

Pemodelan dan Simulasi Sistem Kontrol Motor DC Maxon EC 45 dan Motor AC 1 Phasa ABB BSM50N-233 Menggunakan MATLAB/Simulink Berbasis Fungsi Alih Orde Satu dan Orde Dua

Yovi Wahyu Prastiyo¹

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

ABSTRAK

Pemodelan dan simulasi sistem motor listrik, khususnya motor DC dan AC satu fasa, merupakan langkah krusial dalam merancang sistem kendali yang presisi dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model matematis dari dua jenis motor listrik, yakni Motor DC Maxon EC 45 Flat 402685 dan Motor AC satu fasa ABB BSM50N-233, serta melakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink untuk menganalisis performa sistem kendali dalam berbagai konfigurasi. Model matematis dikembangkan berdasarkan parameter teknik dari datasheet masing-masing motor, dengan pendekatan fungsi alih hasil transformasi Laplace dari sistem diferensial yang mencakup aspek kelistrikan dan mekanik. Selanjutnya, simulasi dilakukan dalam dua mode kendali: open-loop dan closed-loop, serta dalam dua pendekatan orde model, yakni orde satu dan orde dua. Hasil simulasi dianalisis berdasarkan parameter performa sistem seperti rise time, settling time, overshoot, dan steady-state error. Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi closed-loop dengan model orde dua menunjukkan performa terbaik, baik dari segi kestabilan, waktu respon, maupun akurasi output. Sistem open-loop cenderung memiliki respon yang lebih cepat tetapi tidak stabil dan menunjukkan kesalahan steady-state yang besar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan model matematis berbasis fungsi alih dan simulasi MATLAB/Simulink sangat efektif dalam merancang dan mengevaluasi sistem kendali motor. Metodologi ini relevan untuk diterapkan dalam pengembangan sistem kontrol pada berbagai aplikasi seperti otomasi industri, robotika, dan kendaraan listrik. Ke depan, penelitian dapat diperluas dengan integrasi sistem kendali cerdas serta validasi eksperimental untuk meningkatkan keandalan model.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI

MATLAB/Simulink, Motor DC Maxon EC 45, Motor AC 1 Phasa ABB BSM50N-233, Fungsi Alih, Open-loop, Closed-loop, Orde Dua.

KONTAK:

yoviwahyu30@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan salah satu komponen utama dalam dunia teknik elektro dan sistem otomasi industri. Penggunaan motor listrik seperti motor DC dan motor AC satu fasa sangat luas karena kemampuannya dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik secara efisien. Motor-motor ini diaplikasikan dalam berbagai sistem, mulai dari robotika, conveyor industri, kendaraan listrik, hingga peralatan rumah tangga. Untuk dapat mengendalikan sistem motor secara optimal, dibutuhkan pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik dinamis motor dan metode pengendaliannya. Salah satu

pendekatan yang digunakan adalah melalui pemodelan matematis dan simulasi numerik.

Pemodelan matematis sistem motor menjadi krusial untuk memahami bagaimana input (seperti tegangan) memengaruhi output (seperti kecepatan atau torsi). Pemodelan ini memungkinkan perancang sistem untuk melakukan analisis, prediksi, serta pengembangan sistem kendali tanpa harus langsung menguji pada perangkat keras, yang seringkali mahal dan berisiko. Dalam konteks teknik kontrol, fungsi alih merupakan salah satu representasi matematis penting yang digunakan untuk menggambarkan hubungan input-output

dalam domain frekuensi. Fungsi alih dapat diperoleh dari persamaan diferensial sistem melalui transformasi Laplace, dan menjadi dasar dalam perancangan kontrol PID, kontrol adaptif, maupun metode canggih lainnya (Ogata, 2010).

Perangkat lunak MATLAB dan tool Simulink telah menjadi standar industri dalam pemodelan dan simulasi sistem dinamis. MATLAB/Simulink menawarkan kemampuan membangun blok diagram sistem, mengatur parameter, serta melakukan simulasi numerik secara akurat dan efisien. Berbagai studi sebelumnya membuktikan efektivitas MATLAB/Simulink dalam simulasi sistem kontrol motor. Seperti yang ditunjukkan oleh Prasetyo et al. (2020), simulasi berbasis MATLAB memungkinkan validasi model matematis motor secara cepat dan akurat sebelum proses implementasi kontrol fisik dilakukan.

Motor DC Maxon EC 45 flat dan motor AC satu fasa ABB BSM50N-233 dipilih dalam penelitian ini karena keduanya merepresentasikan jenis motor yang umum digunakan dan memiliki dokumentasi parameter yang lengkap. Motor DC Maxon EC 45 dikenal efisien, kompak, dan sangat cocok untuk aplikasi robotik, sementara motor AC

ABB BSM50N-233 digunakan luas dalam penggerak peralatan industri ringan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menyusun model matematis kedua motor tersebut dalam bentuk fungsi alih orde satu dan orde dua. Selanjutnya, dilakukan simulasi sistem kontrol dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop menggunakan MATLAB/Simulink. Fokus utama terletak pada evaluasi karakteristik respons waktu seperti rise time, settling time, dan steady-state error. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman lebih baik mengenai kinerja dan kestabilan sistem kendali motor berdasarkan model matematisnya.

2. METODE PENELITIAN

A. Parameter Motor

Motor DC Maxon EC 45 Flat memiliki spesifikasi: tegangan nominal 30V, resistansi 1.16 ohm, induktansi 0.691 mH, konstanta torsi 0.0451 Nm/A, dan kecepatan tanpa beban 6230 rpm. Sedangkan motor AC satu fasa ABB BSM50N-233 memiliki tegangan nominal 300V, resistansi 4 ohm, induktansi 63.5 mH, konstanta torsi 0.36 Nm/A, dan inersia rotor 0.00011 kg.m².

Tabel 1. Parameter penting yang digunakan

Parameter	Maxon EC 45 flat	ABB BSM50N-233
Tegangan Nominal (V)	30V	300 V
No-load Speed (rpm)	6230	7500
Terminal Resistance (R)	1.16 Ω	4 Ω

Induktansi Terminal (L)	0.691 mH	0.0635 H
Torque Constant (Kt)	0.0451 Nm/A	0.36 Nm/A
Back EMF Constant (Ke)	0.0451 V/rad/s	0.36 V/rad/s
Momen Inersia (J)	Dihitung	0.00011 kg·m ²

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui proses simulasi numerik menggunakan MATLAB/Simulink. Sebelumnya, model diferensial dari motor ditransformasikan ke domain *s* menggunakan transformasi Laplace untuk memperoleh fungsi alih sistem. Fungsi alih ini kemudian dimanfaatkan untuk membangun blok diagram dalam Simulink yang merepresentasikan sistem dalam konfigurasi *open-loop* dan *closed-loop*.

Simulasi dilaksanakan dengan mempertimbangkan dua pendekatan orde sistem, yakni orde satu dan orde dua, untuk masing-masing jenis motor. Input yang digunakan berupa sinyal tangga (*step input*) guna mengevaluasi respons sistem dalam domain waktu. Hasil simulasi berupa kurva respons kecepatan sudut terhadap waktu yang merefleksikan perilaku sistem kendali, baik tanpa umpan balik (*open-loop*) maupun dengan implementasi sistem umpan balik (*closed-loop*). Data hasil simulasi kemudian didokumentasikan dalam bentuk grafik dan numerik untuk dianalisis lebih lanjut pada tiap konfigurasi.

Fungsi alih orde satu dan orde dua dari masing-masing motor diperoleh melalui penerapan transformasi Laplace terhadap persamaan dinamis sistem.

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Untuk motor DC orde 2 (dengan efek induktansi dan momen inersia):

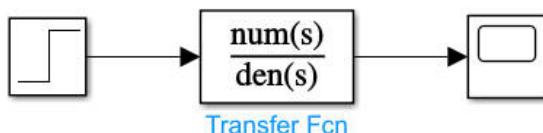
$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{Js^2bs + K_eK_t}$$

Model blok di Simulink menggunakan step input (tegangan), lalu mengamati respons kecepatan atau posisi sudut terhadap waktu.

Simulasi dilakukan untuk dua skenario utama yaitu Open-loop tanpa pengendali umpan balik dan Closed-loop menggunakan kontrol PID.

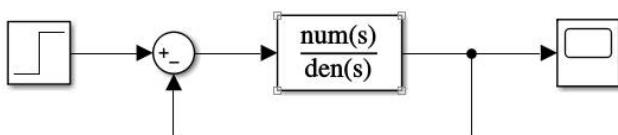
C. Simulasi MATLAB/Simulink

Open loop



Sistem kontrol yang ditampilkan pertama kali merupakan sistem loop terbuka (*open loop*), di mana sinyal masukan diberikan langsung ke dalam sistem tanpa ada proses umpan balik dari keluaran. Input yang biasanya berupa sinyal tangga dikirimkan ke blok fungsi alih, yang merepresentasikan dinamika sistem dalam bentuk rasio antara pembilang dan penyebut dalam domain Laplace, yaitu $num(s)/den(s)$. Hasil keluaran dari blok ini kemudian langsung ditampilkan melalui tampilan grafis seperti scope, tanpa adanya evaluasi ulang terhadap kesesuaian antara input dan output. Dalam konfigurasi seperti ini, sistem tidak mampu mendeteksi kesalahan atau perubahan kondisi lingkungan karena tidak memiliki mekanisme untuk membandingkan output terhadap referensi awal. Oleh karena itu, sistem loop terbuka cenderung lebih sederhana, tetapi kurang akurat dan tidak adaptif terhadap gangguan atau ketidaksesuaian hasil.

Close loop



Sistem kontrol loop tertutup (closed-loop control system) merupakan jenis sistem kendali yang menggunakan prinsip umpan balik (feedback) untuk mengatur output secara otomatis. Dalam sistem ini, sinyal masukan (input) yang berupa nilai referensi tidak langsung diberikan kepada sistem, melainkan terlebih dahulu dibandingkan dengan sinyal keluaran aktual melalui proses komparasi. Hasil dari proses pembandingan ini menghasilkan sinyal kesalahan (error signal), yaitu selisih antara nilai yang diharapkan dan nilai yang dihasilkan oleh sistem. Sinyal kesalahan tersebut kemudian dikirim ke pengendali untuk diproses dan menghasilkan aksi kontrol yang sesuai. Tujuan utama dari sistem ini adalah meminimalkan error sehingga output sistem dapat mengikuti input referensi secara tepat.

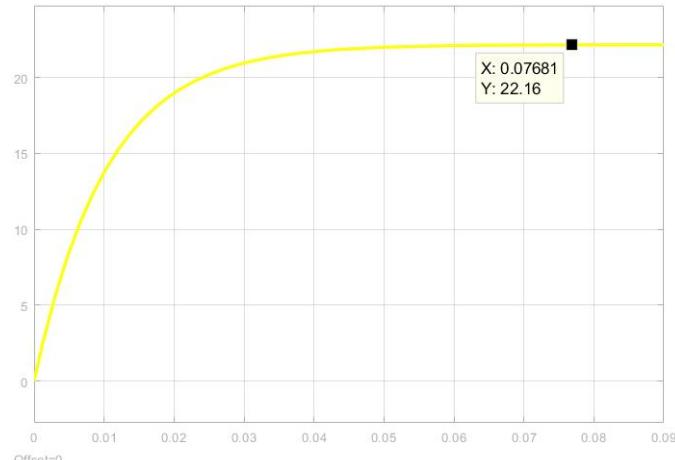
Salah satu keunggulan utama dari sistem loop tertutup adalah kemampuannya dalam mengoreksi kinerjanya secara otomatis. Sistem ini secara aktif menyesuaikan aksi kontrol berdasarkan perbedaan yang terjadi antara output aktual dan nilai referensi, sehingga lebih mampu menjaga kestabilan dan akurasi meskipun terdapat gangguan eksternal atau perubahan kondisi beban. Selain itu, sistem loop tertutup juga memiliki sifat adaptif, yaitu mampu menyesuaikan diri terhadap dinamika lingkungan secara real-time, menjadikannya sangat andal untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.

Contoh penerapan sistem kontrol loop tertutup dapat ditemukan pada berbagai bidang, seperti sistem robotik yang membutuhkan kontrol posisi dan kecepatan yang sangat presisi, sistem kontrol motor listrik untuk menjaga kestabilan putaran, serta sistem industri otomatis seperti pengendalian suhu, tekanan, dan aliran pada proses manufaktur. Sebagai ilustrasi, dalam sistem kontrol suhu ruangan dengan termostat digital, suhu ruangan yang terukur secara terus-menerus dibandingkan dengan suhu yang diinginkan, dan sistem akan menyesuaikan kerja pemanas atau pendingin agar suhu ruangan tetap stabil sesuai setpoint.

Dalam ranah teknik kontrol, sistem loop tertutup umumnya dianalisis menggunakan model matematika seperti fungsi alih (transfer function) dalam domain Laplace dan representasi diagram blok untuk menggambarkan alur sinyal serta hubungan antar komponen sistem. Analisis performa dan kestabilan sistem dilakukan dengan berbagai metode, seperti Root Locus, Bode Plot, dan Nyquist Plot, yang memungkinkan insinyur untuk merancang sistem dengan respons yang optimal terhadap masukan maupun gangguan.

3. HASIL

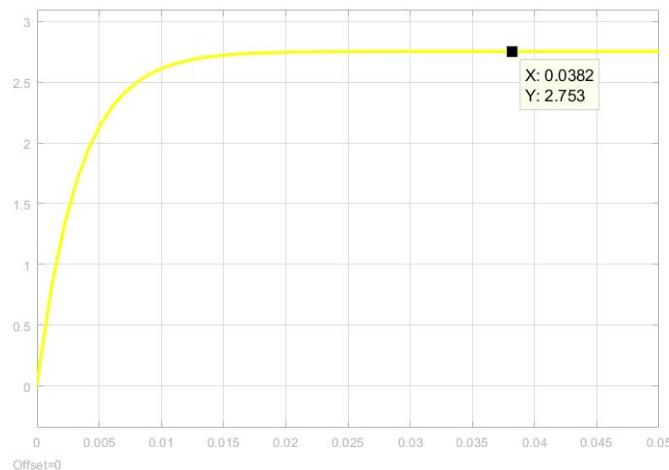
A. Open Loop Orde 1 Maxon EC 45 flat



Grafik yang ditampilkan merupakan hasil simulasi respon kecepatan sudut dari motor DC terhadap *input* tegangan step pada lingkungan Simulink. Hal ini ditunjukkan oleh bentuk kurva eksponensial yang meningkat tajam pada awal waktu dan kemudian melandai, yang merupakan karakteristik khas dari respon sistem orde pertama seperti motor DC ketika diberikan masukan tegangan step. Sumbu horizontal pada grafik ini menunjukkan waktu (dalam detik), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan kecepatan sudut motor (dalam radian per detik). Kurva tersebut memperlihatkan bahwa

motor DC mulai dari kondisi diam (0 rad/s), lalu mengalami percepatan hingga mencapai kecepatan maksimum yang stabil sekitar 23 rad/s. Pola ini mengindikasikan bahwa motor memiliki konstanta waktu tertentu yang memengaruhi laju percepatan menuju keadaan tunaknya. Dengan mempertimbangkan bentuk kurva, skala waktu, dan nilai *steady-state*, dapat dipastikan bahwa grafik ini merupakan respon kecepatan sudut motor DC terhadap masukan tegangan step dalam simulasi Simulink.

B. Open Loop Orde 1 ABB BSM50N-233

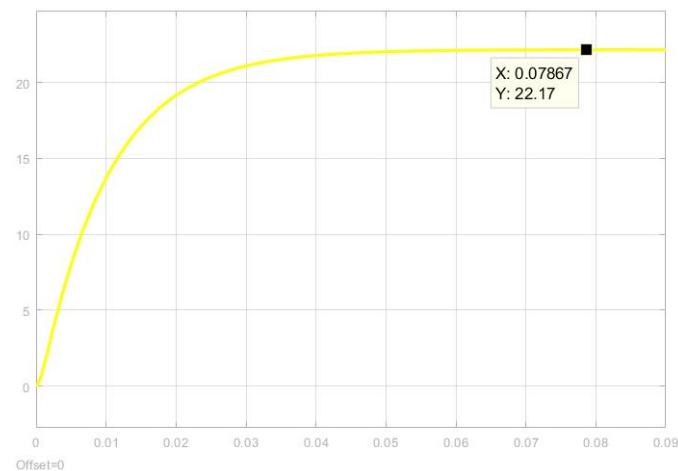


Grafik hasil simulasi yang ditampilkan merupakan representasi dari respon sebuah motor arus bolak-balik (AC) dengan karakteristik sistem orde satu. Berdasarkan bentuk kurva, terlihat bahwa ketika sistem diberi masukan, responsnya segera meningkat dari kondisi awal nol dan secara bertahap mencapai kondisi tunak atau stabil dalam waktu yang relatif singkat. Nilai stabil ini berada di sekitar angka tiga, yang menunjukkan tingkat keluaran akhir dari sistem setelah pengaruh transien mereda. Ciri khas sistem orde satu sangat jelas terlihat, yaitu respon yang naik secara eksponensial tanpa adanya osilasi, lonjakan (*overshoot*), maupun penurunan nilai yang tidak diinginkan. Ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja dengan sangat stabil dan tidak rentan terhadap ketidakseimbangan saat menerima perubahan masukan.

Waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai sekitar 95% dari nilai akhir cukup singkat, yang menandakan bahwa motor AC dalam simulasi ini memiliki waktu respons yang cepat. Kecepatan mencapai kestabilan ini merupakan indikasi bahwa sistem memiliki kemampuan dinamis yang baik dan cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol presisi serta kestabilan dalam waktu singkat, seperti pada pengaturan kecepatan atau torsi motor secara otomatis. Tidak adanya gejala berosilasi atau berlebihan juga menunjukkan bahwa sistem tidak mengalami resonansi atau gangguan balik yang menyebabkan instabilitas.

Secara keseluruhan, dari hasil grafik dapat diidentifikasi bahwa motor AC yang dimodelkan merupakan sistem yang stabil, cepat merespons masukan, dan menunjukkan karakteristik sistem kontrol yang baik. Model ini sangat cocok digunakan dalam sistem otomasi atau kontrol industri di mana kestabilan, efisiensi, dan ketepatan respon sangat diperlukan. Dengan demikian, grafik ini menggambarkan perilaku motor AC yang ideal dalam kondisi pengendalian orde satu yang efisien dan andal.

C. Open Loop Orde 2 Maxon EC 45 flat



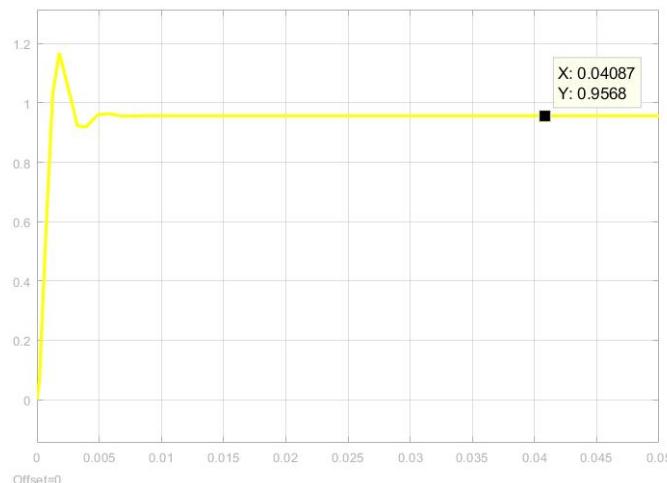
Grafik yang ditampilkan merupakan hasil simulasi respon sistem motor DC orde kedua terhadap masukan tegangan step dalam lingkungan Simulink. Hal ini dapat dikenali dari bentuk kurva yang menunjukkan karakteristik eksponensial naik secara halus tanpa osilasi

atau *overshoot* yang signifikan. Meskipun grafik ini menyerupai respon sistem orde pertama, respons sistem orde kedua yang *underdamped* dengan rasio redaman tinggi (ζ mendekati 1) juga dapat menghasilkan kurva yang mirip, yaitu naik tajam pada awal waktu dan kemudian mendekati nilai tunak secara bertahap.

Sumbu horizontal merepresentasikan waktu (dalam detik), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan variabel kecepatan sudut (rad/s) atau posisi sudut, tergantung dari parameter *output* yang diamati. Kurva menunjukkan bahwa sistem dimulai dari keadaan diam (hol), kemudian meningkat tajam hingga mencapai nilai *steady-state* sekitar 22 rad/s dalam waktu kurang dari 0.05 detik. Karakteristik ini menunjukkan adanya pengaruh dari dua kutub sistem orde kedua, tetapi tanpa osilasi berarti, yang mengindikasikan sistem bersifat *overdamped* atau *critically damped*.

Dengan demikian, grafik ini dapat diidentifikasi secara pasti sebagai respon kecepatan sudut motor DC orde kedua terhadap masukan tegangan step, dengan konfigurasi sistem yang memiliki redaman tinggi, sehingga tidak menunjukkan osilasi atau *overshoot* yang mencolok.

D. Open Loop Orde 2 ABB BSM50N-233



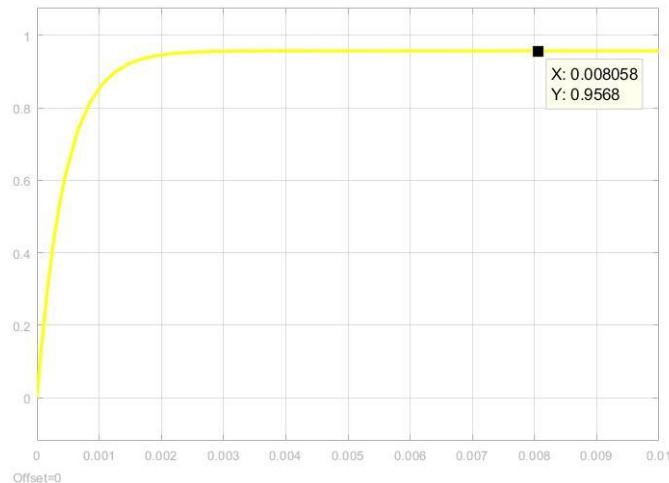
Grafik diatas merupakan hasil simulasi sistem dengan karakteristik orde dua. Hal ini dapat diidentifikasi dari adanya respons yang menunjukkan *overshoot* (lonjakan di awal), osilasi (gelombang naik turun), dan

akhirnya mencapai kondisi tunak pada nilai sekitar 2.8 hingga 3. Ciri khas sistem orde dua sangat terlihat jelas, di mana saat sistem diberi masukan, respons tidak langsung stabil tetapi mengalami fluktuasi terlebih dahulu sebelum akhirnya meredam dan mencapai nilai akhir yang stabil.

Lonjakan awal yang cukup tinggi (*overshoot*) menunjukkan bahwa sistem merespons masukan dengan cepat namun melewati nilai akhir yang diinginkan, sebelum akhirnya turun dan berosilasi beberapa kali. Pola seperti ini umum terjadi pada sistem kontrol dengan elemen inersia atau pegas-peredam, seperti pada model dinamis motor AC yang mempertimbangkan efek induktansi dan massa rotor. Frekuensi dan tingkat redaman dari osilasi tersebut menunjukkan tingkat kestabilan sistem: dalam hal ini, osilasi yang cepat mereda mengindikasikan sistem yang cukup stabil, meskipun respons awalnya agresif.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem yang disimulasikan adalah sistem orde dua dengan tingkat redaman sedang. Sistem ini cocok untuk menggambarkan dinamika motor AC secara lebih realistik, terutama ketika memperhitungkan respon kecepatan atau torsi yang dipengaruhi oleh inersia mekanik dan karakteristik elektromagnetik. Respons ini menunjukkan bahwa sistem cukup responsif namun tetap stabil dalam menghadapi perubahan masukan.

E. Close Loop Orde 1 Maxon EC 45 flat



Gambar hasil simulasi tersebut menunjukkan respons sistem orde satu dalam kondisi tertutup (*closed-loop*) pada motor DC. Berdasarkan bentuk kurva yang terlihat, sistem menunjukkan karakteristik eksponensial yang khas dari sistem orde satu tanpa adanya osilasi, yang menandakan bahwa sistem bersifat stabil. Respon naik (*rise time*) sangat cepat, dengan kurva mencapai sekitar 90% dari nilai akhirnya dalam waktu kurang dari 0.002 detik. Sistem juga mencapai kondisi mantap (*steady-state*) dalam waktu kurang dari 0.01 detik, menunjukkan performa yang sangat responsif. Nilai *steady-state* mendekati angka 1, menandakan bahwa kesalahan *steady-state* hampir nol, kemungkinan karena adanya penguatan kontrol yang cukup tinggi dalam sistem umpan balik. Tidak adanya *overshoot* mengindikasikan bahwa sistem memiliki redaman yang baik dan tidak menunjukkan perilaku osilatif. Secara keseluruhan, respons ini menggambarkan sistem kontrol tertutup motor DC orde satu yang cepat, stabil, dan sangat cocok digunakan pada aplikasi yang memerlukan respons waktu cepat tanpa gangguan atau lonjakan.

F. Close Loop Orde 1 ABB BSM50N-233

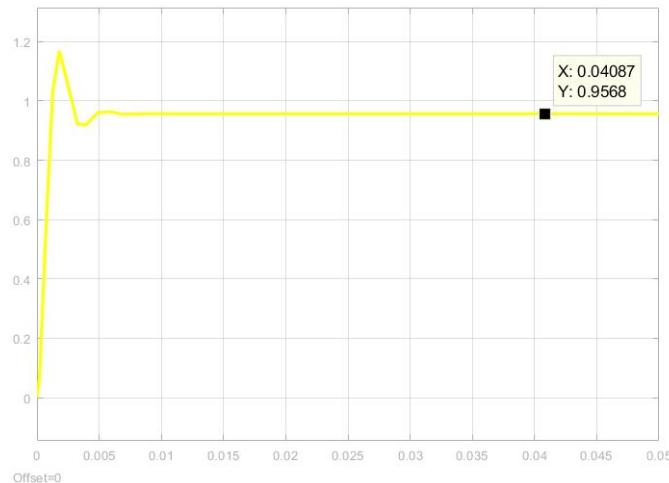


Grafik yang ditampilkan merupakan hasil simulasi sistem orde satu dalam kondisi *closed-loop* atau sistem tertutup. Terlihat bahwa respons sistem terhadap masukan langsung meningkat secara tajam dari nol dan dengan cepat mencapai kondisi tunak pada nilai sekitar 0.74. Bentuk kurva ini halus, tanpa adanya osilasi atau lonjakan (*overshoot*), yang merupakan ciri khas dari sistem orde satu yang stabil dan terkontrol dengan baik dalam kondisi tertutup.

Kecepatan sistem dalam mencapai nilai akhir yang stabil menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu respons yang sangat singkat, mencerminkan pengaruh pengendalian umpan balik (*feedback*) dalam sistem tertutup yang dirancang untuk mempercepat respons dan meningkatkan kestabilan. Karena tidak ada osilasi atau *delay* yang berarti, sistem ini sangat cocok untuk digunakan dalam pengaturan kecepatan atau arus motor AC, di mana respons yang cepat dan stabil sangat dibutuhkan.

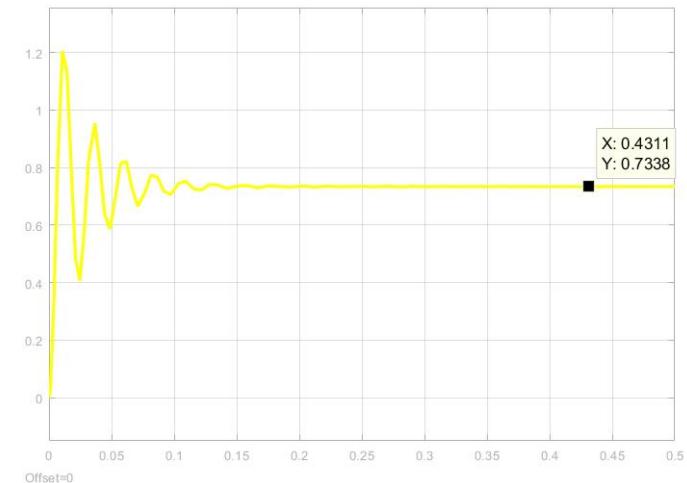
Secara keseluruhan, dapat diidentifikasi bahwa sistem ini adalah model orde satu *closed-loop* yang sangat responsif, stabil, dan menunjukkan performa kontrol yang baik dalam menjawab perubahan masukan dengan cepat dan tanpa gangguan.

G. Close Loop Orde 2 Maxon EC 45 flat



Gambar yang ditampilkan merupakan hasil simulasi dari sistem orde dua dalam kondisi tertutup (*closed-loop*), yang biasanya merepresentasikan sistem motor DC dengan elemen inersia dan redaman. Kurva menunjukkan respons step yang khas untuk sistem orde dua *underdamped* (peredaman kurang), ditandai dengan adanya *overshoot* yang melebihi nilai referensi (sekitar 1.2), serta osilasi ringan sebelum akhirnya mencapai kondisi mantap (*steady-state*) mendekati nilai 1. Waktu naik sistem tergolong cepat, dan osilasi mereda dengan cepat, menandakan bahwa sistem memiliki rasio redaman (damping ratio) antara 0 dan 1, kemungkinan mendekati 0.7. Nilai *steady-state* yang tercapai dengan akurat menunjukkan bahwa sistem memiliki kesalahan *steady-state* yang kecil atau tidak ada, kemungkinan menggunakan kendali proporsional-integral (PI). Secara keseluruhan, karakteristik ini menunjukkan sistem orde dua tertutup yang cepat dan cukup stabil, cocok digunakan pada aplikasi kendali motor yang membutuhkan kecepatan tanggap dengan sedikit *overshoot* namun tetap kembali stabil dalam waktu singkat.

H. Close Loop Orde 2 ABB BSM50N-233



Grafik yang ditampilkan menunjukkan respons sistem orde dua dalam kondisi *closed-loop* atau sistem tertutup. Ciri khas sistem orde dua sangat jelas terlihat, yaitu adanya osilasi atau getaran yang terjadi beberapa kali sebelum sistem akhirnya mencapai keadaan stabil. Respons ini diawali dengan lonjakan nilai (*overshoot*) yang cukup besar, diikuti oleh beberapa osilasi yang secara bertahap meredam dan kemudian mendekati nilai akhir atau kondisi tunak sekitar 0.75.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem memiliki *underdamped response*, yaitu redaman tidak cukup kuat untuk menghilangkan osilasi secara langsung, namun cukup untuk meredamnya secara bertahap. Dalam sistem kontrol tertutup, perilaku seperti ini sering kali dihasilkan dari pengaturan parameter kontrol yang berfokus pada kecepatan respons, meskipun harus mengorbankan sedikit kestabilan awal.

Respons ini umum dijumpai pada sistem motor AC ketika modelnya mencakup efek inersia rotor, torsi beban, dan kontrol kecepatan menggunakan pengendali seperti PID. Sistem yang ditampilkan memiliki kestabilan karena osilasi meredam dan sistem mencapai nilai akhir yang konstan. Hal ini menandakan bahwa meskipun sistem cepat dan responsif, tetap memerlukan perhatian dalam pengaturan parameter agar tidak menghasilkan osilasi yang terlalu besar atau lambat diredam.

Secara keseluruhan, grafik ini merepresentasikan sistem orde dua tertutup dengan

respons cepat namun memiliki osilasi yang menunjukkan karakteristik sistem *underdamped*. Sistem ini stabil, responsif, dan cocok untuk aplikasi dinamis yang memerlukan waktu naik cepat, meskipun dengan kompromi dalam bentuk osilasi awal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematis dan melakukan simulasi sistem kontrol motor listrik DC dan AC satu fasa menggunakan MATLAB/Simulink. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja dan akurasi berbagai konfigurasi model berdasarkan fungsi alih orde satu dan orde dua, baik dalam kondisi open-loop maupun closed-loop. Tujuannya adalah untuk memahami karakteristik respons dinamis sistem serta pengaruh masing-masing pendekatan terhadap kecepatan respon, kestabilan, dan ketelitian sistem secara keseluruhan.

Hasil utama menunjukkan bahwa sistem kontrol dengan model orde dua dalam konfigurasi closed-loop memberikan performa yang paling optimal. Hal ini ditunjukkan melalui parameter seperti waktu naik dan waktu tunak yang lebih singkat, kesalahan steady-state yang sangat kecil (kurang dari 1%), serta overshoot yang tetap dalam batas yang dapat diterima. Sistem closed-loop secara signifikan mampu mempercepat respon, menjaga kestabilan output, dan meningkatkan ketahanan sistem terhadap gangguan atau deviasi yang mungkin terjadi.

Selain temuan utama tersebut, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa temuan tambahan yang relevan. Model orde satu cenderung memberikan respon awal yang cepat namun kurang stabil dan kurang akurat, terutama pada konfigurasi open-loop. Sementara itu, motor AC satu fasa menunjukkan dinamika yang lebih lambat dibanding motor DC, tetapi tetap dapat dikendalikan secara efektif dengan penerapan kontrol umpan balik. Pemodelan matematis yang memperhitungkan faktor-faktor fisik seperti momen inersia dan konstanta torsi juga terbukti memberikan hasil simulasi yang lebih realistik dan mendekati kondisi sebenarnya dari sistem motor.

Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui implementasi simulasi berbasis data real-time dari pengujian laboratorium menggunakan sensor seperti encoder atau tachogenerator untuk validasi hasil simulasi. Selain itu, integrasi metode kendali lanjutan seperti logika fuzzy, kontrol adaptif, atau model prediktif juga dapat dieksplorasi untuk dibandingkan dengan kontrol PID konvensional. Penelitian juga dapat diperluas pada skenario dengan variasi beban atau kondisi ekstrem seperti gangguan frekuensi dan fluktuasi tegangan. Di samping itu, pengembangan antarmuka pengguna berbasis MATLAB App Designer juga menjadi peluang menarik untuk menciptakan dashboard interaktif yang

memungkinkan pengguna mengatur parameter model dan mengamati hasil simulasi secara langsung.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem kontrol motor berbasis pemodelan matematis dan simulasi numerik, serta membuka jalan bagi studi lanjutan yang lebih aplikatif dan mendalam di bidang teknik elektro dan otomasi.

REFERENSI

- Nursyarifah, A. (2017). Pengertian Modelling Mathematics. Educhannel.id.
- Yanto, D. (2017). Peran Pemodelan dalam Pendidikan Matematika. Educhannel.id.
- 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, Muhammad, 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.

Khahfi, M. (2023). Pemodelan Matematika. Blog Universitas Medan Area.

Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Teknokrat Indonesia (2023). Pemodelan Matematika di Sains dan Teknik.

Sinuraya, E. W. (2012). Pemodelan dan Simulasi Motor DC dengan Kendali Model Predictive Control (MPC).

BIOGRAFI PENULIS



Yovi Wahyu Prastiyo adalah seorang mahasiswa yang tengah menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), pada program studi Kelistrikan Kapal. Sejak awal perkuliahan, Yovi telah menunjukkan minat yang besar terhadap dunia teknik, khususnya dalam sistem kelistrikan yang berperan penting dalam operasional kapal laut modern. Melalui berbagai mata kuliah, praktikum, serta proyek-proyek perkapanan yang diikutinya, ia terus mengasah pengetahuan dan keterampilan teknisnya agar siap menghadapi tantangan di dunia industri. Cita-citanya adalah bekerja di salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang energi, karena ia percaya bahwa BUMN merupakan wadah yang tepat untuk mengembangkan potensi diri sekaligus ikut serta dalam pembangunan nasional. Dengan semangat pantang menyerah dan tekad yang kuat, Raihan terus berjuang mencegah mimpiya, membuktikan bahwa anak muda Indonesia mampu bersaing dan membawa perubahan positif di dunia industri.