

**DESAIN FRACTIONAL ORDER PID BERBASIS *GENETICAL*
ALGORITHM PADA SISTEM KONTROL *AUTOMATIC*
*VOLTAGE REGULATOR***

SKRIPSI

Sebagai Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Malang



Disusun Oleh:

Akhroma Afdolfriki Nirwan Kuncahyo

201710130311160

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG

2024

LEMBAR PERSETUJUAN

**DESAIN FRACTIONAL ORDER PID BERBASIS
GENETICAL ALGORITHM PADA SISTEM KONTROL
AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh :

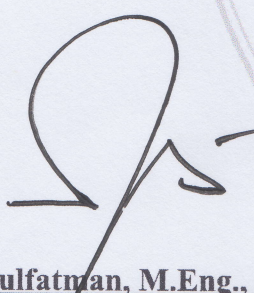
Akhroma Afdolfriki Nirwan Kuncahyo

201710130311160

Diperiksa dan disetujui oleh :

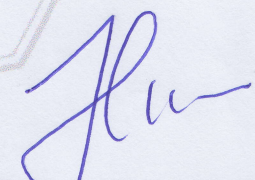
Pembimbing I

Pembimbing II



Zulfatman, M.Eng., Ph.D.

NIDN.0709117804



Ilham Pakaya, M.Tr.T.

NIDN.0717018801

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN FRACTIONAL ORDER PID BERBASIS *GENETICAL*
ALGORITHM* PADA SISTEM KONTROL *AUTOMATIC
VOLTAGE REGULATOR

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Strata I

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh :

Akhroma Afdolfriki Nirwan Kuncahyo

201710130311160

Tanggal Ujian : 15 Februari 2024

Tanggal Wisuda : -

Disetujui Oleh :

1. Zulfatman, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing I)
NIDN.0709117804
2. Ilham Pakaya, M.Tr.T. (Pembimbing II)
NIDN.0717018801
3. Dr. Ir. Ermanu A. Hakim, M.T. (Penguji I)
NIDN. 0705056501
4. M. Chasrun Hasani, M.T. (Penguji II)
NIDN. 0007086808

Mengetahui

Ketua Program Studi



Khusnul Hidayat, S.T., M.T.

NIDN. 0723108202

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Akhroma Afdolfriki Nirwan Kuncahyo

Tempat/Tgl.Lahir : Banjarmasin, 15 Januari 1999

NIM : 201710130311160

Fakultas/Jurusan : Teknik / Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “**DESAIN FRACTIONAL ORDER PID BERBASIS GENETICAL ALGORITHM PADA SISTEM KONTROL AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR**” beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan karya tulis orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dalam bentuk kutipan yang telah di sebutkan sumbernya.

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

Malang, 2 Maret 2024
Yang Membuat Pernyataan



Akhroma Afdolfriki

Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Zulfatman, M.Eng., Ph.D.

NIDN.0709117804

Ilham Pakaya, M.Tr.T.

NIDN.0717018801

ABSTRAK

Ketidakstabilan tegangan merupakan salah satu permasalahan pada generator sinkron. Perangkat yang umum digunakan untuk menstabilkan tegangan pada generator sinkron adalah *Automatic Voltage Generator* (AVR). Untuk mendapatkan tegangan yang stabil pada AVR, diperlukan sistem kontrol, salah satunya berupa PID kontroler. Namun, kontroler PID umumnya menggunakan PID konvensional yang penyetelan parameternya masih manual dan tidak dapat disetel ketika sistem sedang bekerja, ketika terjadi perubahan pada sistem. Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan penyetelan PID dengan metode *Fractional Order PID* (FOPID) berbasis *Genetical Algorithm* (GA). GA berfungsi untuk mengoptimasi parameter FOPID agar lebih responsif terhadap perubahan yang terjadi pada sistem. Pengujian desain kontroler FOPID untuk sistem AVR disimulasikan menggunakan Matlab. Hasil pengujian sistem AVR dengan kontrol FOPID berbasis GA didapatkan respon *rise time* dengan nilai 0.343s *overshoot* dengan nilai 1.29%, untuk nilai *setting time* 0.924s dan *error steady state* sekitar 0.0014%. Kemudian nilai lima parameter FOPID yang dioptimasi GA diperoleh pertama kontrol proposional (P) senilai 0.5126, kedua kontrol integral (I) senilai 0.4516, ketiga kontrol derivatif (D) senilai 0.2055, keempat μ (μ) senilai 0.9888, terakhir λ (λ) senilai 0.9577. Selanjutnya nilai fungsi objektif yang digunakan adalah *Integral of Time Square Error* (ITSE) senilai 0.0185.

Kata Kunci : Generator sinkron; kestabilan tegangan; AVR; FOPID; GA

ABSTRACT

Voltage instability is one of the problems with synchronous generators. A commonly used device to stabilize the voltage in synchronous generators is the *Automatic Voltage Generator* (AVR). To get a stable voltage on the AVR, a control system is needed, one of which is a PID controller. However, PID controllers generally use conventional PIDs whose parameter adjustments are still manual and cannot be adjusted when the system is working, when changes occur in the system. Therefore, in this study, PID adjustment was developed with the *Fractional Order PID* (FOPID) method based on *Genetical Algorithm* (GA). GA serves to optimize FOPID parameters to be more responsive to changes that occur in the system. FOPID controller design tests for AVR systems were simulated using Matlab. The results of testing the AVR system with GA-based FOPID control obtained a rise time response with a value of 0.343s overshoot with a value of 1.29%, for a setting time value of 0.924s and a steady state error of about 0.0014%. Then the value of five GA-optimized FOPID parameters was obtained first proportional control (P) worth 0.5126, second integral control (I) worth 0.4516, third derivative control (D) worth 0.2055, fourth mu (μ) worth 0.9888, finally lamda (λ) worth 0.9577. Furthermore, the value of the objective function used is the *Integral of Time Square Error* (ITSE) worth 0.0185.

Keywords: Synchronous generator; voltage stability; AVR; FOPID; GA

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kekuatan, kesehatan dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Ketua Jurusan Teknik Elektro, Bapak Khusnul Hidayat, ST., M.T.
4. Bapak Zulfatman, M.Eng., Ph.D dan bapak Ilham Pakaya, M.Tr.T.yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh Civitas Akademika (dosen, aslab, dan karyawan) Universitas Muhammadiyah Malang yang telah membekali ilmu dan membantu penulis selama proses studi di Universitas Muhammadiyah Malang.
6. Sahabat-sahabat dari kelas C dan teman-teman lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah memberikankesan bewarna dalam perjalanan perkuliahan ini.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini agar dalam penyusunan karya tulis selanjutnya dapat lebih baik.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah Subhanau Wa Ta'ala atas segala limpah dan rahmat-Nya. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada baginda Rasullullah Shalallahu 'Alaihi Wasallam, keluarga, sahabat dan para pengikut setianya. Atas segala kehendak Allah, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul:

“DESAIN FRACTIONAL ORDER PID BERBASIS GENETICAL ALGORITHM PADA SISTEM KONTROL AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR”

Penulisan tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik di Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang. Selain itu penulis berharap agar isi dari tugas akhir ini bisa menambah wawasan dan memberikan manfaat bagi semuanya.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena nya, kritik dan saran yang membangun sangat di butuhkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan peneliti selanjutnya.

Malang, 2 Maret 2024

Akhroma

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR DIAGRAM ALIR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Generator Sinkron	5
2.1.1 Prinsip Kerja Generator Sinkron	5
2.1.2 Struktur Generator Sinkron	6
2.1.2.1 Stator	6
2.1.2.2 Rotor.....	6
2.2 Automatic Voltage Regulator (AVR).....	7
2.2.1 Model Amplifier	8
2.2.2 Model Eksiter.....	8
2.2.3 Model Generator	8
2.2.4 Model Sensor	8

2.3 Fractional Order PID (FOPID).....	9
2.3.1 Definisi Kalkulus Fraksional	9
2.3.2 Pendekatan Rasional untuk Kalkulus Fraksional.....	10
2.3.3 Kontrol FOPID.....	10
2.3.4 Perangkat Lunak Kontrol FOPID	11
2.4 Genetical Alorithm (GA)	12
2.4.1 Inisialisasi Populasi.....	14
2.4.2 Mengevaluasi Nilai Kebugaran.....	14
2.4.3 Seleksi	15
2.4.4 Persilangan.....	15
2.4.5 Mutasi	15
2.4.6 Populasi Baru.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Langkah Penelitian.....	17
3.2 Blok Diagram AVR.....	17
3.3 Model Sistem AVR.....	18
3.4 Parameter FOPID Secara Acak	19
3.5 Optimasi FOPID menggunakan GA	20
3.6 Desain Kontrol FOPID Berdasarkan Standar IEEE.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pengujian sistem AVR tanpa kontrol FOPID	23
4.2 Pengujian sistem AVR pada kontrol FOPID dengan nilai acak.....	25
4.3 Pengujian sistem AVR pada kontrol FOPID berbasis GA.....	26
4.4 Perbandingan sistem AVR tanpa kontrol FOPID, pada kontrol FOPID dengan nilai acak, dan FOPID berbasis algoritma GA	29
4.5 Perbandingan sistem AVR dengan kontrol FOPID berbasis algoritma GA dan algoritma Ant Colony Optimizatiom (ACO).....	30
BAB V PENUTUP	35
5.1 Kesimpulan.....	35

5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSATAKA.....	37
LAMPIRAN	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema AVR Tanpa Kontrol	7
Gambar 2.2 Perubahan Model FOPID	11
Gambar 2.3 Skema FOPID	11
Gambar 3.1 Diagram Blok Langkah Penelitian	17
Gambar 3.2 Blok Sistem AVR dengan Kontrol FOPID Berbasis GA.....	18
Gambar 3.3 Sistem AVR Tanpa kontrol pada Simulink.....	19
Gambar 3.4 Sistem AVR dengan Kontrol FOPID pada Simulink.....	19
Gambar 3.5 Parameter FOPID Secara Acak	20
Gambar 3.6 Sistem AVR dengan Kontrol FOPID Berbasis Optimasi GA....	21
Gambar 4.1 Respon Step Sistem AVR Tanpa Kontrol FOPID	23
Gambar 4.2 Bode plot Sistem AVR Tanpa Kontrol FOPID	24
Gambar 4.3 Respon Step Sistem AVR pada Kontrol FOPID dengan Nilai Acak	25
Gambar 4.4 Bode Diagram Kontrol FOPID denan Nilai Acak	26
Gambar 4.5 Respon Step Sistem AVR pada Kontrol FOPID Berbasis GA ..	26
Gambar 4.6 Grafik Konvergensi GA	27
Gambar 4.7 Bode Diagram Kontrol FOPID Berbasis GA.....	28
Gambar 4.8 Perbandingan Respon Step Sistem AVR Tanpa Kontrol FOPID, Sistem AVR pada Kontrol FOPID dengan Nilai Acak, Sistem AVR Berbasis GA.....	29
Gambar 4.9 Perbandingan Respon Step Sistem AVR dengan Kontrol FOPID Berbasis GA dan ACO	30
Gambar 4.10 Perbesaran Respon Step GA dan ACO	31
Gambar 4.11 Grafik Konvergensi ACO.....	31
Gamba 4.12 Bode Diagram Kontrol FOPID Berbasis ACO	32

DAFTAR DIAGRAM ALIR

Diagram Alir 2.1 Proses GA	13
----------------------------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Sistem.....	18
Tabel 3.2 Parameter GA.....	21
Tabel 3.3 Parameter Performa Sistem Kontrol Feedback	21
Tabel 4.1 Hasil Pengujian AVR tanpa kontrol FOPID	24
Tabel 4.2 Hasil Pengujian AVR pada kontrol FOPID dengan Nilai Acak	25
Tabel 4.3 Hasil Pengujian AVR pada Kontrol AVR Berbasis GA.....	28
Tabel 4.4 Tanggapan Peralihan dari Pengujian.....	32
Tabel 4.5 Bode Plot dari Pengujian.....	33
Tabel 4.6 Parameter Hasil Optimasi	33



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Anthony, *Mesin listrik dasar*. 2018.
- [2] 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.
- [3] M. R. Djalal, H. Nawir, S. Sonong, and M. Marhatang, “Desain Optimal Power Sistem Stabilizer Pada Unit Pembangkit Bakaru Berbasis Ant Colony Optimization,” *Transmisi*, vol. 21, no. 3, p. 70, 2019, doi: 10.14710/transmisi.21.3.70-78.
- [4] T. Utomo, “Perancangan electronic load controller (elc) sebagai penstabil frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh),” pp. 0–5.
- [5] S. Permana and R. Dewira, “Pembuatan Kontrol Arus Eksitasi Pada Modul Automatic Voltage Regulator Dengan Menggunakan Mikrokontroler,” pp. 1–4, 2016.
- [6] G. Singgung, M. Z. I. Pada, and T. Koordinat, “Jurnal simetrik vol.10, no.2, desember 2020,” vol. 10, no. 2, pp. 333–343, 2020.
- [7] M. Noris, “Comparison Between Ziegler-Nichols and Cohen-Coon Method for Controller Tunings,” no. November, pp. 15–39, 2006.
- [8] H. Wicaksono, “Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC,” *Anal. Performansi dan Robustness Beberapa Metod. Tuning Kontroler PID pada Mot. DC*, vol. 4, no. 2, pp. 70–78, 2005, doi: 10.9744/jte.4.2.
- [9] E. Joseph and O. O. Olaiya, “Cohen-coon PID Tuning Method;

- A Better Option to Ziegler Nichols-PID Tuning Method,” *Int. J. Recent Eng. Res. Dev. www.ijrerd.com* ||, vol. 02, no. 11, pp. 141–145, 2017, [Online]. Available: www.ijrerd.com
- [10] M. Penempatan, P. L. Tertutup, M. Pemodelan, and A. Pengendali, “Plus Transportasi Lag Dengan Menggunakan Metoda Ziegler-Nichols dan,” no. 1, pp. 1–10.
- [11] F. Ristantono, R. Effendi, and A. Fatoni, “Desain dan Implementasi Kontroler PID Logika Fuzzy pada Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) Gasoline Generator Set Kapasitas 1 KVA Mesin 4-Tak,” vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [12] Z. L. Gaing, “A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 2, pp. 384–391, 2004, doi: 10.1109/TEC.2003.821821.
- [13] K. Gharib, O. Ebrahim, H. Temraz, and M. Awadallah, “Application of the genetic algorithm to design an optimal PID controller for the AVR system,” *Int. Conf. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 6, pp. 1–11, 2008, doi: 10.21608/iceeng.2008.34520.
- [14] D. Marsudi, “Pembangkitan Energi Listrik, vol. 7, no. 1, 2016, pp. 4–31,” *Pembangkitan Energi List.*, vol. 7, no. 1, pp. 4–31, 2016.
- [15] R. Pradinata, “Bab III Tinjauan Pustaka Generator,” pp. 11–14, 2017, [Online]. Available: [http://eprints.polsri.ac.id/4441/3/FILE III.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/4441/3/FILE%20III.pdf)
- [16] S. P. Juhari, Dipl. Eng, *Generator Semester 3*. 2014.
- [17] T. D. Pamungkas, M. Haddin, and E. Rijanto, “Modifikasi Topologi Pengendali PID untuk Automatic Voltage Regulator Generator Sinkron,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6,

- no. 3, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i3.342.
- [18] E. P. Walidi and H. D. Laksono, *Kumpulan Program Untuk Pemodelan Dan Analisa Kendali Sistem Tenaga Listrik*.
- [19] W. Y. Yu Zaw, "Performance Analysis of Automatic Voltage Regulator in Power Generation System," *Int. J. Sci. Eng. Appl.*, vol. 8, no. 7, pp. 180–185, 2019, doi: 10.7753/ijsea0807.1003.
- [20] A. Necaibia, F. Abdelliche, S. Ladaci, and A. Bouraiou, "Optimal auto-tuning of fractional order PI λ D μ controller for a DC motor speed using Extremum seeking," *2014 Int. Conf. Fract. Differ. Its Appl. ICFDA 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967429.
- [21] P. Shah and S. Agashe, "Review of fractional PID controller," *Mechatronics*, vol. 38, pp. 29–41, 2016, doi: 10.1016/j.mechatronics.2016.06.005.
- [22] P. Agarwal, D. Baleanu, Y. Chen, S. Momani, and T. Machado, *2019_Book_FractionalCalculus.pdf*. 2018.
- [23] P. Sirsode, A. Tare, and V. Pande, "Design of Robust Optimal Fractional-order PID Controller using Salp Swarm Algorithm for Automatic Voltage Regulator (AVR) System," *2019 6th Indian Control Conf. ICC 2019 - Proc.*, vol. 142, no. December, pp. 431–436, 2019, doi: 10.1109/ICC47138.2019.9123188.
- [24] T. Aljaifi, A. Abdellatif, A. Bawazir, O. Pauline, L. C. Yee, and H. Abdullah, "Applied Applying Genetic Algorithm to Optimize the PID controller Parameters for an Effective Automatic Voltage Regulator," *Commun. Comput. Appl. Math.*, vol. 1, no. 2, pp. 10–15, 2019, [Online]. Available: <http://fazpublishing.com/ccam/index.php/ccam/article/view/16/8>
- [25] A. Jayachitra and R. Vinodha, "Genetic Algorithm Based PID

- Controller Tuning Approach for Continuous Stirred Tank Reactor,” *Adv. Artif. Intell.*, vol. 2014, pp. 1–8, 2014, doi: 10.1155/2014/791230.
- [26] M. Yusuf, A. Fatoni, and M. A. Hady, *Desain Kontroler PID-Genetic Algorithm untuk Sistem Pengaturan Level Air Steam Drum pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)*, vol. 6, no. 1. 2017. doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21391.
- [27] R. Udayakumar, G. Saritha, and T. Saravanan, “Design OFAVR using genetic algorithm and PID controller,” *Middle - East J. Sci. Res.*, vol. 20, no. 12, pp. 2075–2078, 2014, doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.20.12.21845.
- [28] A. Mirzal, S. Yoshii, and M. Furukawa, “PID Parameters Optimization by Using Genetic Algorithm,” 2012, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1204.0885>
- [29] A. Khuriati R.S., “Identifikasi dan Perancangan Pengendali PID Menggunakan Penduga ARX Sistem Pemanas Udara (Halaman 1 s.d. 5),” *J. Fis. Indones.*, vol. 17, no. 51, pp. 1–5, 2014, doi: 10.22146/jfi.24424.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO & D3 TEKNIK ELEKTRONIKA
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang 65144 Telp. 0341 - 464318 Ext. 129, Fax. 0341 - 460782

FORM CEK PLAGIASI LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Akhroma Afdolfriki Nirwan Kuncahyo
NIM : 201710130311160
Judul TA : Desain Fractional Order PID berbasis Genetical Algorithm pada Sistem Kontrol Automatic Voltage Regulator

Hasil Cek Plagiarisme dengan Turnitin

No.	Komponen Pengecekan	Nilai Maksimal Plagiasi (%)	Hasil Cek Plagiasi (%) *
1.	Bab 1 – Pendahuluan	10 %	2 %
2.	Bab 2 – Studi Pustaka	25 %	4 %
3.	Bab 3 – Metodologi Penelitian	35 %	8 %
4.	Bab 4 – Pengujian dan Analisis	15 %	0 %
5.	Bab 5 – Kesimpulan dan Saran	5 %	0 %
6.	Publikasi Tugas Akhir	20 %	8 %

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I,

(Zulfatman, M.Eng., Ph.D.)

Dosen Pembimbing II,

(Hham Pakaya, M.Tr.T.)