



**ANALISIS PERBAIKAN STABILITAS DINAMIK PADA SISTEM
TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN ALGORITMA *HYBRID*
DIFERENTIAL EVOLUTION – PARTICLE SWARM
*OPTIMIZATION (DE-PSO)***

T E S I S

**Tesis diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik**



Disusun oleh:

Nama Suharto

NIM 092022090106

**PRORAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS GLOBAL
JAKARTA 2024**

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 15 Agustus 2024

Mahasiswa,

A handwritten signature in black ink is written over a red rectangular meter stamp. The stamp contains the text 'METERAI TEMPEL' and a unique alphanumeric code '02B3CALX229051938'.

Suharto

NIM.092022090106

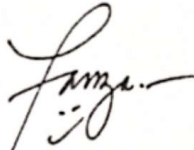
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Suharto
NIM : 092022090106
Prodi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisis Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem Tenaga Listrik
Menggunakan Algoritma *Hybrid Differential Evolution - Particle
Swarm Optimization* (DE-PSO)

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta

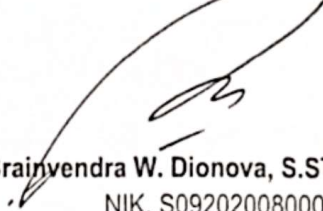
Pembimbing I



(Dr. Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T.,
M.T.)

NIK. S092019110003

Pembimbing II

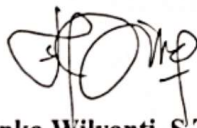


(Brainyendra W. Dionova, S.ST., MSc.Eng)

NIK. S092020080004

Ketua Program Studi

Magister Teknik Elektro



Sinka Wilyanti, S.T., M.T.

NIK. S092012120066

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 15 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Suharto
NIM : 092022090106
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisis Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem
Tenaga Listrik Menggunakan Metode *Algoritma
Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm
Optimization* (DE-PSO)

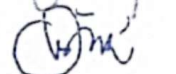
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

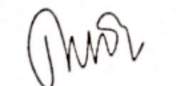
Penguji 1 : Dr. Antonium Darma Setiawan, S.Si., M.T

()

Penguji 2 : Dr. Ir. Sidik Mulyono, M.Eng

()

Penguji 3 : Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T

()

Ditetapkan di : Depok

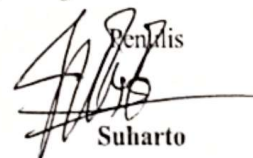
Tanggal : Agustus 2024

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas nikmat dan karuniaNya saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, C.Eng, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;
- (2) Brainvendra W Dionova, S.ST., MSc.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah banyak membantu meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;
- (3) Kedua orang tua tercinta Bapak dan Ibu, yang telah mendidik dan menanamkan semangat untuk menuntut ilmu, Semoga Allah mengasihi dan menyayangi beliau;
- (4) Istri tercinta Novi Aulia Hikmawati STP, SP,d MPd yang selalu mendampingi memberikan semangat dalam penyusunan Tesis ini;
- (5) Sahabat yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini. Akhir kata, semoga Allah berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan mencatatnya sebagai amalan yang bernilai ibadah. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi masyarakat dan pengembangan ilmu pengetahuan energi terbarukan pada umumnya.

Depok, 15 Agustus 2024


Penulis
Suharto

NIM.092022090106

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Suharto
NPM : 092022090106
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Jenis Karya Ilmiah : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Algoritma *Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization* (DE-PSO) beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 15 Agustus
2024

Yang menyatakan

METERAI TEMPEL
4B135ALX229051933
Suharto

NIM.092022090106

v

ABSTRAK

Tesis ini membahas tentang perbaikan stabilitas dinamik pada sistem tenaga listrik. Dalam perbaikan stabilitas dinamik pada sistem tenaga listrik menggunakan kontrol tambahan berupa Power System Stabilizer (PSS) yang dioptimasi menggunakan algoritma metaheuristik Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization (DE-PSO). Hasil dari analisa ini berupa perbandingan sistem tanpa kontrol, sistem dengan kontrol PSS konvensional dan sistem dengan PSS yang dioptimisasi menggunakan algoritma hybrid DE-PSO. Analisa dilakukan untuk melihat respon osilasi dari sistem akibat perubahan beban dinamik sebesar 0.01 p.u, 0.05 p.u. dan 0.10 p.u. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini sistem yang dikontrol dengan PSS dengan penalaan algoritma hybrid DE-PSO menghasilkan respon redaman overshoot yang lebih kecil dan setting time lebih cepat dibandingkan sistem tanpa kontrol dan sistem dengan kontrol PSS konvensional.

Kata kunci— kestabilan dinamik, PSS, Hybrid DE-PSO, SMIB,

ABSTRACT

This thesis discusses the improvement of dynamic stability in electric power systems. To improve the dynamic stability of the electric power system, additional control is used in the form of a Power System Stabilizer (PSS) which is optimized using the Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization (DE-PSO) metaheuristic algorithm. The results of this analysis are in the form of a comparison of a system without control, a system with conventional PSS control and a system with PSS optimized using the hybrid DE-PSO algorithm. The analysis was conducted to see the oscillatory response of the system due to dynamic load changes of 0.01 p.u., 0.05 p.u. and 0.10 p.u. The results obtained in this study, the system controlled by PSS with hybrid DE-PSO algorithm tuning produces a smaller overshoot damping response and faster setting time compared to the system without control and the system with conventional PSS control.

Keywords— *dynamic stability; PSS; DE-PSO; SMIB*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.2 Dinamika dan Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.3 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik.....	9
2.4. Pemodelan Mesin Sinkr.....	9
2.5. Pemodelan Governor.....	18

2.6	Pemodelan turbin dan Sistem Pengendaliannya.....	21
2.7	Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Mesin Tunggal.....	23
2.8	Algoritma <i>Hybrid</i> DE PSO.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....		30
3.1	Algoritma Penyelesaian	30
3.2	State Space.....	32
3.3	Stabilitas	32
3.4	Penambahan PSS pada SMIB.....	34
3.5	Penalaan parameter PSS menggunakan <i>Hybrid</i> DE-PSO.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Grafik Konvergensi dan Parameter PSS dengan Hybrid DE-PSO.....	37
4.2	Respon Perubahan Sudut Rotor.....	38
4.3	Respon Perubahan Frekuensi.....	41
4.4	Respon Perubahan Tegangan.....	45
BAB V PENUTUP.....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		53

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan akan mengakibatkan ketidakstabilan sistem (Vittal et al., 2019). Ketidak seimbangan antara daya input mekanis dan daya beban listrik pada sistem menyebabkan kecepatan rotor (frekuensi sistem) dan tegangan generator menyimpang dari kondisi normal sehingga mengganggu stabilitas sistem (Vittal et al., 2019). Ketidak stabilan sistem disebabkan oleh gangguan besar dan gangguan kecil. Gangguan kecil dapat terjadi berupa perubahan beban secara tiba-tiba dan periodik. Gangguan besar disebabkan oleh kegagalan pada sistem seperti hubung singkat dan putus jaringan. Jika hal ini tidak diatasi dengan cepat, sistem akan beroperasi di luar keadaan normalnya. Oleh karena itu, sistem tenaga listrik memerlukan perangkat kontrol yang dapat bereaksi secara otomatis terhadap penyimpangan (Chitara et al., 2018).

Peralatan kendali governor, AVR (*Automatic Voltage Regulator*), dan sistem eksitasi menjadi merupakan peralatan kendali yang harus menjadi bagian dari sistem tenaga listrik untuk menjaga kestabilan dinamis (Robandi, 2006). Salah satu cara yang digunakan untuk menambah redaman dan menstabilkan sistem yaitu dengan penambahan berupa PSS.

Berikut ini beberapa penalaan PSS yang memanfaatkan kecerdasan buatan untuk proses optimisasi. Salah satu penelitian pada sistem *single machine infinite bus* (SMIB) digunakan metode penalaan kecerdasan buatan *bat algorithm*. Hasil penalaan menggunakan *bat algorithm* ini mampu meredam osilasi kestabilan dinamik berupa respon perubahan frekuensi dan sudut rotor. Namun dalam penelitian ini untuk respon perubahan pada tegangan belum di tampilkan (Suharto et al., 2015).

Penalaan parameter PSS juga digunakan untuk mereduksi jaringan dan rugi saluran pada pembangkit listrik tenaga uap Pacitan menggunakan *hybrid chaotic differensial evolutin*. Metode tersebut mampu mencari kerugian saluran akibat kontribusi daya sebuah generator lebih baik di banding dengan metode konvensional (Hasan et al., 2017).

Salah satu algoritma kecerdasan buatan lain seperti *particle swarm*

optimization (PSO) juga dimanfaatkan untuk mendesain parameter PSS. Hasil keluaran berupa respon frekuensi dan sudut roto yang lebih baik dibanding dengan desain PSS konvensional. Untuk hasil dari respon perubahan tegangan akibat adanya perubahan beban belum ditampilkan (Djalal et al., 2021).

Aplikasi kecerdasan buatan juga diterapkan peralatan kendali *super magnetic energi storage* (SMES). Untuk kontroler ini di implementasikan pada sistem multimesin. SMES dilakukan optimisasi parameter menggunakan metode kecerdasan buatan algoritma *hybrid differential evolution - particle swarm optimization* (DE-PSO). Hasil dari penelitian ini mampu meredakan osilasi frekuensi akibat gangguan dinamik pada sistem tenaga listrik multimesin (Sofiah et al., 2022). Namun implementasi algoritma *Hybrid DE-PSO* pada PSS yang diterapkan pada sistem tenaga listrik belum dibahas pada penelitian tersebut.

Dari beberapa penelitian terakhir yang diuraikan diatas pemanfaatan kecerdasan buatan untuk sistem pengendali tenaga listrik berperan cukup efektif dalam merespon gangguan dinamik. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan membahas pemanfaatan kecerdasan buatan untuk proses optimisasi pada sistem tenaga listrik.

Fokus utama penelitian ini membahas sistem pengendali PSS yang diimplementasikan pada sistem tenaga listrik. Untuk metode optimisasi parameter PSS, penelitian ini memanfaatkan kecerdasan buatan berupa algoritma *hybrid DE-PSO*. Untuk melengkapi hasil penelitian sebelumnya maka penambahan analisis respon tegangan terhadap gangguan dinamik pada sistem tenaga listrik akan dijabarkan.

Untuk memperoleh hasil analisa kestabilan dinamik sistem tenaga listrik secara menyeluruh penelitian ini akan melakukan uji perbandingan sistem perlu dilakukan. Uji perbandingan sistem ini akan dilakukan dengan sistem tanpa PSS, sistem, sistem dengan PSS konvensional dan sistem dengan PSS yang di optimisasi menggunakan algoritma *hybrid DE-PSO*. Performa respon kestabilan sistem ditentukan dengan melihat nilai perbandingan *over shoot* dan *setting time* pada respon frekuensi, respon sudut rotor dan respon tegangan akibat perubahan gangguan dinamik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memodelkan kontroler PSS pada sistem tenaga listrik *Single*

Machine Infinite Bus (SMIB)?

2. Bagaimana menentukan koordinasi parameter PSS guna mendapatkan hasil yang optimal menggunakan Algoritma *Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization* (DE-PSO)?
3. Bagaimana performansi sistem setelah diterapkan kontroler PSS dengan penalaan Algoritma *Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization* (DE-PSO), PSS konvensional dan sistem tanpa kontroler?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensimulasikan dan menerapkan *Power System Stabilizer* (PSS) pada sistem tenaga Listrik.
2. Mendapatkan hasil perbandingan respon keluaran sistem dengan metode penalaan algoritma metaheuristik *Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization* (DE-PSO).
3. Mendapatkan parameter kontroler yang paling optimal dengan metode penalaan algoritma metaheuristik *Hybrid Differential Evolution - Particle Swarm Optimization* (DE-PSO).

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya tujuan dari penelitian tersebut, maka manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem tenaga listrik khususnya permasalahan yang berkaitan dengan dengan *Power System Stabilizer* (PSS).
2. Meningkatkan pengetahuan tentang stabilitas sistem tenaga Listrik.
3. Meningkatkan kualitas dan stabilitas dinamik pada sistem tenaga listrik.
4. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dan peneliti lain yang hendak mengambil topik penelitian yang serupa.

1.5 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan topik riset tesis ini, batasan dan asumsi harus di tentukan sebagai berikut ini :

1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software yaitu MATLAB versi R2021a.
2. Teknik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan adalah teknik DE-PSO
3. Analisis dilakukan pada sistem *Single Machine Infinite Bus* (SMIB).
4. Gangguan pada sistem bersifat dinamik.
5. Faktor ekonomis tidak diperhitungkan.
6. Beban sistem dianggap statik.
7. Faktor harmonisa diabaikan.
8. Kontrol yang digunakan adalah PSS

DAFTAR PUSTAKA

- Araújo, T. de F., & Urtubey, W. (2013). Performance assessment of PSO, DE and hybrid PSO-DE algorithms when applied to the dispatch of generation and demand. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 47, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.11.002>
- Chitara, D., Niazi, K. R., Swarnkar, A., & Gupta, N. (2018). Cuckoo Search Optimization Algorithm for Designing of a Multimachine Power System Stabilizer. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(4), 3056–3065. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2811725>
- Djalal, M. R., Saini, M., & Yunus, A. M. S. (2021). Optimal Design of PSS on SMIB Using Particle Swarm Optimization. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 8(1), 91–95. <https://doi.org/10.31963/intek.v8i1.2893>
- Hasan, D. A., Soeprijanto, A., & Aryani, N. K. (2017). Penalaan Optimal Power System Stabilizer Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pacitan Menggunakan Hybrid Adaptive Chaotic Differential Evolution dan Reduksi Jaringan Berbasis Rugi Saluran. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 78–83.
- Hatziargyriou, N., Milanovic, J., Rahmann, C., Ajarapu, V., Canizares, C., Erlich, I., Hill, D., Hiskens, I., Kamwa, I., Pal, B., Pourbeik, P., Sanchez-Gasca, J., Stankovic, A., Van Cutsem, T., Vittal, V., & Vournas, C. (2021). Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(4), 3271–3281. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3041774>
- Laksono, A. F. (2023). *Pengaruh Green Accounting dan ESG Disclosure Terhadap Kinerja Perusahaan Manufaktur Periode 2020-2022* [Skripsi]. Universitas Bina Nusantara.
- Sofiah, A., Sctiadi, H., & Atmaja, R. W. W. (2022). Intelligent Coordinated Control of PID-SMES and AVR based on Hybrid PSO-DE for Small Signal Stability Enhancement. *Journal of Advanced Technology and Multidiscipline*, 1(1), 18–23. <https://doi.org/10.20473/jatm.v1i1.39627>
- Suharto, Robandi, I., & Priyadi, A. (2015). Penalaan Power System Stabilizer (PSS) untuk Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Bat Algorithm (BA). *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 4–9.
- Wang, S.-K. (2016). Coordinated parameter design of power system stabilizers and static synchronous compensator using gradual hybrid differential evaluation. *International*

- Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 81, 165–174.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.02.016>
- Yunus, A. M. S., Djalal, M. R., & Akil, Y. S. (2020). SMIB stability enhancement using capacitive energy storage and PID based on ant colony optimization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012241.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012241>
- Kundur, P. (2022). *Power System Stability and Control* (Kindle). McGraw-Hill.
- Robandi, I. (2006). *Desain Sistem Tenaga Modern* (1st ed.). Andi.
- Robandi, I. (2009). *Modern Power System Control*. Andi.
- Saadat, H. (1999). *Power Sytem Analysis*. McGraw-Hill.
- Soeprijanto, A. (2012). *Desain Kontroller untuk Kestabilan Dinamik Sistem Tenaga Listrik*. ITS Press.
- Stevenson, W. D. (1982). *Elements of Power System Analysis* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Vittal, V., McCalley, J. D., Anderson, P. M., & Fouad, A. A. (2019). *Power System Control and Stability* (3rd ed.). John Wiley & Sons.