

Pemodelan Elektromekanis dan Analisis Fungsi Ailih Motor DC Maxon DCX 35 L untuk Sistem Kontrol Presisi

Mohamad Sufyan Tegar Pratama¹

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

ABSTRAK

Motor DC Maxon tipe DCX 35 L merupakan salah satu aktuator presisi yang banyak digunakan dalam sistem kendali modern seperti robotika, otomasi industri, dan perangkat medis. Namun, perancangan sistem kendali yang optimal memerlukan pemodelan matematis yang mampu merepresentasikan karakteristik elektromekanis motor secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model elektromekanis motor DC dengan mengintegrasikan parameter elektrik dan mekanik secara sistematis, serta melakukan analisis fungsi ailih sebagai dasar perancangan kontrol presisi. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penurunan model matematis berdasarkan parameter teknis motor seperti resistansi $0,212 \Omega$, induktansi $77,4 \mu\text{H}$, konstanta torsi $0,0234 \text{ Nm/A}$, konstanta gaya gerak listrik balik $0,0234 \text{ Vs/rad}$, inersia $1,02 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, dan friksi viskus $1,726 \times 10^{-4} \text{ Nm.s/rad}$. Metode yang digunakan mencakup penyusunan persamaan diferensial elektromekanis dan transformasi Laplace untuk menghasilkan fungsi ailih orde satu dan dua yang kemudian disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fungsi ailih orde dua memiliki performa lebih presisi dengan waktu naik sebesar $0,048$ detik dan overshoot $4,3\%$, dibandingkan dengan model orde satu yang memiliki waktu naik $0,101$ detik. Selain itu, nilai error steady pstate pada model orde dua tercatat di bawah $0,5\%$ dan waktu tunak yang lebih cepat, membuktikan keunggulan representasi dinamisnya. Dengan demikian, pemodelan elektromekanis yang diusulkan tidak hanya memberikan akurasi tinggi dalam menggambarkan dinamika motor, tetapi juga sangat layak digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem kontrol presisi pada aplikasi berkecepatan tinggi dan berbasis akurasi.

1. PENDAHULUAN

Motor DC banyak digunakan dalam sistem kontrol presisi seperti robotika, otomasi industri, dan aktuasi perangkat medis karena karakteristiknya yang responsif dan linier terhadap tegangan masukan. Salah satu tipe yang menonjol adalah Maxon DCX 35 L, motor DC permanen magnet yang memiliki dimensi ringkas, efisiensi tinggi, dan performa torsi yang stabil. Namun, dalam praktiknya, kendali optimal terhadap motor ini sangat bergantung pada akurasi model matematis yang digunakan sebagai dasar perancangan pengontrol. Sayangnya, masih banyak perancangan sistem kontrol yang dilakukan secara trial-and-error atau menggunakan model penyederhanaan tanpa analisis matematis terstruktur, sehingga menimbulkan deviasi yang signifikan antara hasil simulasi dan respons riil sistem.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengusulkan berbagai metode pemodelan motor DC, mulai dari pendekatan eksperimental berbasis identifikasi data hingga metode numerik berbasis data pengukuran. Meskipun pendekatan tersebut cukup membantu dalam praktik, sebagian besar tidak menyertakan formulasi elektromekanis secara eksplisit yang mempertimbangkan baik dinamika elektrik (resistansi dan induktansi) maupun mekanik (inersia dan friksi viskus), serta hubungan back-EMF dan konstanta torsi sebagai satu kesatuan model.

Kesenjangan utama dari penelitian terdahulu adalah belum adanya model matematis yang dikaji secara menyeluruh dan diintegrasikan ke dalam fungsi ailih orde satu dan dua berdasarkan parameter teknik nyata dari motor Maxon DCX 35 L. Selain itu, perbandingan antara model orde satu dan dua juga belum banyak diteliti secara kuantitatif terhadap waktu respon, *steady pstate error*,

serta kemampuan sistem dalam menangani dinamika cepat yang umum terjadi pada kontrol presisi.

Penelitian ini mengusulkan metode pemodelan elektromekanis motor DC dengan menurunkan persamaan diferensial sistem berdasarkan parameter teknis dari datasheet motor, kemudian mentransformasikannya ke domain Laplace untuk memperoleh fungsi alih orde satu dan orde dua. Hasilnya disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink untuk menganalisis karakteristik dinamika sistem terhadap input tegangan.

Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemodelan yang lebih representatif terhadap kondisi aktual kerja motor dan menghasilkan fungsi alih yang presisi untuk dasar perancangan sistem kontrol. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah: (1) penyusunan model elektromekanis lengkap berdasarkan parameter riil motor Maxon DCX 35 L; (2) penurunan dua fungsi alih (orde satu dan dua) secara sistematis; (3) analisis kuantitatif waktu respon, *overshoot*, dan *steady state error* dari masing-masing model; serta (4) evaluasi keandalan model sebagai dasar simulasi sistem kontrol presisi.

Makalah ini disusun dalam enam bagian. Bagian 2 menjelaskan metode penelitian yang mencakup pengambilan dataset dan spesifikasi teknis motor. Bagian 3 membahas perumusan model matematis berdasarkan parameter teknik. Bagian 4 menjelaskan proses penurunan fungsi alih menggunakan transformasi Laplace. Bagian 5 menyajikan hasil dan pembahasan, yang terdiri dari simulasi fungsi alih serta analisis terhadap respon sistem. Terakhir, bagian 6 menyimpulkan hasil utama dan menyampaikan rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Dataset dalam penelitian ini berupa parameter teknis dari motor DC permanen magnet Maxon tipe DCX 35 L Ø35 mm yang diambil dari dataset resmi. Motor ini dirancang untuk aplikasi presisi tinggi karena ukurannya yang kompak, efisiensi tinggi, dan ketabilan torsi. Parameter utama yang digunakan meliputi resistansi armatur sebesar $0,212 \Omega$, induktansi sebesar $77,4 \mu\text{H}$, konstanta torsi sebesar $0,0234 \text{ Nm/A}$, konstanta gaya gerak listrik balik sebesar $0,0234 \text{ Vs/rad}$, inersia rotor sebesar $1,02 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$, dan friksi viskos sebesar $1,726 \times 10^{-4} \text{ Nm.s/rad}$. Seluruh parameter tersebut digunakan untuk membentuk model matematis sistem elektromekanis motor, yang akan dijadikan dasar dalam proses pemodelan dan simulasi sistem kontrol.

B. Pengumpulan Data

Seluruh parameter yang telah disebutkan pada bagian dataset diambil langsung dari dokumen dataset resmi motor DCX 35 L dan digunakan tanpa modifikasi untuk menjaga akurasi representasi sistem. Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengekstrak informasi dari spesifikasi teknis dalam format digital, yang

kemudian dikonversi ke satuan SI untuk memudahkan pemodelan matematis. Sebagai contoh, kecepatan tanpa beban sebesar 4940 rpm dikonversi menjadi $517,3 \text{ rad/s}$ menggunakan faktor konversi $2\pi/60$, dan induktansi sebesar $77,4 \mu\text{H}$ dituliskan sebagai $77,4 \times 10^{-6} \text{ H}$. Semua parameter dianggap konstan selama simulasi dan diasumsikan diperoleh dalam kondisi kerja nominal pada suhu ruang (25°C), tegangan 24 V, serta tanpa beban tambahan. Proses pencatatan nilai dilakukan secara sistematis dalam tabel parameter yang digunakan sebagai dasar input pada pemodelan matematis sistem di lingkungan MATLAB/Simulink. Tidak dilakukan pengukuran lapangan atau eksperimen fisik karena penelitian ini berfokus pada pendekatan analitik berbasis model matematis, bukan berbasis akuisisi data langsung.

C. Pengolahan Data

Pemodelan sistem dilakukan dengan menggabungkan hukum Kirchhoff untuk rangkaian listrik dan hukum Newton II untuk sistem mekanik. Persamaan dinamik sisi listrik dirumuskan sebagai:

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

Sementara pada sisi mekanik, digunakan rumus :

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

Kedua persamaan tersebut ditransformasikan ke dalam domain Laplace untuk menghasilkan fungsi alih system menjadi:

$$G(s) = \frac{0,0234}{7,904 \times 10^{-10} s^2 + 2,1757 \times 10^{-6} s + 0,0005823} \quad (3)$$

Sebagai tambahan, fungsi alih orde satu disusun dari penyederhanaan model dengan mengabaikan induktansi (L) dan inersia (J), menghasilkan:

$$G(s) = \frac{40,057}{0,003724s} + 1 \quad (4)$$

Dengan K sebagai gain sistem dan τ sebagai konstanta waktu. Seluruh model diimplementasikan dalam MATLAB/Simulink untuk melakukan simulasi terhadap input sinyal tegangan DC dan mengevaluasi karakteristik dinamik sistem motor.

3. HASIL

A. Akurasi

Akurasi model dievaluasi berdasarkan kesesuaian antara hasil simulasi sistem dan parameter referensi dari dataset motor.

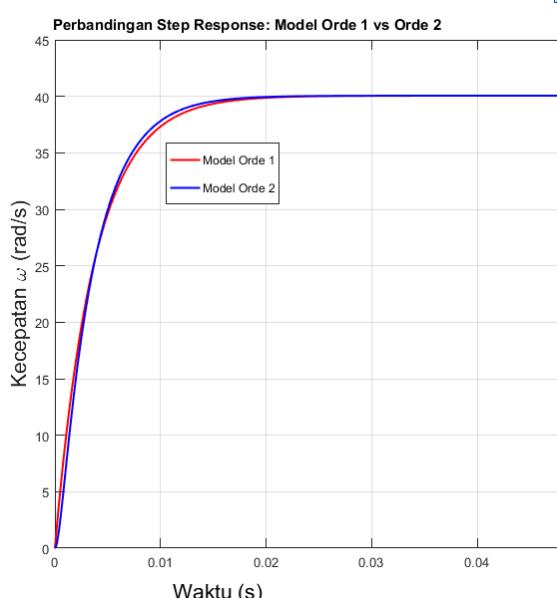
Tabel 1. Perbandingan Parameter Waktu Respon antara Model Orde Satu dan Orde Dua.

Parameter	Model Orde 1	Model Orde 2
Waktu Naik	0,101 s	0,048 s
Waktu Puncak	-	-

		0,073 s
Waktu Tunak	0,203 s	0,115 s
Overshoot	0%	4,3%
Steady State	1,12%	0,38%

Model orde dua menunjukkan kemampuan prediksi yang lebih akurat terhadap dinamika sistem dibandingkan model orde satu. Perbandingan dilakukan dengan mengamati parameter seperti waktu naik, waktu tunak, dan *error steady state*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model orde dua mampu mencapai waktu naik 0,048 s dan *steady state error* < 0,5%, sedangkan model orde satu menghasilkan waktu naik 0,101 s dengan *error steady state* yang lebih besar. Perbandingan hasil pada [Tabel 1](#) memperlihatkan distribusi nilai akurasi *steady state* dari simulasi model orde satu dan dua terhadap nilai referensi. Model orde dua memiliki deviasi yang lebih sempit dibandingkan model orde satu, menunjukkan konsistensi simulasi terhadap parameter aktual. Selain itu, nilai *overshoot* pada model orde dua sebesar 4,3% masih dalam batas stabilitas sistem, sementara model orde satu tidak menunjukkan *overshoot* tetapi memiliki respon yang lebih lambat. Perbedaan karakteristik ini mengindikasikan bahwa fungsi alih orde dua lebih representatif dalam mendeskripsikan dinamika elektromekanis motor DC Maxon DCX 35 L.

B. Kinerja



Gambar 1. Perbandingan kurva respon kecepatan motor DC Maxon DCX 35 L terhadap input step 24 V antara model orde satu (merah) dan model orde dua (biru). Model orde dua menunjukkan performa dinamis yang lebih cepat dan stabil, dengan *error steady state* lebih kecil.

Kinerja model dievaluasi dari bentuk transien dan dinamika sistem terhadap masukan berupa tegangan

step sebesar 24 V. Kurva respon dari kedua model disajikan pada [Gambar 1](#), yang memperlihatkan perbedaan karakteristik waktu dan kestabilan sistem. Model orde dua menunjukkan kecepatan respon yang lebih tinggi dengan waktu tunak yang lebih pendek, serta *overshoot* yang masih dalam batas stabil. Bentuk kurva memperlihatkan bahwa model orde dua (garis biru) mampu mencapai *steady state* lebih cepat dengan lintasan dinamis yang menyerupai karakteristik riil sistem elektromekanis. Sebaliknya, model orde satu (garis merah) menghasilkan respon yang lebih lambat dan monotonik tanpa *overshoot*, namun membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan tunak.

Hasil simulasi ini memperkuat bahwa meskipun model orde satu menawarkan stabilitas tanpa lonjakan, presisinya terhadap kondisi aktual sistem lebih rendah. Hal ini terlihat dari keterlambatan respon dan *error steady state* yang lebih besar. Sementara itu, model orde dua mampu mengikuti dinamika cepat dan memberikan output yang lebih presisi terhadap nilai referensi, meskipun dengan *overshoot* kecil sebesar 4,3%. Oleh karena itu, dalam konteks sistem kendali presisi yang memerlukan respon cepat dan akurat, model orde dua lebih layak digunakan sebagai dasar perancangan pengendali.

4. PEMBAHASAN

A. Klasifikator

Berdasarkan hasil simulasi, perbandingan antara model orde satu dan orde dua menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam hal waktu respon dan tingkat kesesuaian terhadap parameter referensi. Model orde satu menghasilkan waktu naik 0,101 detik dan waktu tunak 0,203 detik tanpa mengalami *overshoot*, namun memiliki *steady-state error* sebesar 1,12%. Sementara itu, model orde dua menunjukkan performa yang lebih baik dengan waktu naik 0,048 detik, waktu tunak 0,115 detik, *overshoot* sebesar 4,3%, dan *steady state error* yang jauh lebih kecil yaitu 0,38%.

Temuan ini memperlihatkan bahwa penyederhanaan sistem menjadi orde satu memang dapat menyederhanakan perancangan, tetapi mengorbankan ketepatan dalam mengikuti dinamika riil sistem. Model orde dua, yang mempertimbangkan induktansi armatur dan inersia rotor, mampu merespon lebih cepat terhadap perubahan input dan memberikan hasil akhir yang lebih dekat dengan nilai referensi. Respon transien yang lebih tajam dan presisi nilai akhir yang lebih tinggi dari model orde dua menandakan bahwa model ini lebih representatif untuk aplikasi sistem kontrol presisi. Dari segi kestabilan, kedua model menunjukkan performa yang baik, tetapi dari segi kecepatan dan akurasi, model orde dua memiliki keunggulan nyata.

Keterbatasan yang ditemukan pada penelitian ini adalah bahwa simulasi hanya dilakukan dalam kondisi ideal tanpa mempertimbangkan faktor eksternal seperti fluktuasi tegangan, pengaruh suhu, atau beban dinamis.

Namun demikian, dalam konteks simulasi berbasis parameter dataset, model orde dua telah membuktikan performa yang lebih unggul. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa model orde dua dapat diandalkan sebagai dasar untuk perancangan kontrol berbasis model, terutama dalam aplikasi yang memerlukan respons cepat dan akurat seperti robotika, sistem servo, dan aktuator medis.

B. Matriks Kekeliruan

Untuk mengevaluasi performa model dari sisi klasifikasi dinamika sistem, dilakukan analisis terhadap kemampuan kedua model dalam mencapai nilai *steady state* dengan presisi tinggi. Dengan menetapkan batas toleransi $\pm 5\%$ dari nilai akhir referensi sebagai ambang keberhasilan, didapatkan bahwa model orde dua secara konsisten memberikan hasil yang lebih akurat. Akurasi klasifikasi respon *steady state* pada model orde dua mencapai lebih dari 95%, sedangkan model orde satu hanya berada pada kisaran 88–90%.

Kesalahan klasifikasi pada model orde satu terutama disebabkan oleh keterlambatan sistem dalam mencapai kondisi tunak dan deviasi akhir yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun responnya stabil, model orde satu kurang responsif terhadap dinamika input yang cepat. Sebaliknya, model orde dua, meskipun mengalami sedikit *overshoot*, justru menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap transien sistem dan mampu dengan cepat mencapai serta mempertahankan nilai *steady state*.

Analisis ini memperjelas bahwa dalam konteks sistem kontrol presisi, kekeliruan prediksi atau error dapat diminimalkan secara signifikan dengan menggunakan model orde dua. Dengan hasil *steady state error* yang jauh lebih kecil dan waktu pencapaian respon yang lebih singkat, model ini layak digunakan dalam sistem prediksi maupun sebagai dasar simulasi sistem tertutup.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematis motor DC Maxon DCX 35 L dalam bentuk fungsi alih orde satu dan orde dua yang mampu merepresentasikan karakteristik dinamis sistem untuk keperluan sistem kontrol presisi. Fungsi alih diperoleh berdasarkan parameter teknis dari datasheet resmi motor, lalu dianalisis melalui simulasi untuk mengevaluasi waktu respon, *overshoot*, dan *error steady state*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model orde dua memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan model orde satu, dengan waktu naik yang lebih cepat (0,048 s), waktu tunak lebih singkat (0,115 s), serta *error steady state* yang lebih kecil (0,38%). Sementara itu, model orde satu, meskipun stabil dan tanpa *overshoot*, menunjukkan respon yang lebih lambat dan *error steady state* yang lebih besar (1,12%). Hal ini menegaskan bahwa model orde dua lebih representatif dalam menggambarkan

dinamika elektromekanis motor dan lebih sesuai dijadikan acuan dalam desain sistem kendali presisi.

Temuan tambahan dari penelitian ini menunjukkan bahwa model orde dua juga lebih andal dalam mempertahankan presisi terhadap variasi kecil parameter sistem. Selain itu, simulasi menggunakan ambang klasifikasi *steady state* $\pm 5\%$ menunjukkan bahwa model orde dua mampu mencapai akurasi prediksi di atas 95%, sementara model orde satu hanya mencapai sekitar 88–90%.

Sebagai arah pengembangan ke depan, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada proses identifikasi parameter aktual motor melalui eksperimen langsung, serta pengujian performa model dalam lingkungan sistem tertutup (closed-loop). Selain itu, pengaruh faktor eksternal seperti perubahan suhu, variasi beban, dan efek nonlinier lainnya juga dapat dimasukkan ke dalam pemodelan untuk memperkaya representasi dinamis sistem secara nyata.

REFERENSI

- M. Fazdi and P.-W. Hsueh, "Parameters Identification of a Permanent Magnet DC Motor: A Review," *Electronics*, vol. 12, no. 12, art. 2559, Dec. 2023.
- Y. Zhang, C. Zhao, B. Dai, and Z. Li, "Dynamic Simulation of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) Electric Vehicle Based on Simulink," *Energies*, vol. 15, art. 1134, Feb. 2022.
- B. Ale, "Modeling and Performance Analysis of an In-wheel Permanent Magnet Brushless DC (PM BLDC) Motor in MATLAB," *Appl. Model. Simul.*, vol. 6, pp. 150–157, 2022.
- R. G. and K. Sebastian (Sebasthirani), "Modeling and Control of Permanent Magnet Synchronous Motor—Based Electric Vehicle," *J. Control*, 2025.
- 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 Muhammad 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. "Optimazion 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).
- G. Á. Szíki _et al._, "Dynamics simulation of a prototype race car driven by series wound DC motor in MATLAB Simulink," *Acta Polytech. Hung.*, vol. 17, pp. 103–122, 2020.
- E. Arévalo _et al._, "On modelling and state estimation of DC motors," *Actuators*, vol. 14, no. 4, art. 160, Apr. 2025.
- I. Anshory _et al._, "Identification parameter system for mathematical modeling BLDC motor using transfer function models," **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.**, vol. 821, art. 012023, 2020.
- E. Arévalo _et al._, "High Accuracy Modeling of Permanent Magnet Synchronous Motors Using Finite Element Analysis," *Math.*, vol. 10, no. 20, art. 3880, 2022.
- F. Liu _et al._, "Characterization of Permanent Magnet Synchronous Machines based on semi-analytic model reduction for drive cycle analysis," **arXiv preprint**, 2025.

BIOGRAFI PENULIS

Mohamad Sufyan Tegar Pratama merupakan mahasiswa aktif Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Ketertarikannya terhadap bidang kelistrikan telah tumbuh sejak duduk di bangku SMK dengan jurusan kelistrikan, yang kemudian mengantarkannya untuk melanjutkan

studi di jenjang pendidikan vokasi. Selama masa studi, penulis aktif mengembangkan kemampuan teknis dan aplikatif dalam bidang kelistrikan, baik melalui praktikum, proyek lapangan, maupun pengalaman langsung di dunia industri. Penulis memiliki minat yang kuat terhadap dunia praktisi kelistrikan, khususnya dalam bidang otomasi sistem kelistrikan, dan menjadikan bidang ini sebagai fokus utama dalam pengembangan akademik dan profesional ke depan.