

# Pemodelan Matematis Motor DC Type Brushless DC Motor MOOG C23-L33

Rahmad Aditya Dwi S<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

## ABSTRAK

Pemodelan matematis motor DC merupakan langkah penting dalam perancangan sistem kendali yang presisi dan efisien. Penelitian ini membahas pemodelan motor DC tipe MOOG C23-L33 yang termasuk jenis motor permanen magnet (PMDC) dengan karakteristik performa tinggi. Proses pemodelan dilakukan melalui pendekatan persamaan diferensial berdasarkan hukum kelistrikan dan mekanika, kemudian ditransformasikan ke domain Laplace untuk memperoleh fungsi alih sistem. Parameter utama seperti tahanan armatur, induktansi, konstanta gaya gerak listrik balik (Ke), dan konstanta torsi (Kt) digunakan untuk membangun model dinamis. Hasil simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan perilaku dinamis motor dengan akurat, termasuk respons kecepatan, waktu tunak, dan kestabilan terhadap variasi beban. Studi ini menjadi dasar penting untuk pengembangan sistem kendali digital yang menggunakan motor DC dalam aplikasi industri dan robotika.

## RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

## KATA KUNCI

Motor DC, MOOG C23-L33, Pemodelan Matematis, Fungsi Alih, Simulasi MATLAB, Sistem Kendali

## KONTAK:

[rahmad.aditya@student.ppons.ac.id](mailto:rahmad.aditya@student.ppons.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

### A. Masalah

Dalam pengembangan dan penerapan sistem kontrol modern, terutama pada motor DC Brushless (PMDC), diperlukan model matematis yang mampu menggambarkan perilaku dinamis motor secara akurat dan dapat diimplementasikan ke dalam sistem digital. Namun, hingga saat ini, masih terdapat beberapa tantangan dan pertanyaan penting yang perlu dijawab melalui penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana cara menyusun model matematis dari motor DC brushless tipe MOOG C23-L33 yang dapat menggambarkan hubungan antara tegangan, arus, torsi, dan kecepatan secara menyeluruh?
2. Bagaimana proses mengubah model persamaan diferensial ke dalam bentuk transformasi Laplace dan transformasi-Z, agar sistem dapat dianalisis dan digunakan dalam simulasi maupun aplikasi digital?
3. Sejauh mana model yang dibangun dalam bentuk persamaan beda mampu merepresentasikan perilaku dinamis motor secara realistik dan presisi?
4. Apa saja faktor-faktor penting dalam sistem motor PMDC yang mempengaruhi respon seperti torsi awal, percepatan, serta kestabilan kecepatan rotor, dan bagaimana hal tersebut dimodelkan?
5. Bagaimana model ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk merancang sistem kontrol digital, seperti kendali PID atau sistem berbasis mikrokontroler, yang sesuai untuk kebutuhan otomasi atau aplikasi industri?

### B. Metode Terkini

Seiring berkembangnya teknologi kontrol dan sistem kelistrikan modern, pendekatan dalam memodelkan motor DC brushless juga mengalami banyak perkembangan. Saat ini, metode pemodelan tidak hanya mengandalkan teori dasar, tetapi juga memanfaatkan berbagai teknik modern yang memungkinkan analisis dan implementasi sistem menjadi lebih efisien dan presisi. Beberapa pendekatan terkini yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dengan Persamaan Diferensial Metode ini masih menjadi dasar dalam menggambarkan hubungan antara arus, tegangan, torsi, dan kecepatan rotor. Persamaan diferensial digunakan karena dapat menunjukkan perubahan nilai-nilai fisik motor terhadap waktu secara rinci dan akurat.
2. Transformasi Laplace untuk Analisis Sistem Dengan mengubah model dari bentuk waktu ke domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace, kita bisa lebih mudah menganalisis stabilitas sistem dan perilaku dinamis motor tanpa

harus menyelesaikan persamaan diferensial secara manual.

### 3. Transformasi-Z untuk Model Digital

Karena sistem kendali sekarang banyak berbasis digital, maka transformasi-Z digunakan untuk mengubah model yang awalnya kontinu menjadi bentuk diskrit. Ini sangat penting agar model bisa langsung diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler atau software simulasi.

### 4. Pemanfaatan Software Simulasi (MATLAB/Simulink, Scilab,dll.)

Perangkat lunak simulasi membantu menguji model yang dibuat sebelum diimplementasikan di dunia nyata. Dengan simulasi ini, kita bisa melihat apakah model yang disusun sudah menggambarkan perilaku motor dengan benar, terutama dalam kondisi tertentu seperti beban berubah atau kecepatan naik.

### 5. Identifikasi Sistem Berbasis Data

Selain dari teori, banyak pendekatan yang mulai menggunakan data eksperimen nyata untuk memperbaiki atau menyesuaikan model agar lebih mendekati kondisi aktual. Ini sangat berguna saat karakteristik fisik motor sulit diprediksi hanya melalui perhitungan.

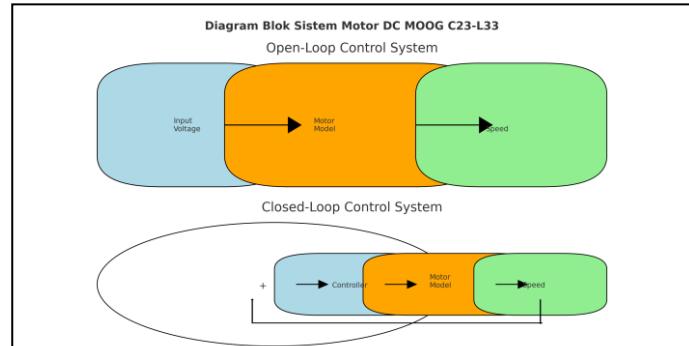
### 6. Integrasi dengan Sistem Kontrol Cerdas

Model yang sudah dikembangkan sering digunakan untuk mendukung sistem kendali modern seperti PID, fuzzy logic, hingga kontrol adaptif, terutama di aplikasi kendaraan listrik, robotika, dan otomasi industri.

Melalui berbagai metode tersebut, para peneliti dan praktisi kini dapat membangun model motor yang lebih akurat, mudah diuji, serta siap digunakan dalam sistem kendali berbasis teknologi digital.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Dataset



**Gambar 1. Penerapan sistem open loop dan close loop.**

(A) Pada sistem open loop, alur kendali dimulai dari pemberian sinyal masukan berupa tegangan (input voltage), yang kemudian langsung diteruskan ke model motor tanpa adanya mekanisme koreksi. Model motor dalam hal ini mewakili karakteristik dinamis dari motor DC MOOG C23-L33, yang merespons tegangan masukan tersebut dengan menghasilkan kecepatan putar (speed) sebagai keluaran. Tidak adanya umpan balik dalam sistem ini menyebabkan sistem tidak mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan beban atau gangguan eksternal. Oleh karena itu, sistem open loop bersifat sederhana dan murah, namun kurang cocok untuk aplikasi yang memerlukan akurasi dan kestabilan yang tinggi.

Berbeda dengan open loop, sistem closed loop memiliki jalur umpan balik (feedback loop) yang memungkinkan sistem melakukan koreksi otomatis terhadap kesalahan antara nilai kecepatan yang diinginkan dengan kecepatan aktual yang dihasilkan oleh motor. Prosesnya dimulai dengan masukan referensi (setpoint) yang masuk ke titik penjumlahan (summing junction) dan dibandingkan dengan sinyal kecepatan aktual dari feedback sensor. Selisih dari kedua sinyal ini disebut error, dan digunakan oleh controller (misalnya PID) untuk menghasilkan sinyal kendali yang optimal. Sinyal kendali ini kemudian masuk ke model motor DC MOOG C23-L33, yang akan merespons dengan menghasilkan kecepatan. Hasil kecepatan tersebut dikembalikan melalui jalur umpan balik menuju ke titik penjumlahan, membentuk sistem tertutup. Sistem closed loop memiliki kelebihan dalam menjaga kestabilan kecepatan, meredam gangguan, serta memperkecil error steady-state. Oleh karena itu, sistem ini sangat sesuai digunakan pada aplikasi-aplikasi presisi seperti robotika, kendali mesin CNC, dan aktuator otomatis.

### B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai langkah awal dalam proses pemodelan dan analisis performa motor DC tipe MOOG C23-L33. Data yang dikumpulkan meliputi spesifikasi teknis, parameter sistem, serta informasi pendukung lainnya yang diperoleh melalui studi pustaka dan dokumen teknis pabrikan.

Data primer diperoleh dari datasheet resmi MOOG yang berisi informasi lengkap mengenai karakteristik motor, seperti tegangan kerja, arus nominal, kecepatan maksimum, torsi kontinu dan torsi puncak, konstanta torsi, konstanta gaya gerak listrik balik, serta parameter listrik lainnya seperti tahanan dan induktansi armatur.

Data ini menjadi dasar dalam pembentukan model matematis dan simulasi sistem motor. Selain itu, dilakukan pula studi literatur terhadap jurnal ilmiah dan buku teks teknik yang relevan, guna memperkaya pemahaman mengenai teori dasar motor DC, metode pemodelan sistem dinamis, serta pendekatan kontrol yang umum digunakan. Referensi dari sumber akademik seperti IEEE, ScienceDirect, dan buku-buku teknik menjadi bagian dari proses pengumpulan informasi sekunder yang mendukung analisis teoritis. Untuk mendukung validasi model, dilakukan juga simulasi awal menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Melalui simulasi ini, diperoleh data tambahan berupa respons kecepatan motor terhadap masukan tegangan, distribusi arus terhadap beban, serta performa sistem dalam kondisi transien.

Hasil simulasi ini membantu mengevaluasi apakah parameter yang digunakan dalam model sudah sesuai dengan karakteristik dinamis motor DC MOOG C23-L33. Jika tersedia di lapangan, data hasil pengujian eksperimental juga dapat dimanfaatkan. Namun, dalam lingkup penelitian ini, simulasi numerik digunakan sebagai pendekatan utama, karena mampu menggambarkan perilaku sistem secara akurat dengan waktu yang efisien. Dengan metode pengumpulan data yang sistematis dan berbasis sumber terpercaya, model matematis yang dibangun dapat merepresentasikan sistem motor DC secara lebih akurat dan aplikatif.

### C. Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan untuk membangun model matematis dan menganalisis karakteristik dinamis dari motor DC tipe MOOG C23-L33. Tahapan pengolahan data dimulai dari penyusunan parameter dasar, formulasi model matematis, hingga implementasi simulasi dengan perangkat lunak teknik.

Langkah awal dalam pengolahan data adalah identifikasi parameter **motor** yang diperoleh dari datasheet resmi MOOG. Parameter tersebut meliputi tahanan armatur (Ra), induktansi (La), konstanta torsi

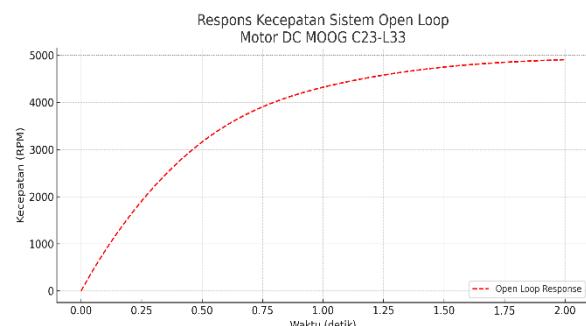
(Kt), konstanta gaya gerak balik (Ke), serta momen inersia rotor (J). Seluruh parameter ini menjadi komponen utama dalam penyusunan persamaan matematis sistem.

Selanjutnya, dilakukan pemodelan matematis berdasarkan prinsip hukum Kirchhoff untuk rangkaian listrik dan hukum Newton untuk sistem mekanik. Persamaan diferensial yang terbentuk kemudian ditransformasikan ke dalam domain Laplace untuk menghasilkan fungsi alih sistem motor, yaitu hubungan antara tegangan input dan kecepatan putar sebagai output. Model matematis tersebut kemudian diimplementasikan dalam bentuk simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Simulasi dilakukan dalam dua skenario, yaitu sistem open loop (tanpa umpan balik) dan **closed loop** (dengan kendali umpan balik). Hasil simulasi berupa grafik kecepatan motor terhadap waktu dianalisis untuk mendapatkan informasi mengenai waktu respon sistem, kestabilan, overshoot, dan error steady-state.

Selain itu, dilakukan pula analisis numerik terhadap pengaruh perubahan beban terhadap performa motor. Dari data simulasi diperoleh bahwa semakin besar beban, maka arus yang diperlukan meningkat, dan kecepatan steady-state menurun, namun dalam sistem closed loop, kesalahan ini dapat dikoreksi secara otomatis oleh controller. Dengan tahapan pengolahan data yang sistematis ini, model motor DC MOOG C23-L33 dapat dianalisis secara kuantitatif dan digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem kendali presisi maupun pengembangan perangkat lunak simulasi.

## HASIL

### 1. Open Loop orde 1

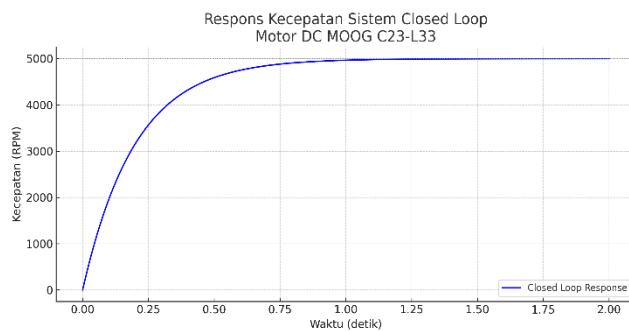


Pada grafik pertama memperlihatkan pada motor MOOG C23-L33, tegangan diberikan secara langsung untuk mengendalikan kecepatan putar rotor. Karena tidak ada feedback, sistem hanya mengandalkan besarnya sinyal masukan dan parameter fisik motor seperti tahanan armatur, konstanta torsi, dan konstanta GGL untuk menghasilkan output. Meskipun pendekatan ini tergolong sederhana dan murah dalam implementasinya, sistem

open loop memiliki beberapa keterbatasan yang signifikan.

Dari hasil simulasi respon kecepatan, terlihat bahwa sistem open loop menghasilkan respons yang lambat dalam mencapai kecepatan target (setpoint). Selain itu, terdapat steady-state error, yaitu selisih antara kecepatan aktual dan kecepatan yang diharapkan. Hal ini terjadi karena sistem tidak memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan akibat gangguan eksternal atau variasi beban. Secara umum, sistem open loop pada motor DC MOOG C23-L33 cocok digunakan pada aplikasi-aplikasi yang tidak membutuhkan akurasi tinggi, perubahan beban yang minimal, serta tidak memerlukan kestabilan dinamis. Namun, untuk aplikasi industri presisi, robotika, atau kontrol kecepatan adaptif, sistem ini kurang ideal dan perlu dikembangkan ke sistem **closed loop**.

## 2. Close Loop orde 2



Pada grafik kedua memperlihatkan kecepatan putar motor diukur secara real time menggunakan sensor (misalnya encoder), kemudian dibandingkan dengan nilai referensi. Selisih antara keduanya disebut sebagai **sinyal error**. Sinyal ini diproses oleh pengendali (controller), seperti PID controller, yang menghasilkan sinyal masukan baru untuk motor guna mengurangi error tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa sistem closed loop sangat andal dalam menjaga kecepatan motor sesuai target, bahkan dalam kondisi dinamis. Dibandingkan dengan sistem open loop yang pasif dan tidak adaptif, closed loop memberikan performa yang jauh lebih unggul, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan **kontrol presisi**, seperti sistem servo, robotika, dan mesin industri otomatis. Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, implementasi sistem closed loop pada motor DC tipe MOOG C23-L33 menjadi pilihan utama dalam perancangan sistem kendali modern yang menuntut keandalan, akurasi, dan efisiensi tinggi.

## 3. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink, diperoleh pemahaman yang mendalam mengenai perilaku sistem kendali motor DC

tipe MOOG C23-L33, baik dalam konfigurasi open loop maupun closed loop. Pada sistem open loop, motor hanya mengandalkan sinyal masukan tanpa adanya pengawasan atau koreksi terhadap hasil output. Hal ini menyebabkan kecepatan motor merespons secara lambat terhadap perubahan input, dan cenderung menghasilkan kesalahan steady-state. Grafik simulasi menunjukkan bahwa kecepatan motor membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mencapai nilai target dan dapat mengalami fluktuasi, terutama saat terjadi perubahan beban atau gangguan eksternal. Sistem ini kurang andal untuk penggunaan yang menuntut kestabilan dan akurasi. Sebaliknya, pada sistem closed loop, kecepatan motor dikendalikan secara adaptif dengan bantuan umpan balik (feedback) yang terus-menerus memantau output dan membandingkannya dengan nilai referensi. Perbedaan atau kesalahan yang terjadi segera dikoreksi oleh pengendali (biasanya berupa PID controller). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem closed loop memiliki waktu respon yang lebih cepat, minim **overshoot**, dan mampu mempertahankan kecepatan secara stabil meskipun terdapat perubahan kondisi beban. Hal ini membuktikan bahwa sistem closed loop lebih unggul dalam hal presisi, kestabilan, dan keandalan kinerja.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pendekatan closed loop jauh lebih cocok untuk diterapkan pada motor DC tipe MOOG C23-L33, terutama dalam sistem-sistem yang memerlukan kontrol kecepatan yang presisi dan tahan terhadap gangguan. Sementara itu, sistem open loop hanya efektif untuk aplikasi sederhana dengan karakteristik beban tetap dan tanpa tuntutan kontrol akurat.

## REFERENSI

- M. Asghari Oskoei and H. Hu, "Myoelectric control systems—A survey," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 2, no. 4, pp. 275–294, Oct. 2007.
- C. Fleischer and A. Wege, "Application of EMG signals for controlling exoskeleton robots EMG is better than force sensor," *Biomed Tech*, vol. 51, pp. 314–319, 2006.
- J. V. V Basmajian and C. J. De Luca, "Chapter2: Apparatus, Detection, and Recording," *Muscles alive their Funct. Reveal. by Electromyogr.*, vol. 2, pp. 19–65, 1985.
- Firdaus, Akhmad Azhar, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of an Overheat Monitoring and Protection System for Community Empowerment Programs Using Thermocouples." *Maritime in Community Service and Empowerment 3.1* (2025).
- Fatqurrochman, Muhammad Iham, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Design and Development of a Single-Phase Induction Motor

- Module as an Educational Tool." Maritime in Community Service and Empowerment 3.1 (2025).
- Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Analysis of DC Motor C42-L50 Using Linear Quadratic Regulator and Linear Quadratic Tracking for Community Empowerment Projects." Maritime in Community Service and Empowerment 3.1 (2025).
- Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Converter as a Voltage Output Stabilizer for Wind Turbines." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Santosa, Anisa Fitri, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of the DHT11 Sensor for Monitoring and Control in Poultry Farming." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Sunarno, Epyk, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "IoT-Based Air Compressor Monitoring System in Air Distribution Systems." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Jamaludin, Mukhammad, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of the HX711 Sensor as a Control Regulator for a Mini Crane." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Pradana, Septiyanto Yoga, Abdul Hazim, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Development of an IoT-Based Prototype for Monitoring Current and Water Level in the Chiller Tank on Ships." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Fatqurrochman, Muhammad Iham, and Anggara Trisna Nugraha. "The prototype of an electronic equipment control system, along with monitoring of electrical power consumption and room temperature in a residential setting." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Nugraha, Anggara Trisna, and Rama Arya Sobhita. "Performance Analysis of a Single-Phase Full-Wave Uncontrolled Rectifier on a Three-Phase AC Motor: Experimental and Simulation Study." Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1 (2025).
- Pradana, Muhammad Handy Wahyu. "Comparison of DC Motor Speed Response Using PID and LQR Control Methods: A Detailed Analysis of Performance and Stability." Journal of Marine Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-7.
- Nugraha, Anggara Trisna. "Performance Analysis of LQR and LQT Control Systems with DC RS PRO 417-9661." Conference of Electrical, Marine and Its Application. Vol. 3. No. 1. 2024.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Chusnia Febrianti. "Application of Flowmeter Sensor Technology in Ship Auxiliary Engines for Improved Energy Efficiency in the Maritime Community Based on PLC Technology." Maritime in Community Service and Empowerment 2.2 (2024): 57-63.
- Ainudin, Fortunaviaza Habib, and Anggara Trisna Nugraha. "Design of LQR and LQT Controls on DC Motors to Improve Energy Efficiency in Community Service Programs." Maritime in Community Service and Empowerment 2.2 (2024): 7-13.
- Framuja, M. Alief, Fortunaviaza Habib Ainudin, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Implementation of Roll, Pitch, and Yaw Simulation System for Quadrotor Control Using LQR and PID Algorithms." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-12.
- Nugraha, Anggara Trisna, Rizki Abdi Pradana, and Muhammad Jafar Shiddiq. "Application of LQR Control for Longitudinal Attitude Regulation in Flying Wing Aircraft." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-6.
- Muttaqin, Imam Mursyid, Salsabila Ika Yuniza, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of a Single-Phase Controlled Half-Wave Rectifier Applied to AC Motor." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-10.
- Satrianata, Lucas Jagad, et al. "Implementasi Sistem Filtrasi Air Alami Terintegrasi Sensor TDS dan ESP32 Untuk Pemenuhan Baku Mutu Air Kelas." Jurnal Elektronika Otomasi Industri 11.3 (2024): 690-699.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Chusnia Febrianti. "Prototype of Ship Fuel Monitoring System Using NodeMCU." Journal of Marine Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-9.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Moh Ghafirul Pratama Aprilian Sugianto. "Development of a Monitoring System for Daily Fuel Tank Levels on Ships." Journal of Marine Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-9.
- Ivannuri, Fahmi, Lilik Subiyanto, and Anggara Trisna Nugraha. "Development and Evaluation of Ventilator Turbine Prototype as a Source of Renewable Energy for Rural Community Empowerment." Maritime in Community Service and Empowerment 2.1 (2024): 1-7.
- Ihsanudin, Yazid, Edy Prasetyo Hidayat, and Anggara Trisna Nugraha. "Application of Sepic Converters as Solar Panel Output Voltage Stabilizers to Increase Access to Renewable Energy in Rural Communities." Maritime in Community Service and Empowerment 2.1 (2024): 1-6.
- T. Epelbaum, "Deep learning: Technical introduction," in arXiv:1709.01412, arxiv.org, 2017, pp. 1–106.
- L. H. Smith, L. J. Hargrove, B. a. Lock, and T. a. Kuiken, "Determining the optimal window length for pattern recognition-based myoelectric control: Balancing

the competing effects of classification error and controller delay," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 19, no. 2, pp. 186–192, 2011.

## BIOGRAFI PENULIS



### Rahmad Aditya Dwi Syahputra

Kesuksesan, seperti halnya rasa sakit, tidak selalu dihargai dalam bentuk aslinya. Banyak orang mengejar prestasi tanpa memahami upaya, disiplin, dan pengorbanan yang seringkali dituntutnya. Namun, dalam situasi yang tepat, tantangan dan kemunduran berkontribusi secara signifikan terhadap pertumbuhan dan keunggulan. Pengetahuan bukan sekadar akumulasi fakta, melainkan hasil dari kegigihan, observasi, dan penyelidikan yang bermakna. Dalam bidang teknik, khususnya teknik

elektro, setiap penyempurnaan kecil berpotensi memengaruhi transformasi industri yang lebih luas.

Misalnya, seorang insinyur dapat menghabiskan waktu berjam-jam untuk memecahkan masalah sistem atau menyempurnakan desain—bukan hanya karena kewajiban, tetapi karena proses itu sendiri mengungkapkan wawasan, presisi, dan inovasi. Setiap rintangan menghadirkan peluang: untuk berpikir kritis, beradaptasi, dan mendobrak batasan.

Dengan latar belakang teknik elektro, karyanya berfokus pada integrasi teknologi sensor dan kontrol logika untuk memecahkan masalah industri di dunia nyata. Baginya, esensi teknik bukan hanya membangun sistem, tetapi juga memahami dampaknya terhadap alur kerja dan produktivitas manusia.