OPTIMASI PARAMETER PID MENGGUNAKAN GREY WOLF OPTIMIZER (GWO) PADA SISTEM AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR)

Winda Ayuningrum[1)], Muhammad Sifaunnajib[1)],Andika Kusuma W[1)] , Isnan Janhari[1)], Hartawan Anugerah Ramadhan H[1)],Rafif Aliffian Febriansyah Putra S[1)] ,Wahyu Setyo Pambudi [1)]

[1]Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

E-mail: daayrm28@gmail.com

Abstract

Automatic Voltage Regulator (AVR) is a control system designed to maintain the generator output voltage at its reference value despite load variations. This study aims to optimize the parameters of a Proportional–Integral–Derivative (PID) controller using the Grey Wolf Optimizer (GWO) algorithm for an AVR system modeled in MATLAB/Simulink. The optimization process employs the Integral Time Absolute Error (ITAE) objective function to obtain the optimal PID parameters that provide the best system response. The system performance is evaluated based on rise time, overshoot, settling time, and steady-state error, and then compared with a conventional PID controller without optimization. Simulation results show that the GWO-based PID controller significantly improves system performance. The rise time decreases from 0.9506 s to 0.3751 s, the overshoot is reduced from 4.8924% to 0.0359%, and the settling time decreases from 3.3129 s to 1.4140 s, while the steady-state error remains negligible for both methods. Furthermore, the GWO convergence curve reaches a fitness value of 0.049469, indicating that the optimization process converges successfully. These results demonstrate that the GWO algorithm is effective in enhancing the performance of the PID controller for AVR systems.

Keyword : *Automatic Voltage Regulator (AVR), Proportional–Integral–Derivative (PID), Grey Wolf Optimizer (GWO), MATLAB/Simulink, Integral Time Absolute Error (ITAE), Control System Optimization.*

PENDAHULUAN

Automatic Voltage Regulator (AVR) merupakan sistem kendali yang berfungsi menjaga kestabilan tegangan keluaran generator agar tetap sesuai dengan nilai referensi meskipun terjadi perubahan beban. Kestabilan tegangan penting untuk menjaga kualitas daya dan keandalan sistem sehingga diperlukan pengendali yang mampu menghasilkan respon cepat, stabil, serta memiliki kesalahan keadaan tunak (*steady-state error*) yang

kecil (Setiawan, Mudjirahardjo, and . 2021); (Mojumder and Roy 2024); (Micev, Ćalasan, and Radulović 2023).

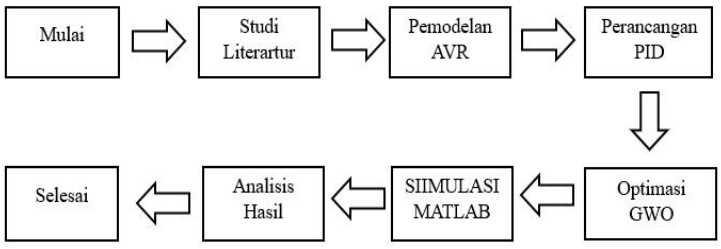
Pengendali Proportional Integral Derivative (PID) banyak digunakan pada sistem AVR karena sederhana dan mudah diimplementasikan. Namun, performanya sangat dipengaruhi oleh ketepatan parameter K_p, K_i, dan K_d. Penalaan secara *trial and error* kurang efisien dan sering belum menghasilkan respon yang optimal (Mojumder and Roy 2024); (Micev, Ćalasan, and Radulović 2023); (Bouaddi, Rabeh, and Ferfra 2024).

Salah satu metode optimasi yang banyak digunakan adalah Grey Wolf Optimizer (GWO). Algoritma ini memiliki kemampuan eksplorasi dan eksploitasi yang baik sehingga mampu meningkatkan performa PID pada sistem AVR dibandingkan penalaan konvensional (Abed and Gurgi 2026); (Verma and Devarapalli 2022); (Jiang et al. 2024).

Penelitian ini bertujuan mengoptimasi parameter PID menggunakan algoritma GWO berbasis MATLAB/Simulink dengan fungsi objektif Integral Time Absolute Error (ITAE). Hasil optimasi dibandingkan dengan PID tanpa optimasi berdasarkan parameter rise time, overshoot, settling time, dan steady-state error (Setiawan, Mudjirahardjo, and . 2021); (Mojumder and Roy 2024); (Kar et al. 2026); (Abood 2022).

METODE PENELITIAN

1. Metode Penelitian

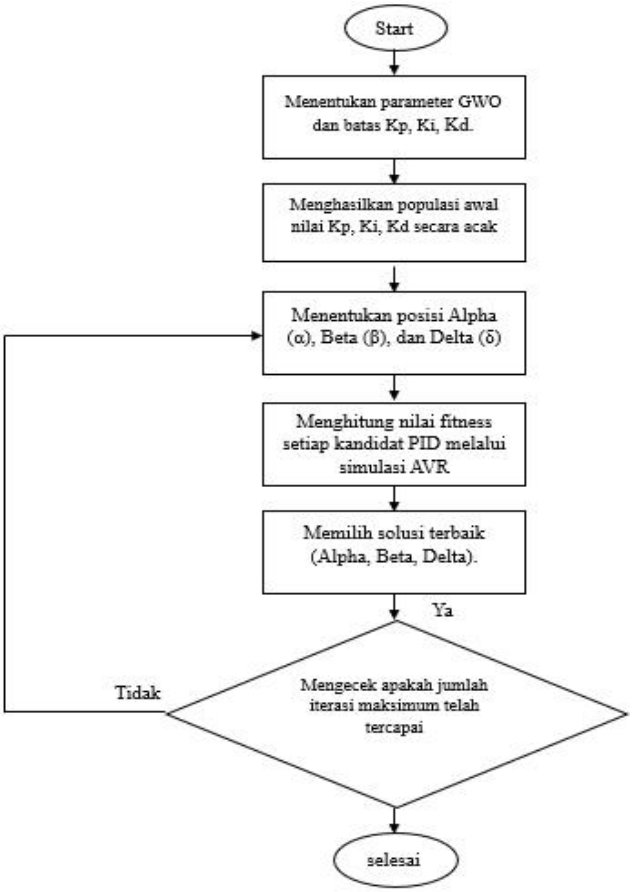


Gambar 1 . Blok Diagram Alur

Pada gambar 1 penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan memodelkan sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) pada MATLAB/Simulink. Parameter PID dioptimasi menggunakan algoritma Grey Wolf Optimizer (GWO) berdasarkan fungsi objektif Integral Time Absolute Error (ITAE). Parameter hasil optimasi kemudian

diterapkan pada sistem AVR dan dievaluasi berdasarkan rise time, overshoot, settling time, dan steady-state error (Setiawan, Mudjirahardjo, and . 2021); (Abed and Gurgi 2026); (George et al. 2018).

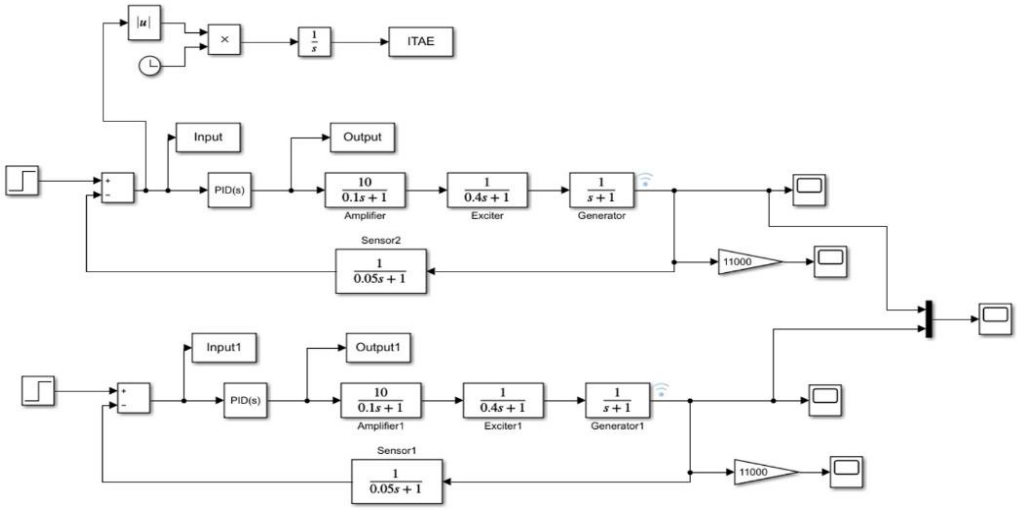
2. Flowchat dan Alur Simulasi



Gambar 2 . Flowchart Alur Simulasi

Pada gambar 2 proses optimasi diawali dengan menentukan parameter GWO dan batas nilai PID (K_p , K_i , dan K_d). Selanjutnya GWO membangkitkan populasi awal, mengevaluasi nilai *fitness* melalui simulasi AVR, kemudian memperbarui posisi kandidat hingga diperoleh solusi terbaik pada iterasi maksimum. Parameter PID hasil optimasi selanjutnya digunakan pada sistem AVR (Wang and Shi 2022); (Jiang et al. 2024).

3. Pemodelan AVR Simulink



Gambar 3 . Blok diagram sistem pada MATLAB/Simulink

Pada gambar 3 dan Tabel 1 Model AVR dibangun pada MATLAB/Simulink menggunakan komponen amplifier, exciter, generator, dan sensor dalam sistem kendali tertutup (*closed-loop*). Parameter PID diperoleh melalui optimasi menggunakan algoritma GWO, sedangkan sinyal keluaran dikembalikan melalui sensor sebagai umpan balik untuk menjaga tegangan tetap sesuai nilai referensi (Setiawan, Mudjirahardjo, and . 2021); (Abed and Gurgi 2026).

Tabel 1
Transfer Function

TRANSFER FUNCTION	
Amplifier	$G_A \quad (s)=\frac{10}{0.1_s+1}$
Extier	$G_A \quad (s)=\frac{10}{0.4_s+1}$
Generator	$G_G \quad (s)=\frac{1}{s+1}$
Sensor	$G_s(s)=\frac{1}{0.05_s+1}$

4. Perancangan Kendali

- Pengendali PID

Tabel 2
Parameter Kp,Ki,Kd

Parameter	PID & GWO	PID Controller
Kp	0.4436	0.2112
Ki	0.3005	0.1885
Kd	0.1501	0.0568

Pada Tabel 2 Parameter PID diperoleh melalui proses *tuning* pada MATLAB/Simulink sehingga menghasilkan respon sistem AVR yang stabil (Mojumder and Roy 2024); (Mohamed and Abood 2025).

- Optimasi Grey Wolf Optimizer

  Grey Wolf Optimizer (GWO) digunakan untuk mengoptimasi parameter PID berdasarkan nilai *fitness* terkecil menggunakan fungsi objektif ITAE. Pada penelitian ini digunakan 20 *Search Agents* dan 40 *Max Iteration* sehingga diperoleh respon sistem yang lebih cepat dan stabil (Wang and Shi 2022); (Jiang et al. 2024); (Bouaddi, Rabeh, and Ferfra 2024); (Kar et al. 2026).

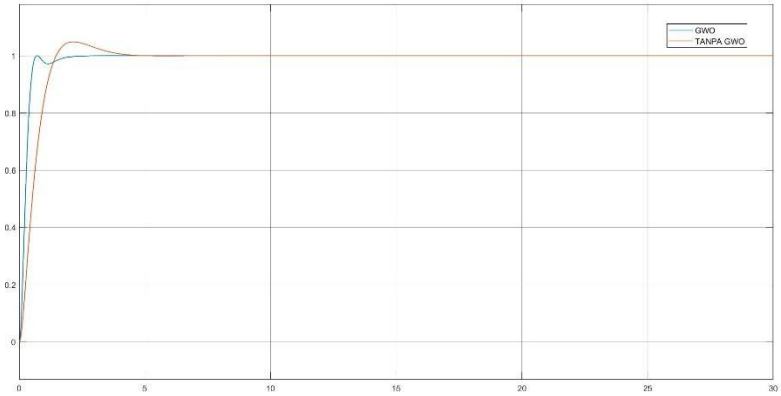
- Fungsi Objektif ITAE

  Fungsi objektif yang digunakan adalah Integral Time Absolute Error (ITAE) karena memberikan penalti lebih besar terhadap error yang bertahan lama. Semakin kecil nilai ITAE maka semakin baik kualitas respon sistem yang diperoleh (Verma and Devarapalli 2022); (Mojumder and Roy 2024); (George et al. 2018).

$$ITAE = \int_0^T t|e(t)|dt$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

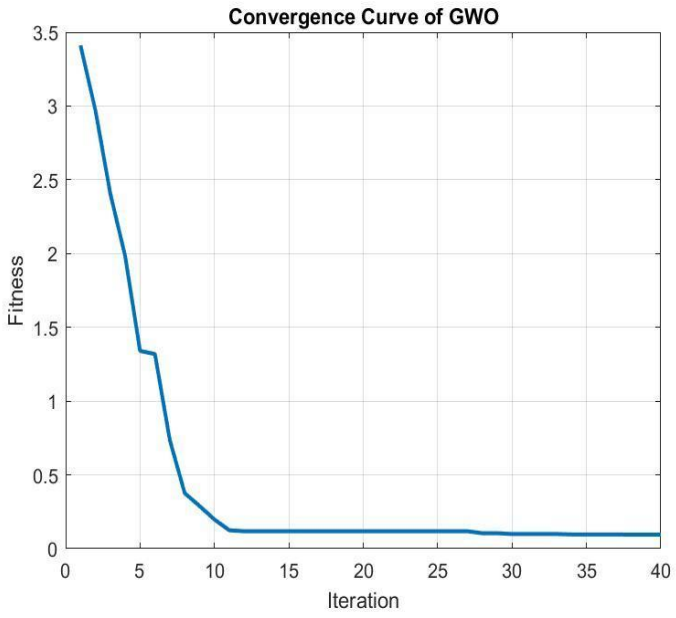
1. Perbandingan Respon Optimasi GWO PID Dan PID Tanpa Optimasi



Gambar 4 . Grafik Perbandingan Respon Optimasi GWO PID Dan PID Tanpa Optimasi

Berdasarkan Gambar 4, kedua pengendali mampu mengendalikan tegangan keluaran generator hingga mencapai kondisi tunak. Pengendali PID yang telah dioptimasi menggunakan Grey Wolf Optimizer (GWO) menunjukkan respon transien yang lebih cepat dibandingkan PID tanpa optimasi. Selain itu, sistem mampu mencapai nilai referensi dengan kondisi yang stabil meskipun masih terjadi sedikit overshoot pada awal respon. Sementara itu, PID tanpa optimasi memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai kondisi tunak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa optimasi parameter PID menggunakan algoritma GWO mampu meningkatkan performa sistem AVR, terutama dalam mempercepat respon sistem tanpa mengurangi kestabilan pada kondisi tunak.

2. Hasil Grafik Convergence Curve Of GWO



Gambar 5 . Grafik Convergence Curve Of GWO

Berdasarkan Gambar 5, kurva konvergensi menunjukkan bahwa nilai fitness mengalami penurunan yang signifikan pada iterasi awal, kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai kondisi konvergen pada iterasi ke-40 dengan nilai fitness sebesar 0.094969. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma Grey Wolf Optimizer mampu menemukan parameter PID yang optimal secara efektif dan menghasilkan solusi yang stabil selama proses optimasi (Jiang et al. 2024).

3. Hasil Parameter dan Analisis Kinerja Pengendali

Tabel 3
Parameter PID

Hasil Parameter PID		
Parameter	PID Controller	PID & GWO
Rise Time	0.9506 s	0.3751 s
Overshoot	3.3129 s	0.0359 %
Setting Time	4.8924 %	1.4140 s
Steady State Eror	0.00000011	0.00000011

Berdasarkan Tabel 3, optimasi parameter PID menggunakan Grey Wolf Optimizer menghasilkan peningkatan performa sistem AVR dibandingkan PID tanpa optimasi. Nilai rise time berkurang dari 0,9506 s menjadi 0,3751 s, settling time menurun dari 3,3129 s menjadi 1,4140 s, serta overshoot turun signifikan dari 4,8924% menjadi 0,0359%. Sementara itu, steady-state error pada kedua metode tetap sangat kecil sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa optimasi GWO mampu menghasilkan respon sistem yang lebih cepat dan lebih stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, optimasi parameter PID menggunakan Grey Wolf Optimizer (GWO) berhasil meningkatkan performa sistem Automatic Voltage Regulator (AVR). Dibandingkan PID tanpa optimasi, PID-GWO menghasilkan rise time dan settling time yang lebih cepat serta overshoot yang jauh lebih kecil, sementara steady-state error tetap mendekati nol. Selain itu, kurva konvergensi menunjukkan bahwa algoritma GWO mampu menemukan parameter PID optimum secara efektif dengan nilai fitness akhir sebesar 0,094969. Dengan demikian, metode PID-GWO dapat digunakan sebagai pendekatan yang efektif untuk meningkatkan kualitas respon sistem AVR.

DAFTAR PUSTAKA

Abed, Rasha Yasen, and Zeina K. Gurgi. 2026. “Improving the AVR Performance of Iraqi Hamrin Hydro Station Using PID Controller Optimized by GWO and WOA.”

Diyala Journal of Engineering Sciences 19(2): 104–16. doi:10.24237/djes.2026.19207.

Abood, Layla H. 2022. "Optimal Modified PID Controller for Automatic Voltage Regulation System." *AIP Conference Proceedings* 2415(August 2018). doi:10.1063/5.0092583.

Bouaddi, Abdessamade, Reda Rabeh, and Mohammed Ferfra. 2024. "Optimal Control of Automatic Voltage Regulator System Using Hybrid PSO-GWO Algorithm-Based PID Controller." *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 13(5): 3070–80. doi:10.11591/eei.v13i5.8186.

George, Romany G., Hany M. Hasanien, Mohamed Al Badr, and Mohammed A. Elgendy. 2018. "A Comparative Study among Different Algorithms Investigating Optimum Design of PID Controller in Automatic Voltage Regulator." *Proceedings - 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2018*: 1–6. doi:10.1109/UPEC.2018.8541870.

Jiang, Jianhua, Ziying Zhao, Weihua Li, and Keqin Li. 2024. "An Enhanced Grey Wolf Optimizer with Elite Inheritance and Balance Search Mechanisms." (Weihua Li). http://arxiv.org/abs/2404.06524.

Kar, Manoj Kumar, A Kumaraswamy, Prashanta Kumar Tripathy, Pratap Chandra Pradhan, Abhijita Puhan, and Tarkeshwar Mahto. 2026. "Grey Wolf Optimizer-Based Tuning of an Automatic Voltage Regulator for Enhanced Stability." *2025 5th IEEE International Conference on Applied Electromagnetics, Signal Processing, & Communication (AESPC)*: 1–5. doi:10.1109/aespc67542.2025.11326853.

Micev, Mihailo, Martin Ćalasan, and Milovan Radulović. 2023. "Optimal Tuning of the Novel Voltage Regulation Controller Considering the Real Model of the Automatic Voltage Regulation System." *Heliyon* 9(8). doi:10.1016/j.heliyon.2023.e18707.

Mohamed, Mohamed Jasim, and Layla H. Abood. 2025. "Controlling AVR System Based on Optimal FOPID Controllers: A Comparative Study." *Mathematical Modelling of Engineering Problems* 12(2): 609–15. doi:10.18280/mmep.120224.

Mojumder, Md. Rayid Hasan, and Naruttam Kumar Roy. 2024. "Review of Meta-Heuristic Optimization Algorithms to Tune the PID Controller Parameters for

Automatic Voltage Regulator." https://arxiv.org/pdf/2409.00538.

Setiawan, Anas, Panca Mudjirahardjo, and . Wijono. 2021. "Automatic Voltage Regulator (AVR) Optimization Based on PID Using the Hybrid Grey Wolf Optimization - Genetic Algorithm (HGWGA) Method." *International Journal of Computer Applications Technology and Research* 10(6): 136–41. doi:10.7753/ijcatr1006.1002.

Verma, Santosh Kumar, and Ramesh Devarapalli. 2022. "Fractional Order PIλDμ Controller with Optimal Parameters Using Modified Grey Wolf Optimizer for AVR System." *Archives of Control Sciences* 32(2): 429–50. doi:10.24425/acs.2022.141719.

Wang, Haoxin, and Libao Shi. 2022. "A Theoretical Framework and Some Promising Findings of Grey Wolf Optimizer, Part II: Global Convergence Analysis." http://arxiv.org/abs/2203.07636.