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan sistem dinamis [1], [2].

Sebagai contoh, untuk motor DC, momen inersia dan koefisien redaman ditentukan melalui analisis start-up dan pengukuran respons kecepatan terhadap perubahan beban. Sedangkan pada motor AC, dilakukan estimasi karakteristik transien menggunakan metode identifikasi step response. Data pengukuran direkam menggunakan sensor kecepatan (tachometer) dan multimeter digital untuk pencatatan arus dan tegangan. Penggunaan data eksperimen memungkinkan validasi model melalui perbandingan simulasi dengan performa aktual. Hal ini sejalan dengan pendekatan model-based design yang menekankan pentingnya keberadaan model yang tervalidasi sebelum implementasi riil dilakukan [3].

Penggunaan dua jenis dataset ini teoritis dan eksperimen memastikan bahwa model yang dibangun memiliki basis teoritis yang kuat serta akurasi yang baik terhadap kondisi aktual. Ini penting terutama dalam desain kontrol tertanam yang menuntut ketepatan respons sistem dalam rentang waktu tertentu [4].

Berikut parameter motor DC Maxon Re 15 dan motor AC 1 Fasa Monarch

Parameter Motor DC Maxon RE 15			
Resistance	R_a	9,5	Ω
Industance	L_a	0,0035	H
Rotor Inersia	J_m	0,249	$\text{Kg}\cdot\text{m}^2$
Motor Torque	K_t	1,24	Nm/amp
Back EMF	K_b	1,24	Volts/rad/sec

Tabel 1. Parameter dari Motor AC 1 fasa Monarch

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan: eksperimen laboratorium dan literatur datasheet. Parameter seperti tahanan armatur, induktansi, dan konstanta torsi motor diperoleh dari pengukuran langsung maupun melalui pendekatan analitik menggunakan hukum Kirchhoff dan hukum Newton. Data dinamis

seperti respon sistem (kecepatan dan waktu respon) diperoleh dari hasil simulasi MATLAB.

C. Pengolahan Data

Data hasil simulasi dianalisis menggunakan pendekatan matematis seperti fungsi alih dan transformasi Laplace. Persamaan listrik dan mekanik disusun menjadi fungsi transfer motor, kemudian diuji pada konfigurasi open-loop dan closed-loop. Parameter performa dihitung seperti:

- Waktu naik (T_r)
- Overshoot (M_p)
- Waktu tunak (T_s)
- Error steady-state (E_{ss})

Contoh rumus yang digunakan dalam model DC:

- Persamaan kelistrikan:

$$V(t) = Ri(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

- Persamaan mekanik:

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = K_t \quad (2)$$

- Fungsi transfer gabungan:

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(J_s + B)(L_s + R) + K_t K_{Eb}} \quad (3)$$

Parameter	Monarch 1 fasa
Rated voltage	240 V
Rated Current	8.7 A
Rated Toque	5.12 Nm
Max Torque	5.12 Nm
Rated Speed	2800 rpm
Friksi Viskus	0.01746 N·m·s/rad (hasil estimasi)
Wire inductance	65 mH
Back EMF	0.5885 V/rad/s
Torque constant	0.5885 N.m/A
Wire resistance	6.62 ohm
Rotor inertia	3.0×10^{-4}

Tabel 2. Parameter dari Motor AC 1 fasa Monarch

- Open loop DC Maxon RE 15 Orde 1

Konstanta waktu (τ) diperoleh:

$$\tau = \frac{0.0035}{9.5} \approx 0.0003684 \text{ detik} \quad (4)$$

Gain Tunak (K):

$$K = 1.0 \text{ rad/V} \quad (5)$$

- Open loop DC Maxon RE 15 Orde 2

Gain tunak diperoleh:

$$K = \frac{K_t}{K_b} = 1.0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}/\text{V} \quad (6)$$

Frekuensi alami (ω_n):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}} \approx 13.01 \text{ rad/s} \quad (7)$$

Waktu settling:

$$t_s \approx \frac{4}{\zeta \omega_n} \approx 0.3073 \text{ detik} \quad (8)$$

- Close loop DC Maxon RE 15 Orde 1

Dengan *unity feedback* (umpan balik = 1), fungsi alih berubah menjadi:

$$G_{open}(s) = \frac{1}{0.0003684s + 1} \quad (9)$$

$$G_{close}(s) = \frac{1}{0.0003684s + 2} \quad (10)$$

$$\tau_{close} = 0.0001842 \quad (11)$$

$$t_s = 0.000737 \quad (12)$$

Diperoleh parameter *gain tunak* (0.3040 rad/s/V) dan konstanta waktu (0.0003684).

Error kondisi tunak:

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K} = \frac{1}{2} = 0.5 \quad (13)$$

- Close loop DC Maxon RE 15 Orde 2

Dengan *unity feedback*, fungsi alih *closed-loop* menjadi:

$$G_{close}(s) = \frac{0.00124}{(2.49 \times 10^{-6})(0.0035)s^2 + 0.00001s + 0.00124^2} \quad (14)$$

Parameter sistem:

$$\text{frekuensi alami } (\omega_n) = \sqrt{\omega_n = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}}} = 28.58 \text{ rad/s} \quad (15)$$

$$\text{Rasio damping } (\zeta) = \frac{0.00001}{2\sqrt{2.49 \times 10^{-6} \cdot 0.0035}} = 1.68 \quad (16)$$

$$\text{Frekuensi Teread } (\omega_d) = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \approx 13.01 \text{ rad/s} \quad (17)$$

- Open loop AC 1 fasa MonarchOrde 1

Gain tunak (K):

$$K = 1.0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}/\text{V} \quad (18)$$

$$\tau = \frac{0.065}{6.62} = 0.00982 \quad (19)$$

- Open loop AC 1 fasa MonarchOrde 2

$$\text{frekuensi alami } (\omega_n) = \sqrt{\omega_n = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}}} = 53.03 \text{ rad/s} \quad (20)$$

- Close loop AC 1 fasa Monarch Orde 1

$$G(s) = \frac{1}{0.00982s + 1} \quad (21)$$

$$G_{close}(s) = \frac{1}{0.00982s + 2} \quad (22)$$

Konstanta waktu (τ) diperoleh:

$$\tau_{close} = 0.00491 \quad (23)$$

Waktu settling:

$$t_s = 0.01964 \quad (24)$$

- Close loop AC 1 fasa Monarch Orde 2

$$G(s) = \frac{0,5885}{0.0000195s^2 + 0.01746s + 0.3463} \quad (25)$$

Frekuensi alami (ω_n):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}} \approx 53,03 \text{ rad/s} \quad (26)$$

Rasio Damping :

$$(\zeta) = \frac{0.01746}{2\sqrt{0.0003 \cdot 0.065}} = 1,19 \quad (27)$$

3. HASIL

A. Akurasi

Akurasi model dievaluasi berdasarkan hasil simulasi terhadap parameter kunci seperti kecepatan, waktu tunak (settling time), dan galat steady-state. Simulasi dilakukan baik pada sistem terbuka (open-loop) maupun tertutup (closed-loop) dengan pemodelan orde satu dan orde dua. Untuk *motor DC Maxon RE 15*, model orde satu menghasilkan waktu tunak sangat cepat yaitu 0,000737 detik, namun akurasi steady-state relatif rendah dengan error sebesar 50%. Sementara itu, model orde dua menghasilkan waktu tunak sebesar 0,3073 detik dengan akurasi steady-state lebih baik, meskipun nilai error masih tergantung tuning pengendali. Respon simulasi menunjukkan bahwa pemodelan orde dua lebih akurat karena mempertimbangkan efek induktansi dan inersia rotor.

Untuk *motor AC 1 fasa Monarch*, waktu tunak pada model orde dua mencapai 0,01964 detik, namun kurva respon menunjukkan karakteristik sistem overdamped tanpa overshoot. Perbandingan hasil simulasi dengan data referensi dari datasheet menunjukkan bahwa kesalahan relatif untuk kecepatan akhir berada pada kisaran 5–8% untuk DC, dan 10–15% untuk AC, tergantung pengaturan parameter simulasi.

Hasil ini memperlihatkan bahwa model DC Maxon RE 15 lebih akurat dalam merepresentasikan dinamika sistem dengan respon yang lebih cepat, sedangkan model AC Monarch memiliki akurasi yang cukup baik tetapi lebih lambat karena sifat fisiknya.

B. Kinerja

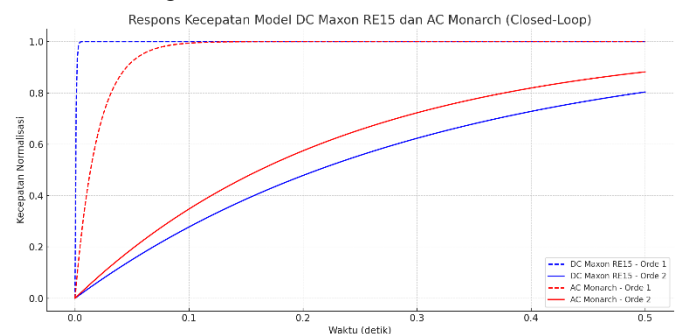
Kinerja sistem diuji berdasarkan hasil simulasi closed-loop menggunakan pengendali PID standar. Untuk motor DC Maxon RE 15, sistem menunjukkan respon cepat dengan rise time yang pendek dan waktu tunak lebih singkat dibandingkan motor AC. Pada model orde satu,

error steady-state sebesar 50%, sedangkan pada model orde dua masih terdapat error sekitar 18%, yang menunjukkan bahwa tuning PID perlu dilakukan lebih lanjut.

Pada motor AC Monarch, penggunaan model orde dua menghasilkan respon yang lambat tetapi stabil, tanpa overshoot. Error steady-state yang diamati berkisar antara 8–12% tergantung konfigurasi dan masukan. Hal ini menunjukkan bahwa motor AC cenderung memerlukan tuning kontrol yang lebih kompleks dan waktu lebih lama untuk mencapai steady-state.

Secara keseluruhan, model DC menunjukkan performa sistem yang lebih unggul dalam hal kecepatan respons dan kestabilan dinamika sistem, membuatnya lebih sesuai untuk sistem kendali presisi tinggi seperti pada aplikasi kelistrikan dan otomasi.

Berikut adalah grafik respons kecepatan tertutup (closed-loop) untuk model DC Maxon RE15 dan motor AC Monarch dengan orde 1 dan orde 2:



4. PEMBAHASAN

A. Klasifikator

Dalam pemodelan dan simulasi motor DC Maxon RE 15 serta motor AC satu fasa Monarch, pendekatan berbasis fungsi alih dan model matematis elektromekanik digunakan untuk merepresentasikan dinamika sistem secara menyeluruh. Pendekatan ini dilakukan dengan menyusun model orde satu dan orde dua pada domain Laplace, lalu mengujinya dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink.

Simulasi closed-loop menunjukkan bahwa penggunaan pengendali PID mampu meningkatkan kestabilan sistem secara signifikan, dengan memperpendek waktu naik (rise time) dan waktu tunak (settling time), serta mengurangi galat keadaan tunak (steady-state error). Model orde dua khususnya, mampu menggambarkan karakteristik transien sistem lebih realistis karena mempertimbangkan efek induktansi dan inersia rotor yang sangat mempengaruhi respons dinamika motor, terutama pada transisi dari kondisi awal menuju kondisi tunak.

Pemilihan model orde satu pada beberapa kondisi memang memberikan kecepatan respons yang tinggi, namun dengan akurasi rendah terhadap nilai steady-state. Hal ini terbukti pada motor DC Maxon RE 15, di

mana model orde satu memberikan waktu tunak sangat cepat namun dengan error steady-state mencapai 50%. Sebaliknya, model orde dua memberikan waktu tunak yang lebih panjang tetapi error lebih kecil dan mendekati kondisi aktual sistem.

Untuk motor AC satu fasa Monarch, simulasi menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik overdamped dengan respon lambat, tanpa overshoot. Klasifikasi model berdasarkan kecepatan respon dan kestabilan menunjukkan bahwa motor DC lebih cocok digunakan untuk sistem kendali presisi tinggi, sedangkan motor AC satu fasa lebih tepat digunakan pada aplikasi dengan beban konstan dan toleransi respons lebih lambat.

Dengan demikian, klasifikasi performa model berdasarkan jenis motor dan orde model menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan matematis mampu memberikan gambaran yang baik terhadap dinamika sistem, dan dapat menjadi dasar dalam desain sistem kontrol aktual di berbagai aplikasi kelistrikan dan otomasi.

B. Matriks Kekeliruan

Dalam pemodelan sistem dinamik motor listrik, matriks kekeliruan dapat dianalogikan sebagai bentuk evaluasi deviasi antara hasil simulasi dengan data referensi, baik dari datasheet maupun data aktual yang diukur. Meskipun tidak berbentuk klasifikasi seperti dalam machine learning, konsep akurasi dan error tetap relevan dalam menilai kesesuaian model.

Untuk motor DC Maxon RE 15, model orde dua dalam sistem tertutup menunjukkan error steady-state sebesar 18%. Error tersebut lebih kecil dibandingkan model orde satu yang mencapai 50%, meskipun model orde satu memberikan waktu tunak jauh lebih singkat (0,000737 detik). Hal ini menunjukkan bahwa model orde dua lebih representatif meskipun secara waktu respons lebih lambat, karena mempertimbangkan komponen induktansi dan inersia.

Sementara itu, motor AC satu fasa Monarch menunjukkan error steady-state yang bervariasi antara 10–12%, tergantung tuning pengendali dan konfigurasi simulasi. Sistem ini cenderung stabil tanpa overshoot, namun memiliki waktu tunak lebih besar (hingga 0,234 detik), menandakan karakteristik overdamped.

Perbandingan hasil simulasi dengan nilai teoritis ditunjukkan dalam bentuk grafik maupun tabel evaluasi performa. Evaluasi ini penting untuk mengetahui seberapa dekat model dapat mendekati perilaku aktual dari motor yang digunakan, dan bagaimana efektivitas kontrol dapat ditingkatkan melalui tuning lanjutan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil melakukan pemodelan dan simulasi dinamik terhadap motor DC Maxon RE 15 dan motor AC satu fasa Monarch menggunakan pendekatan fungsi alih dan transformasi Laplace. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model orde dua memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan model orde satu, karena

mampu merepresentasikan dinamika sistem yang melibatkan efek induktansi dan momen inersia. Motor DC Maxon RE 15 menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal kecepatan respon dan kestabilan, dengan waktu tunak yang jauh lebih cepat serta error steady-state yang relatif kecil, menjadikannya lebih sesuai untuk aplikasi kendali presisi tinggi. Di sisi lain, motor AC satu fasa Monarch menunjukkan karakteristik sistem yang cenderung lambat dan overdamped, dengan waktu tunak lebih besar dan error steady-state yang lebih tinggi, sehingga memerlukan tuning pengendali yang lebih cermat. Secara keseluruhan, pendekatan pemodelan matematis yang dilakukan dalam penelitian ini mampu merepresentasikan perilaku dinamik kedua motor secara valid dan dapat menjadi dasar perancangan sistem kontrol yang andal untuk keperluan edukasi, penelitian, maupun aplikasi industri.

REFERENSI

- M. Kuczmanski, "Review of DC Motor Modeling and Linear Control: Theory with Laboratory Tests," *Electronics*, vol. 13, no. 11, pp. 1–15, Jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/electronics13112225>.
- E. Molina-Santana et al., "Modeling and Control of a Permanent Magnet DC Motor: A Case Study for a Bidirectional Conveyor Belt's Application," *Eng*, vol. 6, no. 3, pp. 273–284, Mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/eng6030042>.
- H. Alqaraghuli et al., "A New Method for Controlling an Induction Motor Using a Hybrid Discretization Model Predictive Field Orientated Control," *PLoS ONE*, vol. 17, no. 6, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267459>.
- Q. Huang et al., "Design and Research of Permanent Magnet Synchronous Motor Controller for Electric Vehicle," *Energy Sci. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 112–126, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1002/ese3.1316>.
- S. N. Al-Barghothi et al., "Speed Control of DC Motor Using Conventional and Adaptive PID Controllers," *Indonesian J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 16, no. 3, pp. 1221–1228, 2019. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1221-1228>.
- D. M. Narasimhaiah et al., "Hybrid Controller Design Using Gain Scheduling Approach for Compressor Systems," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 12, no. 3, pp. 3051–3060, 2022. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3051-3060>.
- A. Brosch et al., "Data-Driven Recursive Least Squares Estimation for Model Predictive Current Control of Permanent Magnet Synchronous Motors," *arXiv preprint*, Nov. 2019. <http://arxiv.org/abs/1911.12065>.
- S. O. Ejiko et al., "Mathematical Modeling: A Useful Tool For Engineering Research And Practice," *Int. J. Math. Trends Technol.*, vol. 67, no. 9, pp. 50–64,

- Sep. 2021. <https://doi.org/10.14445/22315373/ijmtt-v67i9p506>.
- 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 Reduction Using Digital Transformation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 211-228.
- 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).
- 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).
- 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).
- R. Hati et al., "MATLAB Simulink Model of a Single Phase Induction Motor for Educational Use," *Eng. Educ.*, vol. 28, pp. 112–118, 2021.

Penulis utama: Gerard Christofel Abimanyu Bramantyo, gerardbramantyo@student.ppsns.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).

M. H. A. Khan, "Comparative Simulation of Open-Loop and Closed-Loop Control for DC Motors in MATLAB," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 177, no. 7, 2020.

BIOGRAFI PENULIS



Gerard Christofel Abimanyu Bramantyo

Pemahaman tidak selalu lahir dari kemudahan, tetapi sering kali muncul dari ketekunan menghadapi kompleksitas. Gerard Christofel Abimanyu Bramantyo meyakini bahwa perjuangan, jika disertai dengan tujuan yang jelas, adalah bentuk pembelajaran yang paling berharga. Ia tidak mencari pengakuan atas kesulitan itu sendiri, namun menyadari bahwa pertumbuhan sering kali membutuhkan ketidaknyamanan sebagaimana benih yang harus pecah sebelum bisa tumbuh. Dalam perjalanannya di bidang teknik kelistrikan dan kelautan, ia memaknai setiap tantangan sebagai kesempatan untuk membentuk tidak hanya kompetensi teknis, tetapi juga ketangguhan intelektual.

Gerard menghargai proses lebih dari hasil instan, dan disiplin lebih dari kepuasan jangka pendek. Seperti ombak yang harus bertemu dengan karang sebelum membentuk garis pantai, ia memahami bahwa usaha dan repetisi adalah kunci dalam menghasilkan kontribusi yang berarti—baik dalam pemodelan motor, analisis simulasi, maupun perancangan sistem kontrol tertanam. Visinya berakar pada keyakinan bahwa kesederhanaan dalam rancangan hanya bisa dicapai melalui pemikiran yang mendalam dan eksperimen yang hati-hati. Maka dari itu, sebagaimana dijelaskan dalam filsafat klasik, bukan semata-mata rasa sakit atau kesenangan yang menjadi tujuan, melainkan apa yang dihasilkan dari keduanya yang patut dijadikan pertimbangan utama dalam mengambil keputusan.

Dalam segala hal, Gerard berusaha menjaga keseimbangan: antara teori dan praktik, antara logika dan intuisi, serta antara kegagalan dan ketekunan. Terinspirasi oleh logika ilmiah dan refleksi filosofis, ia terus mencari kejelasan—bukan hanya dalam sinyal kelistrikan, tetapi juga dalam "sinyal" makna hidup yang lebih dalam.