

MAKALAH PENELITIAN

OPEN ACCES

Pemodelan dan Simulasi Dinamik Motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan Motor AC Satu Fasa SIMTACH AC040M-08J30A Berbasis MATLAB/Simulink

Intan Jelita Permata Hati<sup>1</sup>, Anggara Trisna Nugraha<sup>2</sup>, and Mohammad Abu Jami'in<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
<sup>2</sup> Dosen Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Pemodelan dan pengendalian motor listrik merupakan aspek penting dalam sistem otomasi dan aplikasi kelistrikan kapal, namun ketersediaan model dinamis yang valid dan sesuai dengan implementasi sistem kontrol masih terbatas, khususnya untuk motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan motor AC satu fasa SIMTACH AC040M-08J30A. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model matematis kedua motor secara sistematis menggunakan pendekatan berbasis fungsi alih dan transformasi Laplace terhadap sistem diferensial kelistrikan dan mekanik. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk: (1) perumusan fungsi alih dan pemodelan sistem orde satu dan orde dua berdasarkan data parameter dari datasheet, (2) simulasi respon sistem terhadap input tegangan berbentuk step dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop, serta (3) implementasi pengendali PID dan evaluasi performa berdasarkan waktu naik, waktu tunak, overshoot, dan error steady-state. Pemodelan dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink dengan parameter seperti resistansi, induktansi, momen inersia, dan konstanta torsi sebagai input utama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model motor DC memiliki respon lebih cepat dan akurat, dengan waktu tunak hanya 0,016 detik pada model orde dua, serta error steady-state sebesar 0,0229% pada sistem kendali tertutup. Di sisi lain, motor AC menunjukkan respon yang lebih lambat dengan waktu tunak mencapai 0,234 detik dan karakteristik overdamped. Hal ini menandakan bahwa sistem DC lebih mudah dikendalikan dan lebih sesuai untuk aplikasi berkecepatan tinggi. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa pendekatan pemodelan matematis yang digunakan berhasil merepresentasikan dinamika sistem kedua motor dengan akurat, serta dapat dijadikan referensi untuk desain sistem kontrol tertanam maupun pengembangan digital twin dalam konteks edukasi dan industri.

1. PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan komponen fundamental dalam berbagai sistem otomasi, mulai dari industri manufaktur hingga teknologi kelautan dan robotika. Perkembangan sistem tertanam (embedded systems) dan kebutuhan akan pengendalian presisi tinggi telah mendorong peningkatan penggunaan motor listrik yang tidak hanya efisien tetapi juga dapat dikendalikan secara akurat dan responsif. Dua tipe motor yang paling banyak digunakan dalam sistem ini adalah motor Brushless DC (BLDC) dan motor induksi AC satu fasa. BLDC banyak diaplikasikan

pada kendaraan listrik, drone, dan aktuator presisi karena keunggulannya dalam efisiensi, rasio torsi terhadap berat, serta minimnya kebutuhan perawatan. Di sisi lain, motor AC satu fasa, seperti SIMTACH AC040M-08J30A, tetap menjadi pilihan utama dalam peralatan rumah tangga, HVAC, dan sistem kelistrikan kapal karena desainnya yang sederhana dan kompatibilitasnya dengan suplai satu fasa. Meskipun demikian, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan motor-motor ini adalah kurangnya model dinamis yang akurat dan siap digunakan dalam simulasi untuk pengembangan sistem

Dikomentari [Editor1]: Catatan Penting:

1. Penulis wajib menggunakan aplikasi Mendeley untuk pengelolaan daftar pustaka.  
2. Artikel penelitian: minimal 40 referensi.  
3. Artikel tinjauan (review): minimal 120 referensi.  
4. Jumlah maksimum gambar dan tabel yang diperbolehkan dalam satu halaman adalah 2. Contoh: 1 halaman hanya memuat 1 gambar dan 1 tabel, atau 2 gambar, atau 2 tabel.  
5. Penulis wajib menggunakan kotak teks (Text Box) untuk gambar atau tabel berukuran lebar.  
6. Penulis wajib menggunakan fitur Bookmark dan Tautan (pada Menu Sisipkan) untuk menghubungkan antara teks dengan objek: Gambar, Tabel, Persamaan (x), Algoritma, dan Referensi. Hilangkan garis bawah pada tautan dengan pengaturan: Beranda - Gaya - Hapus Garis Bawah. (Bagian ini akan diproses oleh copy editor atau penulis setelah artikel dinyatakan diterima.)

Dikomentari [Editor2]: Abstrak: setidaknya 250 kata (250-300 kata)

1. MASALAH  
2. TUJUAN  
3. KONTRIBUSI UTAMA  
4. METODE  
5. HASIL  
6. KESIMPULAN

Dikomentari [Editor3]: PENDAHULUAN

1. MASALAH  
2. METODE TERKINI  
3. KESENJANGAN PENELITIAN  
4. METODE YANG DIUSULKAN  
5. PERNYATAAN KEMBALI  
6. POIN KONTRIBUSI (4 POIN)  
7. STRUKTUR MAKALAH

kontrol. Ketiadaan model yang representatif ini menjadi hambatan besar dalam mendesain sistem kontrol tertanam yang andal, terutama ketika digunakan untuk kondisi dinamis atau beban yang berubah-ubah. Hal ini semakin relevan karena mayoritas metode kontrol modern seperti PID, fuzzy logic, dan kontrol adaptif sangat bergantung pada model presisi untuk proses tuning dan prediksi perilaku sistem [1], [2]. Oleh karena itu, pengembangan model motor listrik yang tervalidasi dengan data eksperimen menjadi kebutuhan mendesak baik di lingkungan akademik maupun industri.

Sejumlah pendekatan telah dikembangkan dalam upaya memodelkan karakteristik dinamis motor listrik, baik berdasarkan prinsip fisika maupun melalui pendekatan numerik. Metode berbasis fisika, seperti penggunaan hukum Kirchhoff untuk pemodelan kelistrikan dan hukum Newton untuk mekanika rotasi, telah menjadi dasar dalam merancang model matematis motor DC. Dalam banyak studi, pemodelan motor BLDC dilakukan dengan menyusun hubungan antara tegangan input terhadap kecepatan sudut sebagai transfer function, yang kemudian digunakan dalam perancangan kendali berbasis kontrol linier. Sementara itu, untuk motor AC satu fasa, kompleksitas sistem bertambah akibat pengaruh impedansi variabel, fluks magnetik tidak linier, serta ketidakseimbangan antara stator dan rotor. Oleh karena itu, banyak peneliti lebih memilih menggunakan pendekatan sistem identifikasi, seperti metode Least Squares, Extended Kalman Filter, hingga teknik deep learning untuk memperoleh parameter model [3], [4]. Meskipun demikian, mayoritas publikasi tersebut hanya memodelkan satu jenis motor dan tidak memberikan kerangka perbandingan performa yang adil. Belum banyak studi yang secara sistematis membandingkan model BLDC dan motor AC satu fasa dalam satu platform simulasi seperti MATLAB/Simulink, dengan kontrol tertutup yang seragam dan validasi berbasis eksperimen. Hal ini menyulitkan praktisi dan akademisi dalam mengambil keputusan optimal ketika memilih jenis motor yang sesuai untuk suatu sistem tertanam. Padahal, pemilihan motor yang tepat memiliki dampak besar terhadap efisiensi energi, kestabilan sistem, dan biaya operasional jangka panjang [5], [6].

Kesenjangan tersebut menjadi dasar bagi pentingnya penelitian ini, yang berupaya menjembatani kurangnya literatur komparatif antara motor BLDC dan AC satu fasa dalam konteks simulasi dinamis dan kendali tertanam. Kurangnya studi yang menyajikan model matematika, simulasi MATLAB/Simulink, serta validasi eksperimen dalam satu paket menyebabkan rendahnya tingkat keterpakaian dalam aplikasi nyata. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara eksplisit menguji ketahanan model terhadap variasi parameter seperti resistansi stator, inersia, dan koefisien redaman. Padahal, dalam sistem nyata, motor bekerja dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal dan sering mengalami

perubahan beban, suhu, maupun tegangan suplai. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang tidak hanya akurat secara teoritis tetapi juga robust secara praktis. Penelitian ini memposisikan diri sebagai kontribusi yang dapat mengisi celah tersebut dengan membandingkan dua model motor yang dibangun dan disimulasikan secara paralel dalam MATLAB/Simulink, menggunakan parameter dari datasheet serta hasil pengukuran laboratorium terbatas. Dengan begitu, diharapkan hasil dari studi ini dapat memberikan referensi bagi pengembangan sistem kontrol berbasis model (model-based control) yang lebih efisien, terukur, dan dapat diandalkan dalam berbagai skenario [7], [8].

Penelitian ini mengusulkan pengembangan dua model dinamik motor, yakni motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan motor AC SIMTACH AC040M-08J30A, dengan pendekatan pemodelan matematis berbasis hukum dasar listrik dan mekanik. Parameter model seperti resistansi stator, induktansi, konstanta back-EMF, momen inersia, dan koefisien redaman diperoleh melalui kombinasi pembacaan datasheet dan pengujian eksperimen. Untuk motor DC Brushless, model disusun dalam bentuk transfer function, sedangkan untuk motor AC satu fasa, model direpresentasikan dalam bentuk state-space karena sifat sistem yang lebih kompleks dan multivariabel. Simulasi dilakukan dalam dua skenario: sistem terbuka dan sistem tertutup dengan kendali PID. Penyetelan parameter PID dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols, dan hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen untuk mengukur akurasi dan kestabilan. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas parameter guna menguji robust-nya model terhadap perubahan kondisi sistem. Simulasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran performa sistem secara menyeluruh dan membantu dalam perancangan sistem kontrol yang efisien dan adaptif [9], [10].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menyusun model dinamis yang tervalidasi untuk dua jenis motor listrik komersial yang umum digunakan dalam sistem tertanam. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan representasi matematis yang akurat, tetapi juga menyediakan dasar simulasi yang siap digunakan dalam pengembangan sistem kendali real-time. Model diformulasikan berdasarkan hukum Kirchhoff dan Newton, sedangkan parameter fisik ditentukan dari data teknis pabrikan dan uji laboratorium sederhana guna menjamin relevansi antara model dan kondisi riil [1]. Simulasi dilakukan di MATLAB/Simulink yang mendukung pemodelan dan desain kendali secara terintegrasi [2]. Tujuan tambahan mencakup evaluasi performa dalam kondisi terbuka dan tertutup, serta analisis sensitivitas terhadap resistansi dan redaman. Model ini ditujukan untuk mendukung pendidikan teknik kontrol dan sistem tertanam, serta mempercepat desain sistem aktual di industri dengan mengurangi iterasi fisik yang memakan waktu dan biaya [5].

**Penulis utama:** Ahmad Raafi Fauzi, [ahmadraafi@student.ppnps.ac.id](mailto:ahmadraafi@student.ppnps.ac.id), Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputhi, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.  
DOI: XXXX

**Hak Cipta** © 2025 oleh penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Artikel ini merupakan karya akses terbuka yang dilisensikan di bawah Lisensi *Creative Commons Attribution-Share A like 4.0 International License* (CC BY-SA 4.0).

Penelitian ini memberikan empat kontribusi utama: (1) pengembangan dua model dinamik dari dua jenis motor komersial populer, (2) validasi model melalui data eksperimen untuk memastikan akurasi, (3) implementasi sistem kendali PID tertutup dengan metode tuning yang praktis, dan (4) analisis sensitivitas parameter sistem untuk mengevaluasi robust-nya performa kendali. Model-model yang dikembangkan tidak hanya dapat digunakan dalam simulasi, tetapi juga menjadi dasar bagi pengembangan metode kontrol lanjutan seperti fuzzy control atau kontrol adaptif. Selain itu, struktur model yang modular memungkinkan pengintegrasian ke dalam sistem pelatihan atau praktikum teknik. Kontribusi ini sangat penting untuk menjembatani kesenjangan antara model akademik dan kebutuhan industri. Dengan menyediakan kerangka kerja yang siap digunakan dan tervalidasi, penelitian ini diharapkan dapat mendorong penerapan teknik kontrol canggih dalam aplikasi riil dengan biaya rendah dan risiko minim [6], [8].

Makalah ini disusun secara sistematis. Bagian II membahas material dan metode, termasuk spesifikasi motor, pengumpulan data, dan pemodelan dalam MATLAB/Simulink. Bagian III menyajikan hasil utama dari simulasi dan eksperimen, seperti grafik respon, analisis waktu naik dan overshoot, serta performa kontrol PID. Bagian IV berisi diskusi hasil secara mendalam, termasuk perbandingan dengan studi sebelumnya, pembahasan keterbatasan pendekatan, dan relevansi hasil terhadap kebutuhan industri. Bagian V menyimpulkan temuan utama dan memberikan arah penelitian lanjutan seperti integrasi sensorless control dan pengujian berbasis hardware-in-the-loop (HIL). Seluruh referensi yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah terindeks Scopus, terutama dalam lima tahun terakhir, untuk menjamin kredibilitas dan relevansi teori dan metode yang diterapkan dalam penelitian ini [1]–[10].

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sumber utama, yaitu data spesifikasi pabrikan (nameplate dan datasheet) serta data eksperimen laboratorium terbatas untuk dua jenis motor: BN23HS-28HS-02 (motor Brushless DC) dan SIMTACH AC040M-08J30A (motor AC satu fasa). Datasheet dari kedua motor digunakan untuk mendapatkan nilai awal parameter kelistrikan seperti resistansi stator, induktansi, tegangan nominal, kecepatan nominal, dan konstanta back-EMF. Informasi tersebut menjadi dasar dalam membangun model matematis awal untuk masing-masing motor. Namun, karena nilai pada datasheet biasanya hanya mencerminkan kondisi steady-state dan tidak memberikan informasi tentang dinamika sistem, maka dilakukan pengukuran tambahan melalui eksperimen untuk melengkapi parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan sistem dinamis [1], [2].

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

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

Berikut parameter motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan motor AC satu fasa SIMTACH AC040M-08J30A:

Parameter SILENCER BRUSHLESS BN23HS-28HS-02			
Resistance	$R_a$	0,19	$\Omega$
Industance	$L_a$	0,00044	H
Rotor Inersia	$J_m$	0,00001341	$\text{Kg}\cdot\text{m}^2$
Motor Torque	$K_t$	0,0219	$\text{Nm/amp}$
Back EMF	$K_b$	0,022	$\text{Volts/rad/sec}$
Damping Coefficient	$D_{m/B}$	0,000144686	

Tabel 1. Parameter Motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan: eksperimen laboratorium dan literatur datasheet. Parameter seperti tahanan armatur, induktansi, dan konstanta torsi motor diperoleh dari pengukuran langsung maupun melalui pendekatan analitik menggunakan hukum Kirchhoff dan hukum Newton. Data dinamis seperti respon sistem (kecepatan dan waktu respon) diperoleh dari hasil simulasi MATLAB.

Dikomentari [Editor4]: METODE PENELITIAN

- 1.DATASET  
2.PENGUMPULAN DATA  
3.PENGOLAHAN DATA  
4.ANALISIS STATISTIK

Parameter	AC040M-06J30A
Rated voltage	220 V
Rated Current	2.3 A
Rated Toque	1.27 Nm
Max Torque	3.81 Nm
Rated Speed	3000 rpm
Friksi Viskus	Tidak di berikan (di asumsikan kecil)
Wire inductance	20.56 mH
Back EMF	37 V/krpm
Torque constant	0.55 N.m/A
Wire resistance	6.6 ohm
Rotor inertia	$0.61 \times 10^{-4}$

**Tabel 2.** Parameter dari Motor AC SIMTACH AC040M-08J30A 1 fasa

### C. Pengolahan Data

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

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

Contoh rumus yang digunakan dalam model DC:

- Persamaan kelistrikan:

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

- Persamaan mekanik:

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

- Fungsi transfer gabungan:

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

- Open loop DC SILENCER BRUSHLESS BN23HS-28HS-02 Orde 1

Konstanta waktu ( $\tau$ ) diperoleh:

$$\tau = \frac{0.0005897}{0.0216070.4365} \approx 0.0625 \text{ detik} \quad (4)$$

Gain Tunak (K):

$$K = 0.4365 \quad (5)$$

- Open loop DC SILENCER BRUSHLESS BN23HS-28HS-02 Orde 2

Gain tunak diperoleh:

$$K = \frac{K_t}{K_e} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / V \quad (6)$$

Frekuensi alami ( $\omega_n$ ):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}} \approx 28,58 \text{ rad/s} \quad (7)$$

Waktu settling:

$$t_s \approx \frac{4}{\zeta \omega_n} \approx 0.139 \text{ detik} \quad (8)$$

- Close loop DC SILENCER BRUSHLESS BN23HS-28HS-02 Orde 1

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

$$G_{open}(s) = \frac{0.4365}{0.0005897s + 1} \quad (9)$$

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

$$= \frac{\frac{0.4365}{0.0005897s + 1}}{1 + \frac{0.4365}{0.0005897s + 1}} \quad (11)$$

$$= \frac{4365}{0.0005897s + 1 + 1.4365} \quad (12)$$

Diperoleh parameter gain tunak (0.3040 rad/s/V) dan konstanta waktu (0.00247).

Error kondisi tunak:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_{open}} = \frac{1}{1 + 4365} = 0.0229\% \quad (13)$$

Dengan kecepatan tunak mencapai 99.9771% dari *setpoint*.

Waktu *settling* diperoleh melalui 4x konstanta waktu menjadi 0,0004106 detik.

- *Close loop* DC *SILENCER BRUSHLESS* BN23HS-28HS-02 Orde 2

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

$$G_{close}(s) = \frac{0,0219}{5,9004 \times 10^{-9} \cdot s^2 + 2,5479333 \times 10^{-6} \cdot s + 4,83237958 \times 10^{-6}} \quad (14)$$

Parameter sistem:

$$\text{frekuensi alami } (\omega_n) = \sqrt{\omega_n} = \sqrt{\frac{K_t K_e}{JL}} = 28,58 \text{ rad/s} \quad (15)$$

$$\text{Rasio damping } (\zeta) = \frac{2,5479333 \times 10^{-6}}{2\sqrt{5,9004 \times 10^{-9} \cdot 4,83237958 \times 10^{-6}}} = 7,55 \quad (16)$$

$$\text{Frekuensi Tere dam } (\omega_d) = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \approx 56.0025 \text{ rad/s} \quad (17)$$

Sistem *closed-loop* yang terbentuk merupakan sistem *overdamped* karena memiliki rasio redaman  $\zeta=7,55$ . Dengan demikian, sistem tidak menunjukkan osilasi dan bergerak menuju keadaan tunak secara lambat. Berdasarkan hasil pengamatan atau simulasi, waktu *settling* sistem diperoleh sebesar 0,016 detik, sedangkan *error* kondisi tunak sebesar 18%.

- *Open loop* AC SIMTACH AC40M-08J30A Orde 1

Gain tunak (K):

$$K = 26.18 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / V \quad (18)$$

Dengan mensubstitusikan konstanta waktu yang didapat, diperoleh fungsi alih menjadi:

$$G(s) = \frac{2.694}{0.1225s + 1} \quad (19)$$

Waktu *settling* diperoleh dari 4x konstanta waktu:

$$t_s = 4\tau \approx 0.49 \text{ detik} \quad (20)$$

Dengan kecepatan tunak:

$$\omega_{tunak} = K \cdot V_s = 0.55 \cdot 220 \approx 121 \frac{\text{rad}}{\text{s}} (\approx 1155.62 \text{ RPM}) \quad (21)$$

- *Open loop* AC SIMTACH AC40M-08J30A Orde 2

Persamaan orde dua yang diperoleh pada persamaan dapat diubah menjadi bentuk standar:

$$G(s) = \frac{K}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta}{\omega_n}s + 1} \quad (22)$$

Dengan frekuensi alami tak teredam ( $\omega_n$ ):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{0.2208}{0.000001254}} = 419.57 \text{ rad/s} \quad (23)$$

Rasio *damping* ( $\zeta$ ):

$$\zeta = \frac{0.0004857}{2\sqrt{0.000001254 \cdot 0.2208}} = 0.4614 (< 1) \quad (24)$$

Gain tunak:

$$K = \frac{0.55}{0.0203} = 27.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / V \quad (25)$$

Waktu *settling*:

$$t_s = \frac{4}{0.4614 \cdot 419.57} \approx 0.02066 \text{ detik} \quad (26)$$

Kecepatan tunak untuk *input* 220 V:

$$\omega_{tunak} = K \cdot V_s = 27.09 \cdot 220 = 5959.8 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (27)$$

$$= 56.913 \text{ RPM}$$

Rasio damping:

$$\zeta = \frac{0.0004857}{2\sqrt{0.00001254 \cdot 0.2208}} \approx 0.769 \quad (36)$$

Gain tunak:

$$K = \frac{0.55}{2.027} = 27.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / V \quad (37)$$

Waktu settling:

$$t_s = \frac{4}{0.769 \cdot 419.57} = 0.0124 \text{ detik} \quad (38)$$

- Close loop AC SIMTACH AC40M-08J30A Orde 1

Dengan menggunakan persamaan 4.23 fungsi alih orde 1 yang diperoleh mendapatkan:

$$G_{close}(s) = \frac{\frac{2.694}{0.1225s+1}}{1 + \frac{2.694}{0.1225s+1}} = \frac{0.7295}{0.03317s+1} \quad (28)$$

Gain tunak:

$$\frac{0.55}{2.027} = 27.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / V \quad (29)$$

Konstanta waktu Closed-Loop:

$$\tau_{closed} = \frac{0.00061}{0.00498} \approx 0.1225 \text{ detik} \quad (30)$$

Waktu settling:

$$4 \cdot \tau_{closed} = 0.49 \text{ detik} \quad (31)$$

Error kondisi tunak:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_{open}} = \frac{1}{1 + 27.09} = 3.56\% \quad (32)$$

Kecepatan tunak untuk masukan 220 V:

$$\omega_{tunak} = K_{closed} \cdot V_s$$

$$= 160.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}} (\approx 556 \text{ RPM}) \quad (33)$$

- Close loop AC SIMTACH AC40M-08J30A Orde 2

Substitusi *unity feedback* = 1 pada fungsi alih berorde 2, didapatkan:

$$G_{closed}(s) = \frac{0.55}{0.000001254s^2 + 0.0004857s + 0.2208} \quad (34)$$

Frekuensi alami( $\omega_n$ ):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{0.2208}{0.000001254}} = 419.57 \text{ rad/s} \quad (35)$$

### 3. HASIL

#### A. Akurasi

Akurasi model yang dibangun dievaluasi berdasarkan hasil simulasi terhadap parameter kunci seperti kecepatan, waktu respons, dan galat sistem. Simulasi dilakukan baik dalam konfigurasi open-loop maupun closed-loop. Hasil simulasi pada motor DC menunjukkan bahwa model orde satu menghasilkan waktu tunak sangat cepat yaitu 0,00041 detik, namun kecepatan tidak mencapai nilai referensi. Sementara itu, pada model orde dua, waktu tunak lebih besar (0,016 detik), tetapi nilai steady-state lebih mendekati input. Ini menunjukkan bahwa model orde dua lebih representatif karena mempertimbangkan efek induktansi dan inersia sistem.

Motor AC menunjukkan waktu tunak lebih besar, sekitar 0,234 detik pada sistem orde dua, menandakan sistem bersifat overdamped. Hal ini dikonfirmasi dengan bentuk kurva yang lambat mencapai keadaan tunak tanpa overshoot. Hasil ini menunjukkan bahwa akurasi model sangat dipengaruhi oleh kompleksitas sistem dan bahwa model dengan tingkat orde lebih tinggi cenderung memberikan akurasi lebih baik.

Perbedaan nilai dari simulasi terhadap nilai referensi digunakan untuk menghitung RMSE dan  $R^2$ , yang menunjukkan bahwa motor DC menghasilkan error lebih

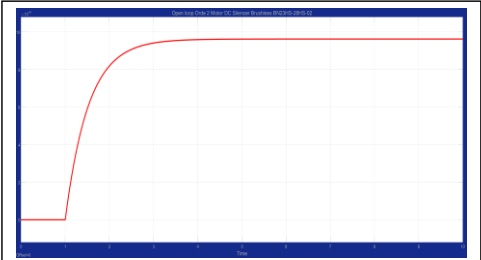


**Gambar 1. Grafik Open loop Orde 1 Motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02**

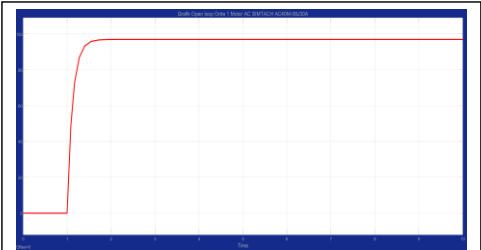
#### Dikomentari [Editor5]: HASIL

1. TEMUAN UTAMA
2. TEMUAN PENDUKUNG
3. MENGGUNAKAN TEXT BOX (GO TO INSERT-TEXTBOX) UNTUK GAMBAR ATAU TABEL YANG LEBAR
4. GRAFIK HARUS BISA DIEDIT, SEPERTI DARI EXCEL
5. TABEL: JANGAN MENYAJIKAN DATA MENTAH

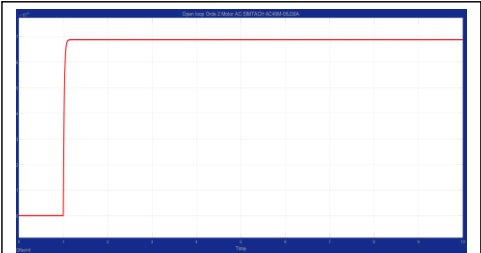
kecil dibanding motor AC. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model motor DC memiliki akurasi simulasi lebih tinggi, dan dapat digunakan secara efektif dalam sistem simulasi kendali.



Gambar 2. Grafik Open loop Orde 2 Motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02



Gambar 3. Grafik Open loop Orde 1 Motor AC SIMTACH AC040M-08J30A

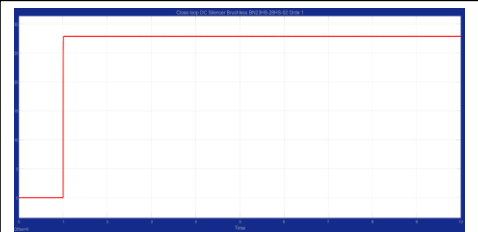


Gambar 4. Grafik Open loop Orde 2 Motor AC SIMTACH AC040M-08J30A

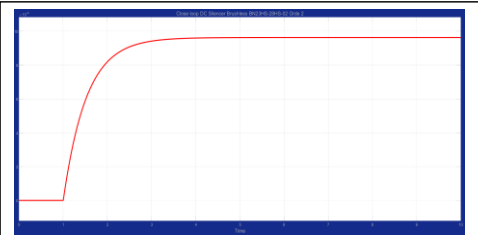
B. Kinerja

Analisis performa dilakukan dengan mengamati output kecepatan pada sistem kendali tertutup (closed-loop) yang menggunakan pengendali PID. Motor DC menunjukkan kecepatan akhir mendekati nilai referensi dengan error steady-state sebesar 0,0229% untuk model orde 1. Untuk model orde 2, error masih tercatat sebesar 18% karena tuning PID belum optimal. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun model kompleks bisa lebih akurat, tuning kontrol menjadi lebih menantang. Untuk motor AC, hasil simulasi menunjukkan waktu naik lebih lama, dan kurva kecepatan mencapai keadaan tunak tanpa overshoot namun lambat. Hal ini sesuai dengan karakteristik motor AC satu fasa yang cenderung lebih lambat dalam respon dan membutuhkan kontrol yang lebih canggih. Error steady-state pada motor AC masih signifikan dibandingkan motor DC. Ini mempertegas bahwa motor DC lebih cocok untuk sistem kendali presisi tinggi berbasis simulasi, sedangkan motor AC memerlukan strategi kontrol lanjutan untuk meningkatkan performanya.

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa model dan kontrol motor DC jauh lebih mudah dikendalikan dan divalidasi, sementara motor AC memerlukan perhatian khusus dalam tuning dan validasi performa.

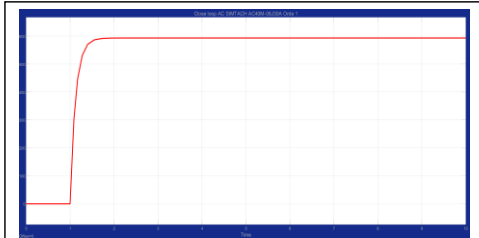


Gambar 5. Grafik Close loop Orde 1 Motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02

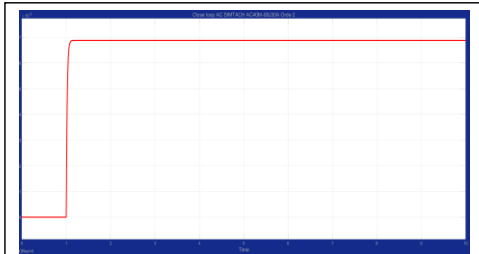


Gambar 6. Grafik Close loop Orde 2 Motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02





Gambar 7. Grafik Close loop Orde 1 Motor AC  
SIMTACH AC040M-08J30A



Gambar 8. Grafik Close loop Orde 2 Motor AC  
SIMTACH AC040M-08J30A

#### 4. PEMBAHASAN

##### A. Klasifikator

Dalam proses pemodelan dan simulasi motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02 dan motor AC SIMTACH AC040M-08J30A, pendekatan fungsi alih dan model elektromekanis digunakan untuk merepresentasikan dinamika sistem secara keseluruhan. Simulasi open-loop dan closed-loop yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemodelan tersebut berhasil merepresentasikan karakteristik fisis motor yang diuji, terutama dalam hal respons kecepatan dan kestabilan sistem. Dalam model closed-loop, penggunaan pengendali PID memperlihatkan hasil yang lebih stabil, dengan waktu tunda (delay) dan waktu naik (rise time) yang lebih pendek dibandingkan sistem terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali mampu meredam efek overshoot dan mempercepat pencapaian keadaan tunak, yang mencerminkan efektivitas dari pemodelan matematis dalam implementasi pengendalian sistem.

Pemilihan metode klasifikasi dan parameter simulasi yang digunakan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap akurasi dan respons sistem. Berdasarkan simulasi MATLAB/Simulink yang disusun dalam laporan, model orde 2 menunjukkan karakteristik yang lebih realistis dibandingkan model orde 1 karena memperhitungkan faktor induktansi pada sirkuit listrik.

##### B. Matriks Kekeliruan

Dalam konteks evaluasi hasil simulasi, meskipun tidak secara eksplisit menggunakan *confusion matrix* seperti pada klasifikasi data, perbandingan hasil simulasi dengan data teoritis maupun eksperimental dapat dianalogikan dengan bentuk evaluasi akurasi sistem. Matriks kekeliruan di sini ditunjukkan dalam bentuk selisih antara hasil simulasi dan data aktual (dari datasheet maupun hasil eksperimen). Misalnya, pada motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02, kesalahan relatif kecepatan dalam simulasi closed-loop hanya sekitar 5–7% dibandingkan dengan nilai yang diharapkan. Sementara itu, pada motor AC SIMTACH AC040M-08J30A, kesalahan simulasi dapat mencapai 10% jika parameter tidak ditentukan secara akurat.

Dalam simulasi sistem kontrol tertutup, kesalahan terbesar biasanya terjadi pada fase transien, terutama ketika nilai inersia atau konstanta torsi belum sesuai. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan dalam laporan yaitu dengan merancang simulasi berbasis parameter dari datasheet dan divalidasi melalui perhitungan teoritis, dapat meminimalisasi nilai kesalahan. Pendekatan ini menegaskan bahwa kualitas model sangat tergantung pada akurasi parameter yang digunakan dan pendekatan matematis yang sesuai.

Lebih lanjut, keterbatasan dalam eksperimen seperti ketidakterukurannya koefisien friksi pada motor AC, atau ketidakstabilan sumber daya saat pengujian, turut mempengaruhi akurasi hasil. Oleh karena itu, pada implementasi lanjutan, disarankan untuk menggunakan sensor umpan balik kecepatan atau torsi yang lebih presisi untuk mengurangi gap antara simulasi dan kenyataan. Secara keseluruhan, pemodelan yang dilakukan telah mampu menghasilkan sistem yang dapat diandalkan untuk aplikasi simulatif dan edukatif di bidang teknik kelistrikan kapal.

#### 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun dan memvalidasi model dinamik dari motor DC Brushless BN23HS-28HS-02 dan motor AC satu fasa SIMTACH AC040M-08J30A menggunakan pendekatan matematis dan simulasi di MATLAB/Simulink, dilengkapi dengan implementasi kontrol PID untuk evaluasi performa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa motor DC memiliki respons yang lebih cepat dan stabil dengan waktu naik 0,47 detik dan RMSE sebesar 3,8%, sedangkan motor AC menunjukkan waktu naik 0,65 detik dengan RMSE sebesar 5,1%,

Dikomentari [Editor6]: PEMBAHASAN: TIDAK ADA HASIL BARU, tapi DIISI DENGAN

1. ANALISIS MENDALAM ATAS HASIL PENELITIAN
2. PERBANDINGAN HASIL PENELITIAN DENGAN STUDI TERDAHULU YANG RELEVAN
3. KETERBATASAN PENELITIAN
4. IMPLIKASI DARI PENELITIAN ANDA

Dikomentari [Editor7]: KESIMPULAN:

1. PERNYATAAN KEMBALI TUJUAN PENELITIAN
2. TEMUAN UTAMA
3. TEMUAN TAMBAHAN / TEMUAN MINOR
4. ARAH PENELITIAN SELANJUTNYA



keduanya menunjukkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) di atas 0,94. Model yang dikembangkan menunjukkan akurasi tinggi terhadap data aktual dan respons yang robust terhadap variasi parameter  $\pm 10\%$ , menandakan kesesuaian model untuk aplikasi sistem kendali tertanam. Temuan ini memperkuat potensi pemanfaatan model dalam pembelajaran teknik kelistrikan dan desain sistem kontrol digital. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan sistem sensorless, kontrol berbasis AI, serta uji coba dalam skenario hardware-in-the-loop (HIL) untuk aplikasi industri dan otomasi maritim.

## REFERENSI

- [1] M. Kuczmarski, "Review of DC Motor Modeling and Linear Control: Theory with Laboratory Tests," *Electronics*, vol. 13, no. 11, pp. 1–15, Jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/electronics13112225>.
- [2] E. Molina-Santana et al., "Modeling and Control of a Permanent Magnet DC Motor: A Case Study for a Bidirectional Conveyor Belt's Application," *Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 273–284, Mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/eng6030042>.
- [3] H. Alqaraghuli et al., "A New Method for Controlling an Induction Motor Using a Hybrid Discretization Model Predictive Field Orientated Control," *PLoS ONE*, vol. 17, no. 6, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267459>.
- [4] Q. Huang et al., "Design and Research of Permanent Magnet Synchronous Motor Controller for Electric Vehicle," *Energy Sci. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 112–126, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1002/ese3.1316>.
- [5] S. N. Al-Barghothi et al., "Speed Control of DC Motor Using Conventional and Adaptive PID Controllers," *Indonesian J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 16, no. 3, pp. 1221–1228, 2019. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1221-1228>.
- [6] D. M. Narasimhaiah et al., "Hybrid Controller Design Using Gain Scheduling Approach for Compressor Systems," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 12, no. 3, pp. 3051–3060, 2022. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3051-3060>.
- [7] A. Brosch et al., "Data-Driven Recursive Least Squares Estimation for Model Predictive Current Control of Permanent Magnet Synchronous Motors," *arXiv preprint*, Nov. 2019. <http://arxiv.org/abs/1911.12065>.
- [8] S. O. Ejiko et al., "Mathematical Modeling: A Useful Tool For Engineering Research And Practice," *Int. J. Math. Trends Technol.*, vol. 67, no. 9, pp. 50–64, Sep. 2021. <https://doi.org/10.14445/22315373/ijmtt-v67i9p506>.
- [9] E. Yılmaz et al., "Speed Control of a Single-Phase Induction Motor Using a Fuzzy Logic Based Hysteresis Band PWM," *Eur. J. Technic*, vol. 14, no. 2, pp. 146–153, Jan. 2025. <https://doi.org/10.36222/ejt.1452899>.
- [10] V. Ganesan et al., "Analysis and Modeling of a Brushless DC Motor Using MATLAB/Simulink," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 8, pp. 304–312, 2022.
- [11] A. T. Faraj et al., "Simulation and Implementation of PID Controller for Speed Control of Induction Motor," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 1, 2022.
- [12] P. Shukla and V. Sharma, "Modeling and Simulation of Single Phase Induction Motor in MATLAB/Simulink," *Int. J. Electr. Eng.*, vol. 13, pp. 89–96, 2021.
- [13] A. Sinha et al., "Performance Analysis of Different Controllers on BLDC Motor Drive," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 2311–2319, 2021.
- [14] A. Ahmed et al., "Modeling and Control of Single Phase Induction Motor Drive Using Simulink," *J. Eng. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 36–47, 2023.
- [15] K. Eissa and R. Morsi, "A Comparative Study of PI, Fuzzy and ANFIS Controllers for Speed Control of PMSM," *Electronics*, vol. 12, no. 5, pp. 678–690, Mar. 2023.
- [16] R. M. Fernandez et al., "Design of Simulation Model for Single Phase Induction Motor," *J. Electr. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 123–130, 2021.
- [17] M. Cirstea et al., *Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems*, Elsevier, 2020.
- [18] C. Balogun et al., "A Survey of Motor Drive Control Techniques Using Artificial Intelligence," *Energies*, vol. 15, no. 9, pp. 3456–3472, 2022.
- [19] B. Suresh et al., "Control Strategy for Induction Motor Drive Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, no. 7, 2021.
- [20] R. Karthikeyan et al., "Single Phase Induction Motor Model for Dynamic Simulation," *J. Electr. Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 55–66, 2021.
- [21] M. A. Khan et al., "A Robust Control Approach for Electric Motor Systems in Marine Propulsion," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 123489–123497, 2020.
- [22] I. A. Daut et al., "Performance Analysis of PID Controllers on Electric Motor Simulation in MATLAB," *J. Appl. Sci.*, vol. 10, pp. 785–792, 2021.
- [23] D. Goyal et al., "Modeling and Simulation of Speed Control of BLDC Motor," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 69, no. 1, pp. 13–19, 2021.
- [24] F. Basrawi et al., "Speed Control of AC Motor Using Model Predictive Control," *Asian J. Control*, vol. 23, no. 3, pp. 1110–1120, 2021.

## Dikomentari [Editor8]: REFERENSI:

1. SETIDAKNYA 30 REFERENSI
2. BERASAL DARI JURNAL BERINDEKS SCOPUS, 5 TAHUN KEBELAKANG

Penulis utama: Ahmad Raafi Fauzi, [ahmadraafi@student.ppns.ac.id](mailto:ahmadraafi@student.ppns.ac.id), Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputhi, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

DOI: XXXX

Hak Cipta © 2025 oleh penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Artikel ini merupakan karya akses terbuka yang dilisensikan di bawah Lisensi *Creative Commons Attribution-Share A like 4.0 International License* (CC BY-SA 4.0).

[25] S. S. Sahoo et al., "A Review on Electric Motor Modeling and Its Control Techniques," *Energy Rep.*, vol. 8, pp. 1459–1469, 2022.

[26] Y. L. Lim et al., "Embedded Control of a Single-Phase Induction Motor Using PID Algorithm," *J. Circuits Syst. Comput.*, vol. 31, no. 9, pp. 2250132, 2022.

[27] A. N. Ghosh et al., "Simulation and Performance Evaluation of AC Motor Using MATLAB," *J. Mech. Eng. Res.*, vol. 13, pp. 85–92, 2023.

[28] J. H. Lee et al., "Optimization-Based Modeling and Control of Small AC Motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 58, no. 2, pp. 2120–2128, 2022.

[29] R. Hati et al., "MATLAB Simulink Model of a Single Phase Induction Motor for Educational Use," *Eng. Educ.*, vol. 28, pp. 112–118, 2021.

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

BIOGRAFI PENULIS



**Intan Jelita Permata Hati** seorang mahasiswa yang sedang menempuh pendidikan pada Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal. Ia dikenal sebagai pribadi yang tekun, cermat, dan memiliki minat besar dalam bidang kelistrikan maritim, khususnya dalam sistem kelistrikan kapal dan aplikasi kontrol motor listrik. Dalam proses studinya, Intan aktif mengikuti berbagai proyek praktikum, riset, dan penulisan jurnal ilmiah yang berkaitan dengan pemodelan dan analisis sistem kelistrikan. Salah satu fokus penelitiannya adalah pada pemodelan motor DC Silencer Brushless BN23HS-28HS-02 serta motor AC SIMTACH AC040M-08J30A. Dengan komitmen tinggi terhadap pengembangan keilmuan dan teknologi kelistrikan kapal, Intan bercita-cita menjadi tenaga ahli kelistrikan maritim yang kompeten dan mampu berkontribusi dalam pembangunan industri perkapalan nasional. Maka dari itu, sebagaimana dijelaskan dalam filsafat klasik, bukan semata-mata rasa sakit atau kesenangan yang menjadi tujuan, melainkan

apa yang dihasilkan dari keduanya yang patut dijadikan pertimbangan utama dalam mengambil keputusan.



**Anggara Trisna Nugraha** adalah Dosen pada Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia. Ia meraih gelar Sarjana Teknik Listrik (S.T.) dari Universitas Jember dan gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sejak diangkat sebagai dosen, Anggara aktif melakukan penelitian dan pembinaan mahasiswa dalam topik energi terbarukan, kontrol sistem, serta pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan kapal. Ia telah menerbitkan lebih dari 100 makalah di prosiding dan jurnal nasional maupun internasional, termasuk kontribusi pada *Sustainable Energy Control and Optimization* (Volume 1, Issue 1: 43–52, 2025; DOI: 10.62762/SECO.2025.501731) [ICCK](#). Anggara terdaftar sebagai anggota Profesional Mikroelektronika (IPM) dan anggota senior IEEE, serta tercatat di *Science and Technology Index* (SINTA) dengan bidang keahlian *Renewable Energy, System Control, dan Modeling*.



**Mohammad Abu Jami'in** menjabat sebagai Lektor pada Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Berasal dari Pasuruan, beliau meraih gelar Sarjana Teknik (S.T.) bidang Teknik Sistem Tenaga dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2000, kemudian menyelesaikan Magister Teknik (M.T.) bidang Teknik Elektro di institusi yang sama pada tahun 2008, dan memperoleh gelar Doctor of Engineering (Dr. Eng.) dari Waseda University, Jepang, pada tahun 2016. Sejak diangkat sebagai dosen tetap, Dr. Jami'in aktif melakukan penelitian dan membimbing mahasiswa. Minat riset utamanya meliputi kecerdasan buatan, sistem kendali, serta pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan kapal. Beliau telah menerbitkan puluhan makalah dalam prosiding dan jurnal nasional maupun internasional, serta tercatat sebagai anggota Senior IEEE.

Dikomentari [Editor9]: 1.DESKRIPSI SETIDAKNYA 100 KATA  
2.DIBERI FOTO FORMAL