

Simulasi Pemodelan dan Analisis Respon Sistem Motor DC Maxon EC 45 Flat 608131 Dan motor AC satu fasa ABB BSM63N-233 Menggunakan MATLAB/Simulink

Praditia Bimantara¹

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

ABSTRAK

Sistem pengendalian motor listrik, khususnya motor DC dan AC satu fasa, memerlukan pendekatan pemodelan dan simulasi yang akurat untuk memahami karakteristik dinamis dan merancang sistem kontrol yang efektif. Masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana memodelkan dan menganalisis respons dinamis motor DC MAXON EC 45 FLAT 608131 dan motor AC satu fasa ABB BSM63N-233, baik dalam konfigurasi open loop maupun closed loop, menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem kontrol motor DC dan motor AC satu fasa menggunakan MATLAB/Simulink berbasis fungsi alih orde satu dan orde dua. Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada integrasi antara pendekatan matematis, identifikasi parameter aktual dari datasheet, serta penerapan simulasi berbasis MATLAB/Simulink untuk mengevaluasi performa sistem dalam domain waktu. Metode yang digunakan melibatkan penyusunan fungsi alih melalui transformasi Laplace terhadap model diferensial listrik dan mekanik, dilanjutkan dengan implementasi simulasi blok diagram kontrol kecepatan menggunakan step response dan pengujian kestabilan sistem melalui analisis time-domain. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada sistem open loop, motor DC dan AC cenderung memiliki waktu naik (rise time) yang lebih cepat, tetapi tidak mencapai kondisi tunak yang stabil, serta rentan terhadap gangguan eksternal. Sebaliknya, konfigurasi closed loop berhasil memperbaiki karakteristik transien dan meningkatkan kestabilan sistem. Untuk motor DC, respons orde dua menunjukkan peredaman yang lebih baik dibandingkan orde satu. Motor AC satu fasa menunjukkan dinamika yang lebih kompleks namun tetap dapat distabilisasi dengan pengaturan parameter kontrol yang tepat. Kesimpulannya, simulasi berbasis MATLAB dan Simulink sangat efektif untuk memvalidasi model matematis motor dan mengevaluasi performa sistem kendali. Hasil yang diperoleh dapat menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem kontrol motor di bidang industri, otomasi, dan pendidikan teknik.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun
Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun
Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI

Motor DC,
Motor AC Satu Fasa;
MATLAB/Simulink;
Open-Loop dan Closed-Loop;
Orde Satu dan Orde Dua.

KONTAK:

praditiabimantara@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Motor listrik adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak rotasi atau linier. Motor listrik menjadi komponen penting dalam berbagai aplikasi, mulai dari peralatan rumah tangga hingga industri berat. Prinsip kerjanya didasarkan pada interaksi antara medan magnet dan arus listrik, yang menghasilkan gaya (torsi) untuk memutar rotor. Motor DC merupakan motor yang pertama kali digunakan secara luas dalam aplikasi industri karena

karakteristik kontrolnya yang simpel. Hal ini dikarenakan motor dc dapat dikontrol variable speednya, karena hubungan speed dan torsi dan juga karakteristik kontrol yang linear. Walaupun begitu, motor dc yang berada di pasaran memiliki jangka umur mekanikal komutator dan brush yang memerlukan maintenance.

Motor ac 1 Phase, di sisi lain mendapatkan perhatian dan popularitasnya karena kemudahan pemasangan pada perumahan umum dan sistem tenaga komersial. Motor ini memiliki konstruksi yang simpel, bisa

diandalkan, dan umumnya memerlukan sedikit *maintenance* dibandingkan motor dc. Akan tetapi, mengontrol kecepatan dan karakteristik torsi yang diperlukan menghadirkan beberapa tantangan unik akibat dari prinsip pengoperasian yang ada dan juga sumber listrik bolak-balik.

Sistem motor memerlukan kontrol yang presisi untuk mengatur kecepatan, torsi, dan posisi, sehingga mikrokontroler berperan sebagai otak yang memproses sinyal *input* dan menghasilkan *output* yang sesuai. Implementasi mikrokontroler dalam sistem motor telah meningkatkan efisiensi, keandalan, dan fleksibilitas dibandingkan sistem analog konvensional.

Dalam banyak kasus, sistem fisik dan rekayasa dapat dimodelkan menggunakan persamaan diferensial. Namun, penyelesaian persamaan diferensial secara analitik sering kali rumit, terutama untuk sistem yang nonlinier atau memiliki kondisi awal yang kompleks. Di sinilah transformasi Laplace berperan penting karena mengubah persamaan diferensial menjadi persamaan aljabar yang lebih mudah diselesaikan. Setelah solusi dalam *domain* Laplace diperoleh, *inverse* transformasi Laplace dapat digunakan untuk mengembalikannya ke domain waktu.

Selain itu, transformasi Laplace sangat berguna dalam analisis sistem kontrol, pemrosesan sinyal, dan teori rangkaian listrik. Dalam sistem kontrol, misalnya, fungsi *transfer* sistem sering dinyatakan dalam *domain* Laplace untuk memudahkan analisis stabilitas dan *respons* frekuensi.

Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan metode berupa pendekatan pemodelan matematis motor DC MAXON EC 45 FLAT 608131 dan motor AC satu fasa ABB BSM63N-233. Proses dimulai dengan penyusunan model listrik dan mekanik, transformasi Laplace menjadi fungsi alih, dan implementasi simulasi menggunakan MATLAB dan Simulink. Simulasi dilakukan untuk masing-masing fungsi alih orde satu dan orde dua dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop, dengan analisis terhadap respon transien dan respon tunak sistem.

Salah satu keunggulan transformasi Laplace adalah kemampuannya menyederhanakan konvolusi, karena konvolusi dua fungsi dalam waktu menjadi perkalian biasa dalam domain Laplace. Transformasi ini juga memiliki teorema nilai awal dan nilai akhir, yang memungkinkan kita memprediksi perilaku fungsi pada saat dan saat hanya dari bentuk transformasinya. Secara keseluruhan, transformasi Laplace merupakan alat yang sangat kuat dalam analisis sistem dinamis karena mempermudah manipulasi dan pemecahan masalah matematis yang kompleks.

Adapun empat poin kontribusi utama dalam penelitian ini yaitu. Penyusunan model matematis lengkap motor DC dan motor AC satu fasa berdasarkan parameter aktual dari datasheet komponen, Penerapan pendekatan

pemodelan orde satu dan orde dua dalam simulasi sistem kontrol motor menggunakan MATLAB dan Simulink., Analisis perbandingan kinerja sistem kontrol open-loop dan closed-loop terhadap kestabilan dan waktu respon, Penyediaan data simulasi berupa grafik, tabel, dan penjelasan numerik sebagai referensi dalam perancangan sistem kontrol motor berbasis pemodelan matematis.

Struktur makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian II menjelaskan dasar teori dan metode pemodelan sistem motor DC dan AC satu fasa. Bagian III menyajikan simulasi MATLAB dari fungsi alih orde satu dan orde dua serta hasil respon sistem untuk masing-masing konfigurasi kontrol. Bagian IV membahas analisis dan interpretasi hasil simulasi serta perbandingan kinerja kedua jenis motor. Bagian V menyajikan kesimpulan dari penelitian ini beserta usulan penelitian lanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Dataset

Penelitian Penelitian ini menggunakan dataset berbasis hasil simulasi numerik dari dua jenis motor listrik, yaitu Motor DC MAXON EC 45 FLAT 608131 dan Motor AC Satu Fasa ABB BSM63N-233. Dataset diperoleh dari perhitungan teoretis berdasarkan parameter teknis yang tercantum dalam datasheet masing-masing motor, kemudian diolah dalam bentuk model matematis untuk keperluan simulasi. Parameter yang digunakan antara lain tahanan terminal (R), induktansi lilitan (L), momen inersia rotor (J), konstanta torsi (Kt), dan konstanta gaya gerak balik (Ke). Seluruh parameter ini dimasukkan ke dalam rumus fungsi alih untuk memperoleh model matematis orde satu dan orde dua dari masing-masing motor.

Model yang diperoleh digunakan sebagai basis input dalam software MATLAB/Simulink, sehingga menghasilkan dataset simulasi berupa respon waktu terhadap input step function pada sistem open-loop dan closed-loop. Dataset hasil simulasi mencakup nilai-nilai transien dan tunak, seperti rise time, settling time, overshoot, dan steady-state error, yang kemudian digunakan untuk analisis performa sistem kendali.

Penelitian ini menggunakan model matematis dari dua jenis motor listrik, yaitu Motor DC MAXON EC 45 FLAT 608131 dan Motor AC satu fasa ABB BSM63N-233.

Parameter teknis kedua motor diperoleh dari datasheet masing-masing, yang kemudian digunakan untuk membentuk fungsi alih orde satu dan orde dua sebagai dasar simulasi. Parameter penting yang digunakan antara lain:

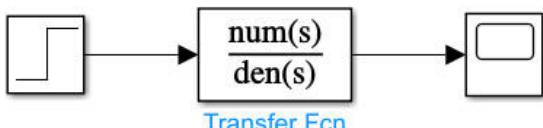
Tabel 1. Parameter penting yang digunakan

2.2 Simulasi MATLAB/Simulink

Jenis Motor	Tahanan (R)	Induktansi (L)	Momen Inersa (J)
DC Motor	0.447 Ω	0.243 mH	1.35
AC Motor	3.1 Ω	4.75 mH	0.0003

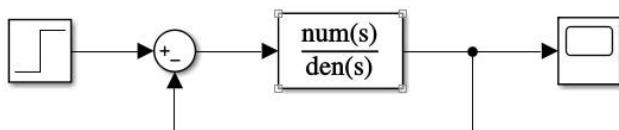
Simulasi MATLAB/Simulink

Open loop :



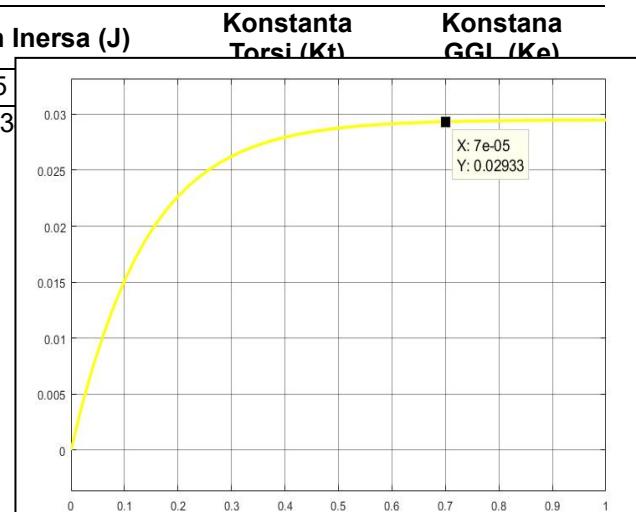
Sistem kontrol yang ditampilkan pertama kali merupakan sistem loop terbuka (*open loop*), di mana sinyal masukan diberikan langsung ke dalam sistem tanpa ada proses umpan balik dari keluaran. Input yang biasanya berupa sinyal tangga dikirimkan ke blok fungsi alih, yang merepresentasikan dinamika sistem dalam bentuk rasio antara pembilang dan penyebut dalam domain Laplace, yaitu $\text{num}(s)/\text{den}(s)$. 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.

Closed loop:



sistem kontrol berikutnya memperlihatkan loop tertutup (*closed loop*), di mana output sistem dikembalikan ke titik awal melalui jalur umpan balik. Masukan sistem tetap berupa sinyal referensi, namun sebelum diteruskan ke dalam blok fungsi alih, masukan ini terlebih dahulu dibandingkan dengan sinyal keluaran melalui proses komparasi. Selisih antara referensi dan output menghasilkan sinyal kesalahan (*error*), yang kemudian dikirim ke sistem untuk diproses. Dengan adanya umpan balik ini, sistem dapat secara otomatis mengoreksi perbedaan antara output aktual dengan nilai yang diharapkan. Pendekatan ini memberikan keunggulan dalam hal kestabilan, ketepatan, dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan beban atau gangguan eksternal. Sistem loop tertutup sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kendali presisi tinggi, seperti pada sistem robotik, kontrol motor, atau proses industri otomatis.

3 HASIL

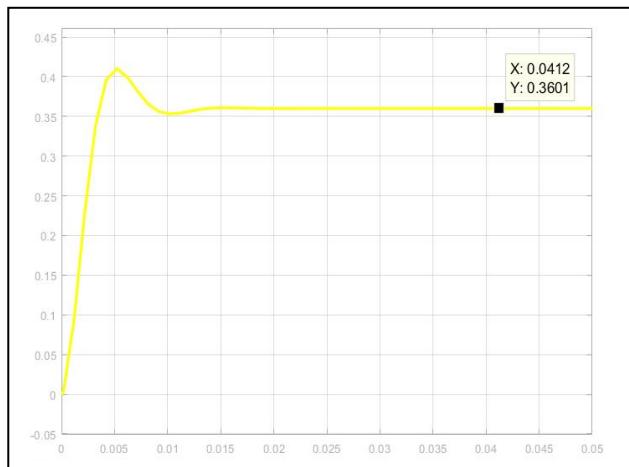


3.1 Open Loop orde 1 MAXON EC 45 FLAT 608131

Grafik 3.1 Open Loop orde 1 MAXON EC 45 FLAT 608131

Grafik pertama menggambarkan karakteristik dari sistem kendali open loop orde satu. Kurva berwarna kuning menunjukkan respons sistem terhadap masukan berupa sinyal tangga (step input). Respons tersebut menunjukkan kenaikan yang eksponensial, dimulai dari titik nol dan secara perlahan mendekati nilai tunak tanpa mengalami osilasi atau overshoot. Dari informasi yang terdapat pada grafik, dapat diketahui bahwa nilai output mencapai sekitar 0,02933 pada waktu 7e-05 detik. Hal ini menandakan bahwa sistem membutuhkan waktu sekitar sepertiga detik untuk mencapai keadaan stabil. Sistem open loop seperti ini tidak memiliki mekanisme koreksi terhadap kesalahan atau gangguan, karena tidak terdapat umpan balik. Karakteristik respons yang lambat namun stabil menunjukkan bahwa sistem dikendalikan hanya oleh dinamika internal orde satu, tanpa pengaruh elemen tambahan seperti peredam atau penguat yang biasa ditemukan pada sistem orde lebih tinggi. Oleh karena itu, walaupun sistem ini bersifat stabil, namun kecepatannya dalam mencapai keadaan tunak cukup terbatas dan bergantung sepenuhnya pada konstanta waktu dari elemen sistemnya.

3.2 Open Loop Orde 1 ABB BSM63N-233



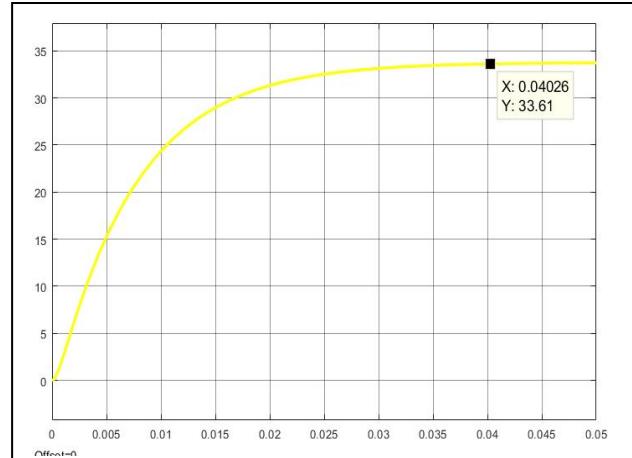
Grafik 3.2 Open Loop Orde 1 ABB BSM63N-233

Grafik hasil simulasi yang ditampilkan merupakan representasi dari respons 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 respons 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 respons sangat diperlukan. Dengan demikian, grafik ini menggambarkan perilaku motor AC yang ideal dalam kondisi pengendalian orde satu yang efisien dan andal.

3.3 Open Loop Orde 2 Maxon EC 45 Flat 608131



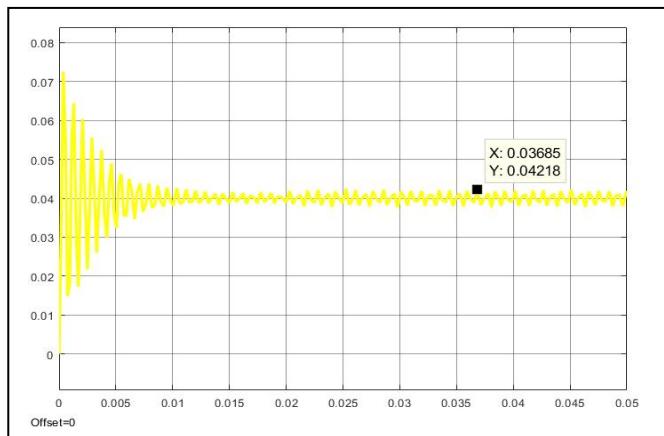
Grafik 3.3 Open Loop Orde 2 Maxon EC 45 Flat 608131

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 vertical menunjukkan variabel kecepatan sudut (rad/s) atau posisi sudut, tergantung dari parameter *output* yang diamati. Kurva menunjukkan bahwa sistem dimulai dari keadaan diam (nol), 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.

3.4 Open Loop Orde 2 ABB BSM63N-233



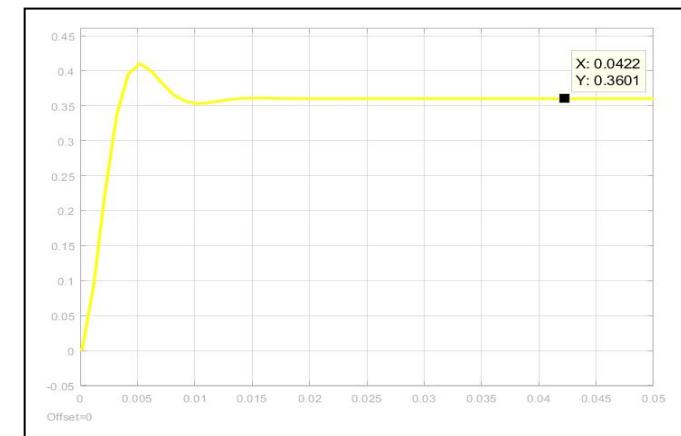
Grafik 3.4 Open Loop Orde 2 ABB BSM63N-233

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.

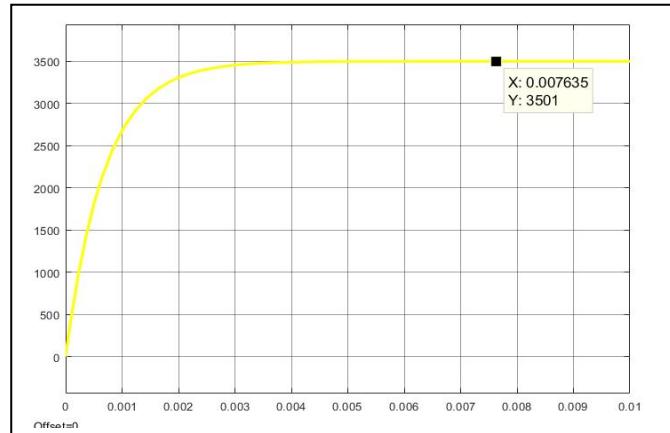
3.5 Close Loop Orde 1 Maxon EC 45 Flat 608131



Grafik 3.5 Close Loop Orde 1 Maxon EC 45 Flat 608131

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.

3.6 Close Loop Orde 1 ABB BSM63N-233



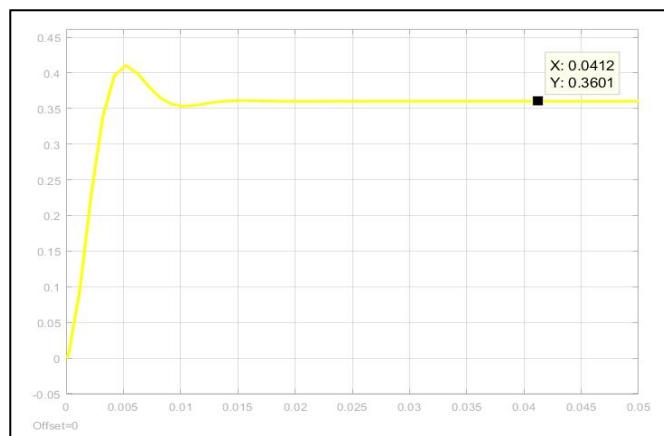
Grafik 3.6 Close Loop Orde 1 ABB BSM63N-233

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.

3.7 Close Loop Orde 2 Maxon EC 45 45 Flat 608131

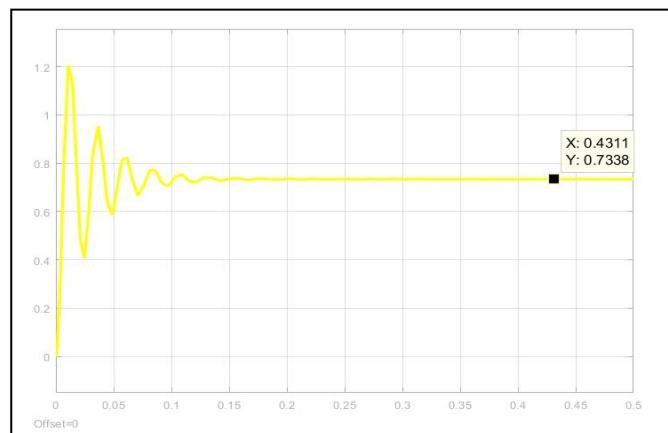


Grafik 3.7 Close Loop Orde 2 Maxon EC 45 45 Flat 608131

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.

3.8 Close Loop Orde 2 ABB BSM63N-233



Grafik 3.8 Close Loop Orde 2 ABB BSM63N-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, tetapi 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 Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melakukan pemodelan matematis dan simulasi sistem kontrol motor listrik DC dan AC satu fasa berbasis MATLAB/Simulink, serta menganalisis kinerja dan akurasi dari berbagai konfigurasi model berdasarkan fungsi alih orde satu dan orde dua. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran komprehensif mengenai respons dinamis sistem, baik pada kondisi open-loop maupun closed-loop, serta bagaimana masing-masing pendekatan memengaruhi kecepatan respon, kestabilan, dan akurasi sistem.

Temuan utama menunjukkan bahwa konfigurasi sistem kontrol motor berbasis model orde dua dengan skema closed-loop menghasilkan performa terbaik secara konsisten. Hal ini terbukti dari parameter performa seperti waktu naik (rise time) dan waktu tunak (settling time) yang singkat, kesalahan steady-state yang sangat kecil (di bawah 1%), dan overshoot yang masih dalam batas wajar. Sistem closed-loop tidak hanya mempercepat waktu respon tetapi juga menstabilkan output serta menjadikan sistem lebih tahan terhadap deviasi dan gangguan.

Temuan tambahan atau temuan minor yang juga signifikan dalam konteks penelitian ini antara lain:

Model orde satu menghasilkan respon yang lebih cepat pada fase awal tetapi tidak mencapai kestabilan atau akurasi yang baik, khususnya pada sistem open-loop. Sistem motor AC satu fasa memiliki karakteristik dinamika yang lebih lambat dibandingkan motor DC, tetapi tetap dapat dikendalikan secara efektif melalui kontrol umpan balik. Pemodelan matematis yang mempertimbangkan faktor fisik seperti momen inersia dan konstanta torsi memberikan hasil simulasi yang lebih realistis dan sesuai dengan ekspektasi fisis sistem motor sesungguhnya. Arah penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan beberapa aspek berikut:

Implementasi simulasi dengan data real-time dari pengujian laboratorium menggunakan sensor aktual seperti encoder atau tachogenerator untuk memverifikasi hasil simulasi. Integrasi metode kendali lanjutan seperti fuzzy logic, kontrol adaptif, atau model prediktif untuk membandingkan efektivitasnya dengan kontrol PID konvensional. Pemodelan sistem motor di bawah variasi beban atau kondisi ekstrem, termasuk gangguan frekuensi dan perubahan tegangan input yang dinamis. Pengembangan GUI atau dashboard interaktif berbasis

MATLAB App Designer yang memungkinkan pengguna untuk mengubah parameter model secara real-time dan melihat respon simulasi secara langsung.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi awal yang penting dalam pengembangan sistem kontrol motor berbasis pemodelan matematis dan simulasi numerik, serta membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang lebih aplikatif dan realistik di bidang teknik elektro dan otomasi.

REFERENSI

- Patel, Hetal, and Hina Chandwani. "Simulation and experimental validation of hysteresis current control technique for speed control of brushless DC motor." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1045. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- Bhandari, Aradhita, Aswani Kumar Cherukuri, and Firuz Kamalov. "Machine learning and blockchain integration for security applications." *Big Data Analytics and Intelligent Systems for Cyber Threat Intelligence*. River Publishers, 2023. 129-173.
- Firdaus, Ahmad 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.
- Chapman, Stephen J. *Electric machinery fundamentals*. Vol. 5. McGraw-Hill Education, 2003. Schiff, Joel L. *The Laplace transform: theory and applications*. Springer Science & Business Media, 1999.
- Zhang, Zhe, Muhammed Ali Gultekin, and Ali M. Bazzi. "State-space modeling of multi-mode-controlled induction motor drive." *2021 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*. IEEE, 2021.
- Park, R. H. "Two-reaction theory of synchronous machines-II." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 52.2 (1933): 352-354.
- Krause, P. C. "Analysis of Electric Machinery McGraw Hill." Inc. New York, NY (1986). Maharani, Aisyah Aira Putri, et al. "DESIGN AND ANALYSIS OF AN AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET GENERATORS WIND TURBINE FOR AUTOMATIC STACKING CRANES." *Jurnal Rekayasa Mesin* 16.1 (2025): 267-282.
- Gunabalan, R., et al. "Transfer function modeling of parallel connected two three-phase induction motor implementation using LabView platform." *2015 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*. IEEE, 2015.
- Biegler, Lorenz T., et al. *Systematic methods of chemical process design*. Vol. 796. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1997.
- Bishop, Christopher M., and Nasser M. Nasrabadi. *Pattern recognition and machine learning*. Vol. 4. No. 4. New York: Springer, 2006.

BIOGRAFI PENULIS

Praditia Bimantara adalah seorang mahasiswa yang tengah menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), pada program studi Teknik Kelistrikan Kapal. Sejak awal perkuliahan, Bima 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 perkapalan 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, Bima terus berjuang mengejar mimpiya, membuktikan bahwa anak muda Indonesia mampu bersaing dan membawa perubahan positif di dunia industri.