

ALGORITMA PID PADA HMI NEXTION UNTUK MENGATUR KECEPATAN BLDC MOTOR PADA MESIN CENTRIFUGE

**Farit Ardiyanto*¹, Slamet Pambudi², Emanuel Budi Raharjo³, Joko Yunianto Prihatin⁴,
Nurtian Ardhiatama⁵, Afnan Muthi NurArifin⁶**

^{1,2,3,5,6}Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta, Jl. Raya Solo-Baki Km 2 Kwarasan Sukoharjo Jawa Tengah Kode Pos 57552

⁴Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta, Jl. Raya Solo-Baki Km 2 Kwarasan Sukoharjo Jawa Tengah Kode Pos 57552

jokoyp.sttw@gmail.com*

faried2402@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan dan evaluasi sistem kontrol kecepatan motor BLDC (Brushless DC motor) menggunakan pengendali PID+DoM (derivative-on-measurement) yang dilengkapi dengan fitur anti-windup. Implementasi dilakukan dengan menjadikan Nextion HMI sebagai unit kontrol utama, yang diterapkan pada mesin sentrifuge. Dalam arsitektur sistem ini, Nextion HMI berperan sebagai komputasi kontrol utama. HMI dikonfigurasi dengan parameter sampling time 150 ms dan parameter tuning Kp 0,25, Ki 0,25, serta Kd 0,15. HMI kemudian menghasilkan sinyal PWM 10-bit yang dikirimkan ke Arduino untuk menggerakkan motor. Pengujian dilakukan pada empat setpoint kecepatan yang berbeda: 1000, 1500, 2000, dan 2500 rpm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat baik, dengan steady-state error (SSE) yang mendekati nol. Sistem juga menunjukkan rise time yang cepat ($\leq 0,45$ detik), overshoot yang terkendali (2–10,7%), dan settling time yang efisien, umumnya berada dalam rentang 1,35–3,0 detik. Pengecualian terjadi pada setpoint 1500 rpm, di mana settling time tercatat lebih lama, yaitu sekitar 10,65 detik. Temuan ini membuktikan bahwa arsitektur "Nextion-as-Controller" merupakan solusi yang layak untuk aplikasi kontrol loop dengan bandwidth menengah. Keunggulan utamanya adalah kemudahan tuning parameter langsung di HMI dan penyederhanaan firmware pada mikrokontroler. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi PID+DoM+anti-windup pada platform HMI, penggunaan sinyal PWM 10-bit, dan evaluasi performa kuantitatif pada berbagai setpoint. Keterbatasan utama dari penelitian ini adalah determinisme waktu pada HMI dan resolusi sampling yang belum optimal.

Kata Kunci: brushless DC motor, kontrol, kecepatan, mesin sentrifuge

Abstract

This research aim to develop and evaluate a BLDC (Brushless DC motor) speed control system using a PID+DoM (derivative-on-measurement) controller equipped with an anti-windup feature. Implementation was carried out by making Nextion HMI the main control unit, which was applied to the centrifuge machine. In this system architecture, Nextion HMI acts as the main control computing. The HMI is configured with a sampling time parameter of 150 ms and

tuning parameters of K_p 0.25, K_i 0.25, and K_d 0.15. The HMI then generates a 10-bit PWM signal which is sent to the Arduino to drive the motor. Testing was performed at four different speed setpoints: 1000, 1500, 2000, and 2500 rpm. Experimental results show that the system has excellent performance, with a steady-state error (SSE) approaching zero. The system also exhibits fast rise times (≤ 0.45 seconds), controlled overshoot (2–10.7%), and efficient settling times, typically in the range of 1.35–3.0 seconds. The exception occurred at the 1500 rpm setpoint, where the settling time was recorded as longer, namely around 10.65 seconds. These findings demonstrate that the “Nextion-as-Controller” architecture is a viable solution for medium-bandwidth loop control applications. Its main advantages are the ease of direct parameter tuning on the HMI and the simplification of firmware on the microcontroller. The main contribution of this research lies in the integration of PID+DoM+anti-windup on the HMI platform, the use of 10-bit PWM signals, and quantitative performance evaluation at various setpoints. The main limitations of this study are the time determinism of the HMI and the suboptimal sampling resolution.

Keywords: brushless DC motor, control, speed, centrifuge machine

I. LATAR BELAKANG

Motor BLDC (Brushless DC motor) semakin lazim digunakan dalam perangkat industri dan biomedis ringkas berkat efisiensi energi yang tinggi, kerapatan daya yang superior, dan respons dinamis yang cepat. Karakteristik ini sangat krusial, terutama pada aplikasi seperti sentrifug, yang menuntut waktu percepatan yang singkat dan stabilitas kecepatan yang tinggi untuk memastikan proses dan hasil yang akurat [1], [2], [3], [4].

Tantangan dalam Pengendalian BLDC. Pengendalian motor BLDC tidak luput dari tantangan teknis. Fenomena seperti torque ripple akibat komutasi, keterbatasan sensor pada kecepatan rendah, dan efek back-EMF yang memengaruhi saturasi aktuator kerap terjadi. Berbagai faktor ini dapat berdampak pada overshoot, waktu pemulihan, dan repeatability sistem, sebagaimana didokumentasikan dalam banyak literatur [1], [2], [5], [6], [7], [8].

Meskipun sederhana dan efisien, pengatur PID (proportional–integral–derivative), yang masih mendominasi kontrol kecepatan, sering kali menghadapi dilema tuning. Hal ini merujuk pada kompromi yang harus dibuat antara rise time, overshoot, robustness, dan kemampuan untuk menolak gangguan [9], [10]. Studi terbaru merekomendasikan penggunaan struktur realizable/filtered PID untuk meningkatkan stabilitas sistem di tengah kebisingan dan ketidakpastian [10], [11], [12].

Inovasi dalam Desain Pengendali. Untuk memastikan performa transien yang konsisten, desain modern sering mengadopsi mekanisme anti-windup, yang umumnya diimplementasikan melalui back-calculation. Pendekatan ini efektif dalam menekan overshoot dan mempercepat settling time ketika terjadi saturasi pada aktuator [3], [8], [13]. Selain itu, penggunaan DoM (derivative-on-measurement) berfungsi untuk mencegah derivative kick dan mengurangi sensitivitas terhadap sinyal kecepatan yang terkuantisasi dari Hall sensor [5], [11], [12].

Karena pengendali dioperasikan pada HMI, realisasi waktu diskrit menjadi sangat penting. Metode backward-difference untuk integral dan derivatif, yang sesuai dengan implementasi berbasis timer, terbukti menjaga robustness sistem [4], [14], [15]. Nextion HMI sendiri

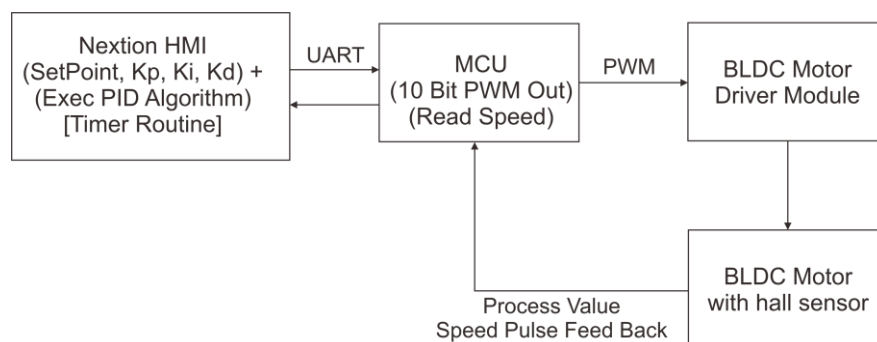
menyediakan model event-driven dan komponen Timer periodik yang memfasilitasi loop sampled-data, memungkinkan tuning setpoint dan gain langsung melalui layar.

Implementasi dan Hasil Penelitian. Berdasarkan temuan literatur, penelitian ini mengimplementasikan pengendali PID diskrit berbasis timer ($T_s=150$ ms; $K_p=0,25$; $K_i=0,25$; $K_d=0,15$) dengan fitur DoM dan anti-windup back-calculation pada Nextion HMI. Keluaran PWM 10-bit dari HMI kemudian digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor BLDC pada mesin sentrifug melalui Arduino. Sistem diuji pada empat setpoint (1000, 1500, 2000, dan 2500 rpm) menggunakan metrik rise time, persentase overshoot, settling time ($\pm 2\%$), dan steady-state error (SSE).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang kuat: SSE mendekati nol, rise time $\leq 0,45$ detik, overshoot 2–10,7%, dan settling time 1,35–3,0 detik. Terdapat pengecualian pada setpoint 1500 rpm, di mana settling time tercatat sekitar 10,65 detik. Temuan ini secara keseluruhan konsisten dengan tren yang dilaporkan dalam literatur terbaru tentang BLDC dan PID [1], [9], [16], [17].

II. METODE PENELITIAN

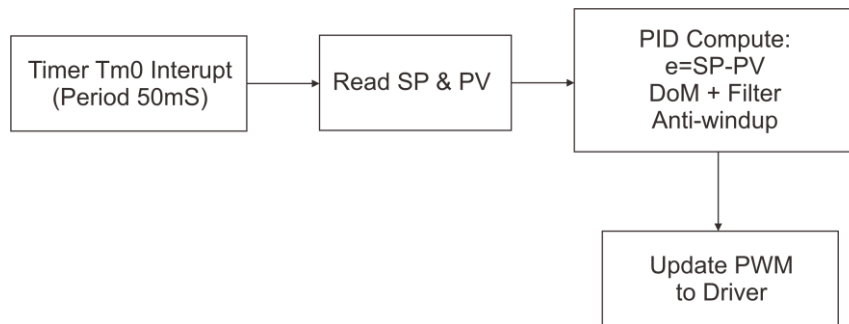
Platform perangkat keras penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama: motor BLDC beserta drivernya, sensor kecepatan untuk umpan balik, Nextion HMI 7 inci sebagai antarmuka pengguna, dan mikrokontroler yang bertugas menghasilkan sinyal PWM 10-bit.



Gambar 1. Arsitektur sistem drive Nextion HMI–MCU–BLDC dengan umpan balik kecepatan.

Arsitektur Sistem. Nextion HMI tidak hanya berfungsi sebagai antarmuka visual untuk menampilkan setpoint dan parameter PID, tetapi juga bertindak sebagai unit kontrol utama. Melalui fitur Timer periodiknya, HMI menjalankan algoritma kontrol secara berkala. Mikrokontroler, yang terhubung dengan HMI, bertindak sebagai perantara, menerjemahkan referensi dari HMI menjadi perintah yang mengendalikan aktuator motor.

Strategi Kontrol yang Diterapkan. Pada sisi kontrol, penelitian ini mengadopsi beberapa strategi penting untuk meningkatkan kinerja sistem. Pertama, digunakan metode derivative-on-measurement yang dilengkapi dengan penyaringan ringan (light filtering) untuk meminimalkan dampak noise dari sensor kecepatan. Kedua, sistem menerapkan fitur anti-windup berbasis back-calculation.



Gambar 2. Rutinitas PID yang digerakkan oleh pengatur waktu pada Nextion HMI (derivative-on-measurement dan anti-windup).

Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga robustness sistem, terutama saat terjadi saturasi aktuator atau gangguan sensor. Kombinasi dari strategi-strategi ini diharapkan mampu memastikan stabilitas dan performa sistem secara keseluruhan. [13], [16]. Persamaan pengontrol, detail implementasi, dan metrik performa dirangkum di bawah ini.

Continuous-time PID (parallel form) :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

K_p adalah penguatan proporsional

K_i adalah penguatan integral

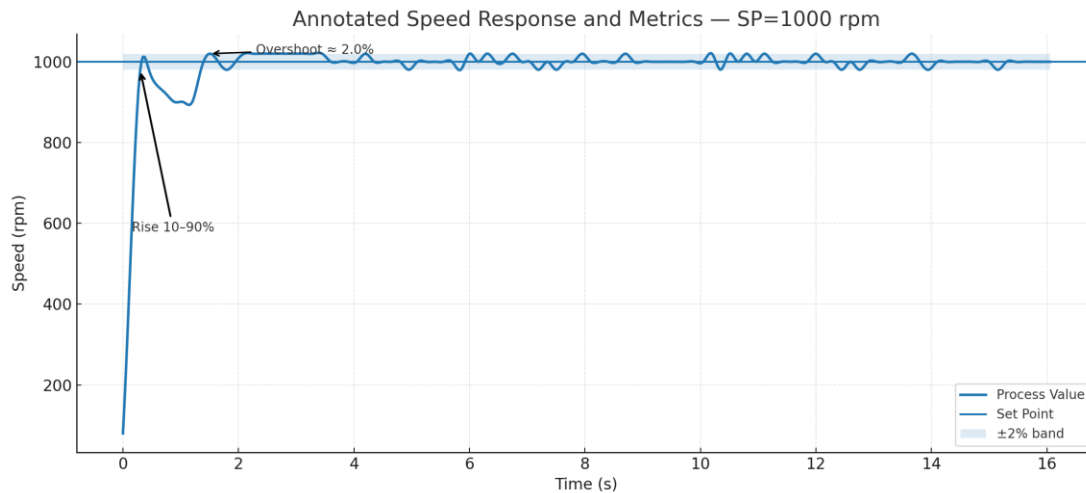
K_d adalah penguatan derivatif

U(t) adalah waktu kontinu (detik).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

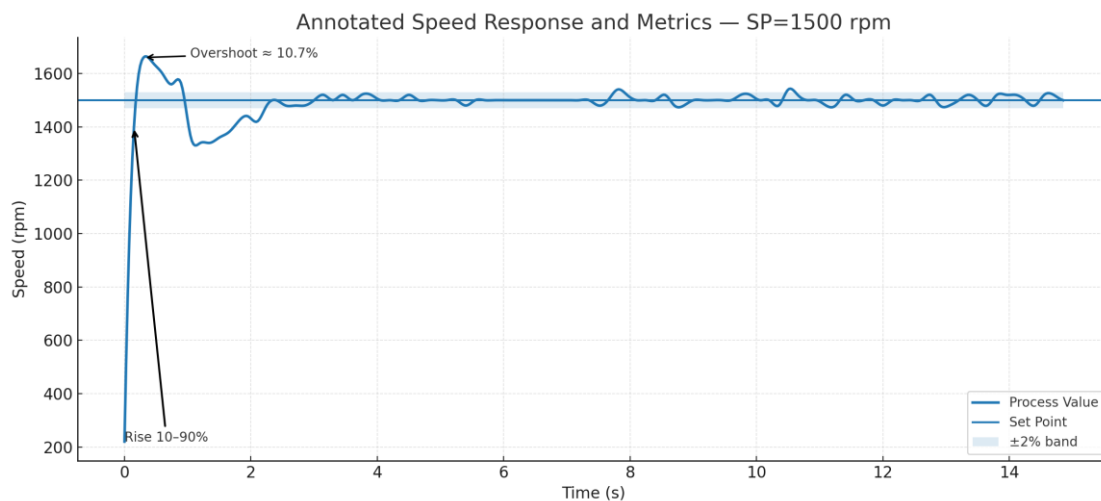
Berdasarkan data yang diperoleh dari eksperimen, sistem menunjukkan respons yang sangat baik. Dari kondisi awal 80 rpm, kecepatan motor berhasil mencapai 90% dari setpoint (SP) dalam waktu yang sangat singkat, yaitu sekitar 0,15 detik. Pada setpoint 1000 rpm, performa sistem terbilang optimal. Pengujian menunjukkan overshoot yang sangat kecil, hanya 2,0%. Waktu settling (settling time) untuk mencapai $\pm 2\%$ dari setpoint (antara 980–1020 rpm) juga efisien, yaitu sekitar 1,35 detik. Lebih lanjut, pada kondisi tunak, sistem berhasil mempertahankan steady-state error (SSE) yang mendekati nol, dengan fluktuasi kecepatan yang minimal (± 20 rpm). Hal ini mengindikasikan bahwa peredaman (damping) sistem sudah memadai dan akurasi yang dicapai sangat tinggi, sesuai dengan tujuan penelitian. Secara detail dijelaskan pada gambar 3 dibawah ini.

Dari hasil pengujian, sistem menunjukkan overshoot yang signifikan pada setpoint (SP) 1500 rpm, mencapai 10,7% dengan kecepatan puncak 1660 rpm. Namun, waktu naik (rise time) tetap cepat, sekitar 0,15 detik. Meskipun rise time cepat, settling time pada setpoint ini tergolong lambat, yaitu sekitar 10,65 detik.



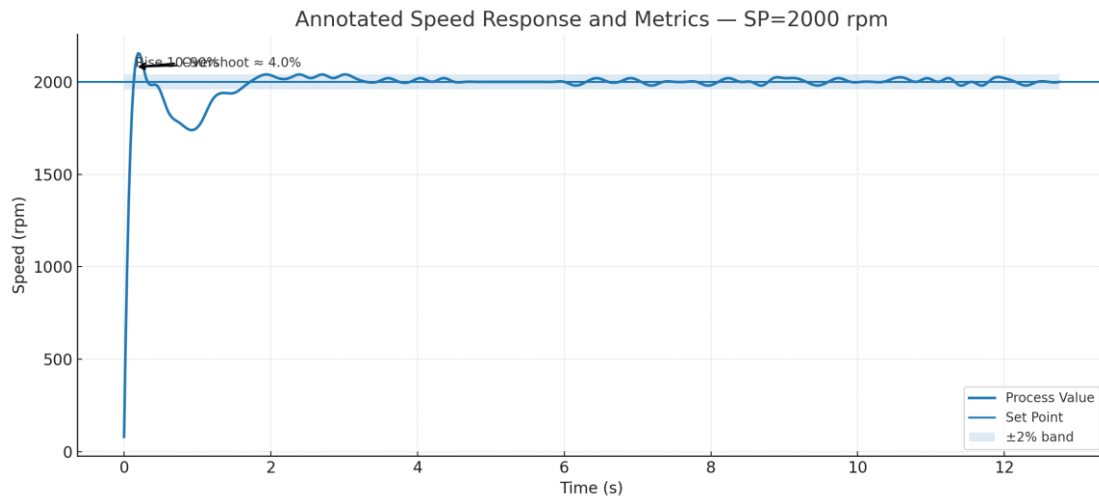
Gambar 3. Hasil grafik pada 1000 rpm

Ini disebabkan oleh beberapa sampel yang sesekali melampaui batas atas toleransi setpoint $\pm 2\%$ (1470–1530 rpm). Meskipun demikian, ketika mencapai kondisi tunak, sistem menunjukkan akurasi yang tinggi dengan steady-state error (SSE) yang mendekati nol dan simpangan kecil di sekitar 1500 rpm. Sesuai deskripsi pada gambar 4 dibawah ini.



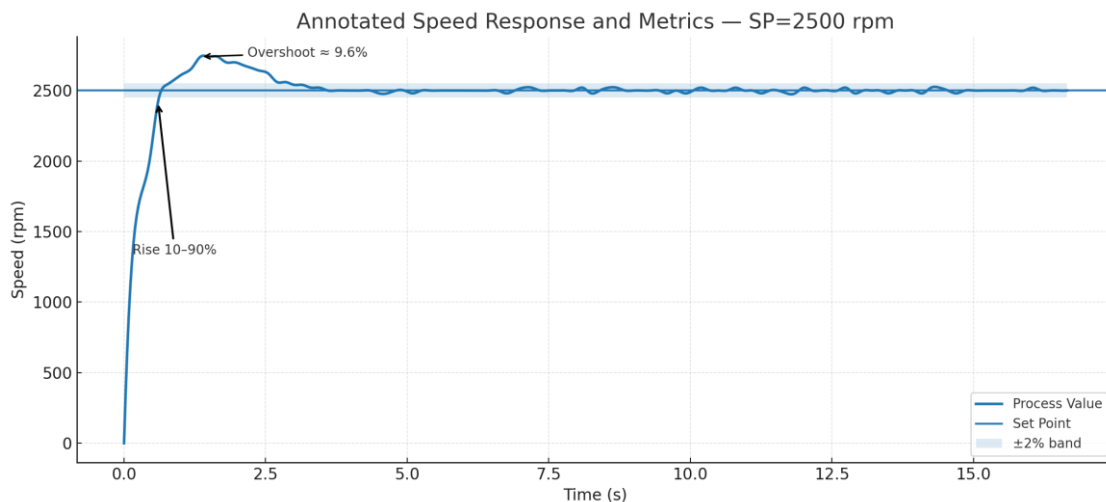
Gambar 4. Hasil grafik pada 1500 rpm

Respons sistem pada setpoint 2000 rpm tergolong sangat cepat. Dari kecepatan awal 80 rpm, sistem mencapai target dengan rise time yang sangat singkat, yaitu kurang dari atau sama dengan 0,15 detik, sesuai dengan resolusi sampling. Meskipun menunjukkan respons yang cepat, sistem memiliki overshoot sebesar 4,0%, dengan kecepatan puncak mencapai 2080 rpm. Waktu settling (settling time) untuk mencapai $\pm 2\%$ dari setpoint (1960–2040 rpm) adalah sekitar 1,65 detik, menunjukkan pemulihan yang cepat. Pada kondisi tunak, steady-state error (SSE) tetap mendekati nol, dengan fluktuasi kecepatan yang minimal, hanya ± 20 rpm. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki stabilitas dan akurasi yang sangat baik. Dan diuraikan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hasil grafik pada 2000 rpm

Respons sistem pada setpoint 2500 rpm menunjukkan performa yang presisi dan stabil meskipun merupakan kecepatan tertinggi yang diuji. Dari kondisi diam (0 rpm), sistem mencapai overshoot sebesar 9,6%, dengan kecepatan puncak mencapai 2740 rpm. Meskipun overshoot sedikit lebih tinggi, rise time yang dicapai tetap efisien, yaitu sekitar 0,45 detik. Waktu settling (settling time) untuk mencapai $\pm 2\%$ dari setpoint (2450–2550 rpm) tercatat sekitar 3,0 detik. Pada keadaan tunak, sistem menunjukkan akurasi yang sangat baik dengan steady-state error (SSE) yang mendekati nol, serta fluktuasi yang minimal, hanya ± 20 rpm. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol tetap presisi dan stabil bahkan pada setpoint kecepatan tinggi. Terlihat jelas pada gambar 6 dibawah ini



Gambar 6. Hasil grafik pada 2500 rpm

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, implementasi algoritma PID+DoM+anti-windup pada Nextion HMI untuk mengendalikan kecepatan motor BLDC pada mesin sentrifuge menunjukkan

performa yang cukup baik sesuai tujuan utama penelitian. Sistem ini menggunakan sampling time sebesar 150 ms dan parameter tuning $K_p=0,25$, $K_i=0,25$, dan $K_d=0,15$. Hasil eksekusi kontrol dari HMI kemudian dikirimkan secara serial ke Arduino untuk menghasilkan sinyal PWM 10-bit.

Performa sistem secara keseluruhan menunjukkan akurasi yang tinggi, dengan steady-state error (SSE) mendekati nol. Rise time tercatat tidak lebih dari 0,45 detik, sedangkan overshoot berada dalam rentang 2% hingga 10,7%. Sementara itu, settling time umumnya berkisar antara 1,35 hingga 3 detik. Pengecualian terjadi pada setpoint 1500 rpm, di mana settling time bisa mencapai 10,65 detik karena sesekali sampel keluar dari batas toleransi $\pm 2\%$. Temuan ini membuktikan bahwa arsitektur "Nextion-as-Controller" merupakan solusi yang layak untuk sistem kontrol loop dengan bandwidth menengah. Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah kemudahan tuning parameter secara langsung melalui panel HMI dan penyederhanaan firmware pada mikrokontroler.

Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan. Performa sistem dipengaruhi oleh resolusi sampling dan jitter pada HMI. Update kontrol hanya terjadi setiap 150 ms, dan interval waktunya terkadang kurang konsisten. Kondisi ini dapat menambah delay dan variasi waktu, yang berpotensi menurunkan phase margin serta memicu overshoot atau osilasi. Meskipun demikian, temuan dari penelitian ini konsisten dengan literatur terkini terkait desain PID praktis untuk speed drive dan implementasi anti-windup pada kondisi saturasi. [1], [9], [10], [13], [16],[18].

V. REFERENSI

- [1] N. Prabhu, R. Thirumalaivasan, and B. Ashok, "Critical Review on Torque Ripple Sources and Mitigation Control Strategies of BLDC Motors in Electric Vehicle Applications," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 115699–115739, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3324419.
- [2] S. M. Deshmukh and R. P. Mahobia, "BLDC Motor Speed Control with Digital Adaptive ANFIS and Reduced Harmonic Content," *Nanotechnology Perceptions*, vol. 20, no. S4, pp. 11–26, 2024. doi: 10.62441/nano-ntp.v20iS4.2.
- [3] A. B. Jadhav and M. S. Patil, "A Review on Torque and Current Ripple Minimization Techniques in a BLDC Motor Drive for EV Applications," *Proc. 4th Int. Conf. Cybern. Cogn. Mach. Learn. Appl. ICCMLA 2022*, no. October 2022, pp. 7–12, 2022, doi: 10.1109/ICCMLA56841.2022.9989245.
- [4] S. S. A. Naqvi et al., "Multi-objective optimization of PI controller for BLDC motor speed control and energy saving in Electric Vehicles: A constrained swarm-based approach," *Energy Reports*, vol. 12, no. June, pp. 402–417, 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.06.019.
- [5] M. Rif'an, F. Yusivar, W. Wahab, and B. Kusumoputro, "A comparison of ensemble Kalman filter and extended Kalman filter as the estimation system in sensorless BLDC motor," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 17, pp. 7386–7393, 2015.
- [6] C. Jain, P. Garg, and A. K. Jain, "Hall-Effect Sensor Fault Diagnosis, Identification and Remedial Strategy in Permanent Magnet Brushless DC Drive," *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. PEDES 2018*, no. December 2018, 2018, doi: 10.1109/PEDES.2018.8707593.
- [7] A. I. Abouseda, R. O. Doruk, and A. Amini, "Parameter Identification and Speed Control

- of a Small-Scale BLDC Motor: Experimental Validation and Real-Time PI Control with Low-Pass Filtering,” *Machines*, vol. 13, no. 8, p. 656, 2025, doi: 10.3390/machines13080656.
- [8] A. J. Serrano-Balbontín, I. Tejado, and B. M. Vinagre, “Neuron-based back-calculation anti-windup strategy: first results,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 7, pp. 388–393, 2024, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.093.
- [9] N. Liu and T. Y. Chai, “An Optimal Tuning Method of PID Controller Parameters,” *Zidonghua Xuebao/Acta Autom. Sin.*, vol. 49, no. 11, pp. 2272–2285, 2023, doi: 10.16383/j.aas.c220795.
- [10] Dhimas Pratama, Ilham Rizq Fauzan, and Muhammad Hasbi, “Pengaruh Jumlah Slot Rotor Terhadap Efisiensi, Torsi, Dan Arus Rms Pada Motor Induksi 6 Kw,” *JuTEkS (Jurnal Tek. Elektro dan Sains)*, vol. 8, no. 1, pp. 8–12, 2024, doi: 10.32832/juteks.v8i1.15882.
- [11] M. J. I. Hariansyah, “Deteksi Arah Sinar Matahari Berbasis Matlab Menggunakan (Pid) Proportional – Integral – Differential,” *JuTEkS (Jurnal Tek. Elektro dan Sains)*, pp. 6–11, 2016.
- [12] J. Kulisz and F. Jokiel, “A Hardware Implementation of the PID Algorithm Using Floating-Point Arithmetic,” *Electron.*, vol. 13, no. 8, 2024, doi: 10.3390/electronics13081598.
- [13] Y. Morohoshi and M. Deng, “Nonlinear Back-Calculation Anti-Windup Based on Operator Theory,” *Processes*, vol. 13, no. 5, 2025, doi: 10.3390/pr13051266.
- [14] F. Firdiansyah and F. Muliawati, “Rancang Bangun Sistem Pembungkus Otomatis Kain Ban Berbasis Programmable Logic Controller Dan Berbantuan Human ...,” *Jurnal Teknik Elektro dan* 2019. [Online]. Available: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/JUTEKS/article/viewFile/7859/3742>
- [15] A. Suryadin, “Perancangan Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Satu Fasa dengan Perubahan Nilai Tegangan,” *JuTEkS (Jurnal Tek. Elektro dan Sains)*, vol. 9, no. 2, pp. 1–5, 2022, doi: 10.32832/juteks.v9i2.13506.
- [16] C. W. Chen, H. M. Wu, and C. Y. Nian, “A Class of Anti-Windup Controllers for Precise Positioning of an X-Y Platform with Input Saturations,” *Electron.*, vol. 14, no. 3, pp. 1–16, 2025, doi: 10.3390/electronics14030539.
- [17] T. B. Ramu et al., “Speed control of BLDC motor using PID controller,” *Int. J. Appl. Power Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 401–411, 2025, doi: 10.11591/ijape.v14.i2.pp401-411.
- [18] E. Kim and J. Y. Choi, “Modified fast discrete-time PID formulas for obtaining double precision accuracy,” *Electron. Lett.*, vol. 60, no. 24, pp. 1–4, 2024, doi: 10.1049/ell2.70114.