

**OPTIMASI KONTROL FOPID UNTUK *AUTOMATIC VOLTAGE
REGULATOR* BERBASIS *SIMULATED ANNEALING (SA)* DAN
*GREY WOLF OPTIMIZATION (GWO)***

SKRIPSI

Sebagai Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang



Disusun oleh:

ALDRIAN DIMAS MUKTI

201810130311130

PROGRAM STUDI ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG

2024

LEMBAR PERSETUJUAN

LEMBAR PERSETUJUAN

OPTIMASI KONTROL FOPID UNTUK *AUTOMATIC VOLTAGE*
REGULATOR BERBASIS *SIMULATED ANNEALING (SA)* DAN *GREY*
WOLF OPTIMIZATION (GWO)

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh:

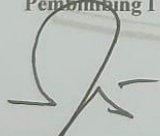
Aldrian Dimas Mukti

201810130311130

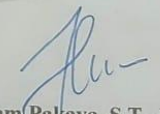
Tanggal Ujian : 13 Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I


Zulfatman, M.Eng., Ph.D.
NIDN: 0709117804

Pembimbing II


Ilham Pakaya, S.T., M.Tr.T.
NIDN: 0717018801

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI KONTROL FOPID UNTUK *AUTOMATIC VOLTAGE* *REGULATOR* BERBASIS *SIMULATED ANNEALING (SA)* DAN *GREY* *WOLF OPTIMIZATION (GWO)*

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana (S1)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh :

Aldrian Dimas Mukti

201810130311130

Tanggal Ujian : 13 Maret 2024

Periode Wisuda : 2

Disetujui Oleh :

1. Zulfatma, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing I)
NIDN: 0709117804

2. Ilham Rakaya, S.T., M.Tr.T. (Pembimbing II)
NIDN: 0717018801

3. Ir. Diding Suhardi, M.T. (Penguji I)
NIDN: 0706066501

4. Widianto, S.T., M.T. (Penguji II)
NIDN: 0722048202



Mengetahui
Ketua Program Studi

Khusnul Hidayat, S.T., M.T.
NIDN : 0723108202

LEMBAR PERNYATAAN

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Aldrian Dimas Mukti
Tempat/Tgl Lahir : Jakarta / 25 Mei 2000
NIM : 201810130311130
FAK./JUR. : TEKNIK/ELEKTRO

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir kami dengan judul “ *Optimasi Kontrol FOPID untuk Automatic Voltage Regulator Berbasis Simulated Annealing (SA) dan Grey Wolf Optimization (GWO)*” beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan karya tulis orang lain, baik Sebagian maupun seluruhnya, kecuali dalam bentuk kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini maka saya siap menanggung segala bentuk resiko/sanksi yang berlaku.

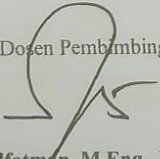
Malang, 15 Maret 2024
Yang Membuat Pernyataan



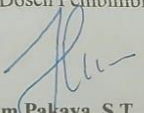
(Aldrian Dimas Mukti)

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I


Zulfatman, M.Eng., Ph.D.
NIDN: 0709117804

Dosen Pembimbing II


Ilham Pakaya, S.T., M.Tr.T.
NIDN: 0717018801

ABSTRAK

Pembangkit listrik merupakan alat atau mesin bertugas menghasilkan energi listrik dengan menggunakan metode konversi energi dari berbagai sumber energi. Kebanyakan pembangkit listrik berskala besar terdiri dari beberapa komponen dasar, salah satunya generator sinkron. Generator sinkron memiliki permasalahan tersendiri seperti fluktuasi tegangan dan frekuensi saat beban berubah. Maka diperlukan alat untuk menstabilkan tegangan seperti *Automatic Voltage Regulator* (AVR). AVR digunakan sebagai mengontrol dan menstabilkan tegangan yang dihasilkan oleh generator, namun perangkat AVR itu sendiri terbukti mengalami tingkat kesalahan yang tinggi ketika tekanan berubah. Masalah yang timbul pada AVR yaitu terkait *undershoots*, *overshoots*, *settling time*, dan *error steady state*. Sehingga skema baru pada AVR menggunakan kontrol FOPID yang dioptimasi dengan *Simulated Annealing* dan *Grey Wolf Optimization*. Hal ini memungkinkan untuk meningkatkan tegangan aktual dalam waktu singkat. Ini juga menjaga stabilitas sistem dan mencegah distorsi akibat perubahan beban.

KATA KUNCI :

Automatic Voltage Regulator, Optimasi, FOPID, *Simulated Annealing*, *Grey Wolf Optimization*

ABSTRACT

A power plant is a device or machine tasked with producing electrical energy using energy conversion methods from various energy sources. Most large-scale power plants consist of several basic components, one of which is a synchronous generator. Synchronous generators have their own problems such as voltage and frequency fluctuations when the load changes. So a tool is needed to stabilize the voltage such as an Automatic Voltage Regulator (AVR). AVR is used to control and stabilize the voltage produced by generators, but the AVR device itself has been shown to experience a high error rate when the pressure changes. Problems that arise with AVR are related to undershoots, overshoots, settling time and steady state errors. So the new scheme on the AVR uses FOPID control which is optimized with Simulated Annealing and Grey Wolf Optimization. This makes it possible to increase the actual voltage in a short time. It also maintains system stability and prevents distortion due to load changes.

KEYWORDS :

Automatic Voltage Regulator, Optimization, FOPID, Simulated Annealing, Grey Wolf Optimization

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, penulisan banyak dibantu, dibimbing dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala rahmad dan kemudahan yang telah diberikan sehingga pengerjaan skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Kepada dua orang yang berjasa dalam hidup saya, Ibu Giyatmi dan Ayah Slamet Setiadi. Terimakasih atas semua pengorbanan, cinta, doa, motivasi, dan semangat untuk saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Dan juga tanpa lelah mendukung segala keputusan dan pilihan yang saya pilih. Semoga Allah SWT selalu memberikan kalian kesehatan dan panjang umur untuk bisa menemani penulis selamanya aamiin.
3. Kepada saudari saya tercinta Elsyia Ristia dan abang ipar saya Indra Giri yang sudah menjadi penyemangat untuk saya segera menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas segala doa terbaik dan dukungan yang sudah diberikan.
4. Ketua jurusan Teknik Elektro Khusnul Hidayat., S.T., M.T., beserta seluruh stafnya.
5. Bapak Zulfatman, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Ilham Pakaya, S.T., M.Tr.T selaku dosen pembimbing 2, yang selalu senantiasa membantu dan memberikan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Untuk teman penulis Damas Yudha yang sudah membantu hari – hari penulis dan terimakasih banyak atas segala doa dan dukungan yang diberikan selama ini.
7. Untuk BCT (Bacoters) Nadhira, Olive, Fajri, Oksa, Gerry, Alwi, Malik, Faisal, dan Satria. Terimakasih banyak sudah menemani penulis dari awal perkuliahan sampai penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
8. Teruntuk Aldrian Dimas Mukti, saya sendiri. Terimakasih sebesar - besarnya karena telah menyelesaikan tanggung jawab ini. Terimakasih

karena mau terus berusaha dan tidak menyerah untuk melalui semua proses yang tidak mudah ini. Terimakasih sudah bertahan sejauh ini.

9. Terakhir untuk semuanya yang telah membantu dan mendoakan penulis tanpa terkecuali.

Akhirnya penulis berharap, semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat dalam mengembangkan ilmu untuk jurusan Teknik Elektro UMM, khususnya bagi penulis dan pembaca.

Malang, 18 Maret 2024

Aldrian Dimas Mukti



KATA PENGANTAR

Teriring salam dan do'a semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita sekalian dalam menjalankan aktifitas sehari-hari sebagai khalifah di muka bumi. Atas kehendak dan karunia Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir pada waktu yang tepat dengan judul :

“Optimasi Kontrol FOPID untuk *Automatic Voltage Regulator* Berbasis *Simulated Annealing (SA)* dan *Grey Wolf Optimization*”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis berharap saran yang membangun, agar kedepannya menjadi lebih baik dan bermanfaat. Penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan baik yang sengaja maupun yang tidak disengaja.

Malang, 18 Maret 2024

Aldrian Dimas Mukti

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Generator	6
2.2 Sistem Eksitasi	6
2.3 Automatic Voltage Regulator (AVR).....	7
2.4 Kontrol FOPID	7
2.5 Simulated Annealing	8
2.6 Grey Wolf Optimization.....	8
BAB III METODE PENELITIAN.....	9
3.1 Metode Penelitian.....	9
3.2 Studi Literatur.....	9
3.3 Pengumpulan Data	10
3.4 Pemodelan Sistem	10
3.5 Perancangan Kontrol FOPID.....	11
3.5.1 Penalaan <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i> Tuning FOPID	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Hasil Uji Sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> menggunakan kontrol FOPID	17
4.2 Hasil Uji Sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> menggunakan kontrol FOPID yang di <i>Tuning</i> dengan <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i>	18

4.3 Hasil Perbandingan Pengujian sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> menggunakan kontrol FOPID yang di <i>Tunning</i> menggunakan gabungan <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i> dengan <i>Simulated Annealing</i> saja dan <i>Grey Wolf Optimization</i> saja	19
BAB V PENUTUP.....	21
5.1 Kesimpulan.....	21
5.2 Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA	22



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Blok sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i>	7
Gambar 3.1 Diagram alir Perancangan Sistem	9
Gambar 3.2 Diagram Blok Skema Baru AVR	10
Gambar 3.3 Diagram Blok Kontrol FOPID	11
Gambar 3.4 Flowchart <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i> mengoptimasi kontrol FOPID	13
Gambar 3.5 Nilai Parameter <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i> .	15
Gambar 4.1 Respon Sistem Terminal Voltage <i>Automatic Voltage Regulator</i> menggunakan kontrol FOPID	16
Gambar 4.2 Respon Sistem Terminal Voltage <i>Automatic Voltage Regulator</i> menggunakan kontrol FOPID di Tunning dengan <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey</i> <i>Wolf Optimization</i>	17
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi kontrol FOPID di Tunning <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Grey Wolf Optimization</i>	18
Gambar 4.4 Perbandingan Respon Sistem Terminal Voltage Automatic Voltage Regulator menggunakan kontrol FOPID di Tunning dengan SA, GWO, dan SA- GWO	19
Gambar 4.5 Perbandingan Grafik Konvergensi kontrol FOPID yang di <i>Tunning</i> SA, GWO, dan SA-GWO	20

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Parameter AVR 10



DAFTAR PUSTAKA

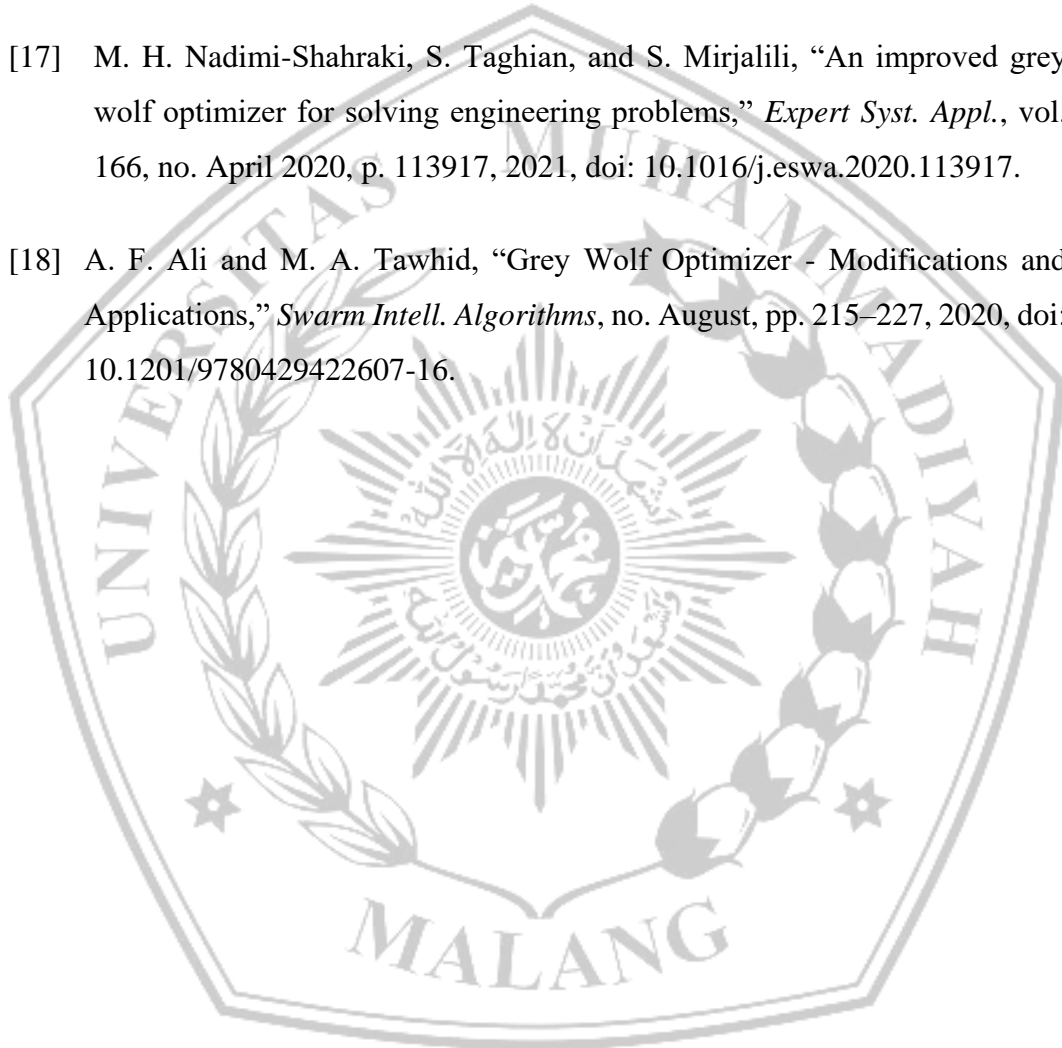
- [1] A. Nurdin, A. Azis, and R. A. Rozal, "Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron," *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i1.2144.
- [2] G. G. Putra, "Pengaturan Automatic Voltage Regulator dan Load Frequency Control sebagai Penstabil Tegangan dan Frekuensi Berbasis PID-ABC pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap SKRIPSI," 2023.
- [3] A. Asriyanto, *Optimasi Kontrol Propotional Integral Derivative Pada Automatic Voltage Regulator Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization*. 2021. [Online]. Available: https://digilib.unri.ac.id/index.php?p=show_detail&id=94530
- [4] G. Y. Puspitaputri, C. W. Priananda, and D. F. Syahbana, "Automatic Voltage Regulator (AVR) Generator dengan Mikrokontroler Menggunakan Metode Hill Climbing," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 171–176, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.67421.
- [5] S. M. A. Altbawi, A. S. Bin Mokhtar, T. A. Jumani, I. Khan, N. N. Hamadneh, and A. Khan, "Optimal design of Fractional order PID controller based Automatic voltage regulator system using gradient-based optimization algorithm," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2021.07.009.
- [6] M. Micev, M. Čalasan, and D. Oliva, "Design and robustness analysis of an Automatic Voltage Regulator system controller by using Equilibrium Optimizer algorithm," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 89, no. December 2020, 2021, doi: 10.1016/j.compeleceng.2020.106930.
- [7] E. Kose, "Optimal Control of AVR System with Tree Seed Algorithm-Based PID Controller," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 89457–89467, 2020, doi:

10.1109/ACCESS.2020.2993628.

- [8] P. Gopi, M. Mahdavi, and H. H. Alhelou, "Robustness and Stability Analysis of Automatic Voltage Regulator Using Disk-Based Stability Analysis," *IEEE Open Access J. Power Energy*, vol. 10, no. August, pp. 689–700, 2023, doi: 10.1109/oajpe.2023.3344750.
- [9] M. Furat and G. G. Cucu, "Design, Implementation, and Optimization of Sliding Mode Controller for Automatic Voltage Regulator System," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 55650–55674, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3177621.
- [10] S. Candra, "LAPORAN KERJA PRAKTEK SISTEM KERJA GENERATOR DI PT. IMBANG TATA ALAM," *777*, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022, [Online]. Available: www.aging-us.com
- [11] M. Harahap, "Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator," *Univ. Prima Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [12] P. R. H. Marpaung, H. Eteruddin, and D. Setiawan, "Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya," *Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, vol. 1, no. 1. pp. 96–109, 2021.
- [13] M. Z. Mohd Tumari, M. A. Ahmad, M. H. Suid, and M. R. Hao, "An Improved Marine Predators Algorithm-Tuned Fractional-Order PID Controller for Automatic Voltage Regulator System," *Fractal Fract.*, vol. 7, no. 7, 2023, doi: 10.3390/fractalfract7070561.
- [14] F. Meng, S. Liu, and K. Liu, "Design of an Optimal Fractional Order PID for Constant Tension Control System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 58933–58939, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983059.
- [15] K. Amine, "Multiobjective Simulated Annealing: Principles and Algorithm

Variants,” *Adv. Oper. Res.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/8134674.

- [16] S. Zhou, X. Liu, Y. Hua, X. Zhou, and S. Yang, “Adaptive model parameter identification for lithium-ion batteries based on improved coupling hybrid adaptive particle swarm optimization- simulated annealing method,” *J. Power Sources*, vol. 482, no. September 2020, p. 228951, 2021, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228951.
- [17] M. H. Nadimi-Shahraki, S. Taghian, and S. Mirjalili, “An improved grey wolf optimizer for solving engineering problems,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 166, no. April 2020, p. 113917, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113917.
- [18] A. F. Ali and M. A. Tawhid, “Grey Wolf Optimizer - Modifications and Applications,” *Swarm Intell. Algorithms*, no. August, pp. 215–227, 2020, doi: 10.1201/9780429422607-16.





FORM CEK PLAGIASI LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Aldrian Dimas Mukti
NIM : 201810130311130
Judul TA : Optimasi Kontrol FOPID untuk *Automatic Voltage Regulator* Berbasis *Simulated Annealing (SA)* dan *Grey Wolf Optimization (GWO)*

Hasil Cek Plagiarisme dengan Turnitin

No.	Komponen Pengecekan	Nilai Maksimal Plagiasi (%)	Hasil Cek Plagiasi (%) *
1.	Bab 1 – Pendahuluan	10 %	3 %
2.	Bab 2 – Studi Pustaka	25 %	7 %
3.	Bab 3 – Metodologi Penelitian	35 %	4 %
4.	Bab 4 – Pengujian dan Analisis	15 %	2 %
5.	Bab 5 – Kesimpulan dan Saran	5 %	0 %
6.	Publikasi Tugas Akhir	20 %	5 %

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I,

Zulfatman, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing II,

Ilham Pakaya, S.T., M.Tr.T.