

# PERBANDINGAN DESAIN OPTIMAL *POWER SYSTEM STABILIZER (PSS)* MENGGUNAKAN *PSO (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)* DAN *GA (GENETIC ALGORITHM)* PADA *SINGLE MACHINE INFINITE BUS (SMIB)*

Jibril Yamlecha<sup>\*)</sup>, Hermawan, dan Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Suedarto, S.H. Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>*Email : yamlecha@yahoo.com*

## Abstrak

Persoalan stabilitas sistem tenaga telah dianggap sebagai masalah penting yang harus dipertimbangkan dalam operasi sistem tenaga listrik. Meningkatnya kebutuhan energi listrik yang tidak diikuti dengan bertambahnya unit pembangkit merupakan salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya keandalan sistem tenaga. Hal ini dikarenakan pembangkit yang ada harus dipaksa beroperasi pada batasnya sehingga akan mudah kehilangan kestabilan ketika mengalami gangguan. Gangguan ini akan menghasilkan osilasi dan bisa menyebabkan generator kehilangan sinkronisasinya dan berakibat sistem blackout. Sejumlah riset telah membuktikan bahwa Power System Stabilizer (PSS) dapat meningkatkan kestabilan sistem tenaga listrik terutama dalam hal kestabilan dinamik. Dalam tugas akhir ini, diteliti mengenai pengaruh PSS terhadap kestabilan sistem, yaitu kestabilan sudut rotor dan frekuensi generator ketika mengalami gangguan kecil. Untuk mendapatkan redaman yang optimal, parameter PSS ditala menggunakan metode optimasi stokastik yaitu Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA). Hasil Simulasi menunjukkan bahwa penggunaan PSS mampu meningkatkan batas kestabilan sistem tenaga. Osilasi sudut rotor dan frekuensi bisa diredam dalam waktu yang lebih singkat pada kondisi daya  $0,5 + j0,2$  p.u. Dengan adanya PSS, sistem yang tadinya tidak stabil bisa digeser ke daerah stabil ketika generator menyuplai daya  $0,8 + j0,6$  p.u. Dari hasil simulasi pula, dapat diketahui bahwa metode PSO memiliki keandalan yang sama dengan metode GA dalam desain PSS. Hal ini dibuktikan dengan grafik uji respon sistem yang saling berhimpit.

*Kata kunci : PSS, Kestabilan, PSO, GA*

## Abstract

The issue of power system stability has been considered to be an important problem in the operation of electric power systems. The increasing of electric power demand that are not followed by adding generation unit is one of the factors that cause a reduction in the power system reliability. This is because the existing plants should be forced to operate at their limit so it would be easily to get unstable during disturbance. Disturbance will result in oscillations and make generator loss the synchronization and can caused system blackout. Some research has shown that the Power System Stabilizer (PSS) can improve the power system stability , especially in terms of dynamic stability. This report studied the effect of PSS on the system stability, especially in rotor angle and frequency stability when the small perturbations happened. To obtain optimal damping, PSS parameters are tuned by using stochastic optimization methods, namely Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA). The simulation results that the PSO and GA method for tuning PSS parameters can improve power system stability limitation. Rotor angle and frequency oscillation can be suppressed in a shorter time by adding PSS devices when the power condition at  $0,5 + j0,2$  p.u. With the PSS, the system that are not stable can be shifted to the stable area when the generator is supplying power at  $0,8 + j0,6$  p.u. From the simulation results as well, it can be seen that the PSO method has the same reliability with GA method for PSS design. This is evidenced by the graph test system response coincide with each other.

*Keywords: PSS, Stability, PSO, GA*

## 1. Pendahuluan

Pada perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik, kestabilan sistem adalah hal yang sangat penting. Pada sistem pengaturan modern, eksitasi memegang peranan

penting dalam mengendalikan kestabilan suatu pembangkit karena apabila terjadi fluktuasi beban maka eksitasi sebagai pengendali akan berfungsi mengatur keluaran generator seperti tegangan, dan faktor daya

dengan cara mengatur kembali besaran-besaran input guna mencapai kesetimbangan baru.

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan dalam kondisi stabil bila seluruh variabel keadaannya stabil, seperti tegangan, sudut generator/rotor, dan frekuensi sistem.

Kestabilan sistem tenaga mutlak sangat diperlukan guna menjaga mutu dan keandalan pasokan energi listrik. Perhatian secara khusus difokuskan pada pengaruh kontrol eksitasi terhadap peredaman osilasi, yang merupakan karakteristik fenomena stabilitas. Saat ini, memasukkan sinyal stabilisasi tambahan yang ditentukan dari sinyal deviasi kecepatan melalui *Power System Stabilizer* (PSS) telah sangat bermanfaat dan praktis untuk menyediakan peredaman tambahan terhadap osilasi.

RJ Fleming dan M.A Mohan<sup>[3]</sup> mengusulkan algoritma perhitungan *eigenvalue* secara sekuensial untuk memilih parameter stabilizer dalam sistem tenaga multimesin. Pavan Kumar dan Srivalli S<sup>[8]</sup> mengungkap perbandingan teknik *Pole Placement* dan algoritma genetika dalam mentala PSS untuk meredam osilasi frekuensi rendah. Chalis Zamani<sup>[27]</sup> menjelaskan penggunaan aplikasi dari optimal PI untuk mendesain PSS pada SMIB.

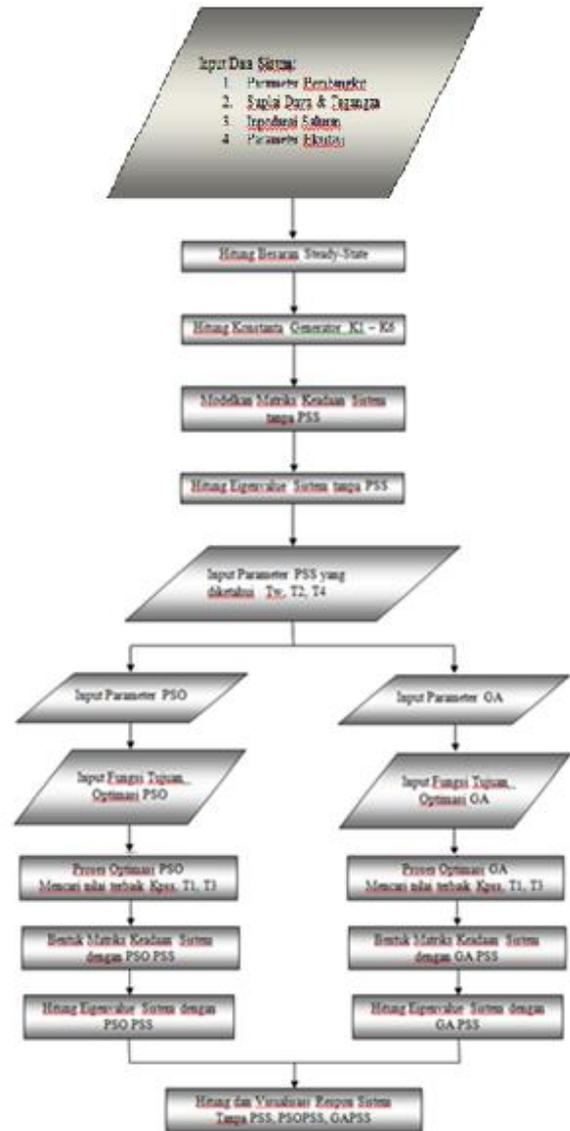
Sedangkan paper ini meneliti tentang aplikasi PSS pada sistem *Single Machine Infinite Bus*. Sistem tenaga yang dimodelkan berdasarkan IEEE model (1.0)<sup>[15]</sup> yaitu sebuah generator sinkron yang menyalurkan daya ke bus tak hingga melalui saluran transmisi yang memiliki impedansi tertentu. Sinyal input PSS yang digunakan adalah deviasi kecepatan atau  $\Delta\omega$ .

Dalam penelitian ini, parameter PSS akan dicari melalui suatu teknik optimasi stokastik yaitu *Particle Swarm Optimization* atau yang biasa disebut dengan PSO dan juga *Genetic Algorithm* atau GA supaya dihasilkan respon sistem dengan faktor redaman yang paling tinggi. Kemudian dari kedua teknik optimasi ini akan dibandingkan teknik optimasi yang paling baik untuk kasus yang terdapat dalam simulasi tugas akhir ini.

## 2. Metode

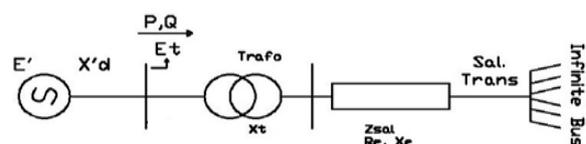
### 2.1 Perancangan Simulasi Sistem<sup>[3,14,15]</sup>

Diagram alir perancangan dan pembuatan program Desain Optimal Parameter PSS menggunakan PSO dan GA pada *Single Machine Infinite Bus* ditunjukkan pada gambar 1 berikut

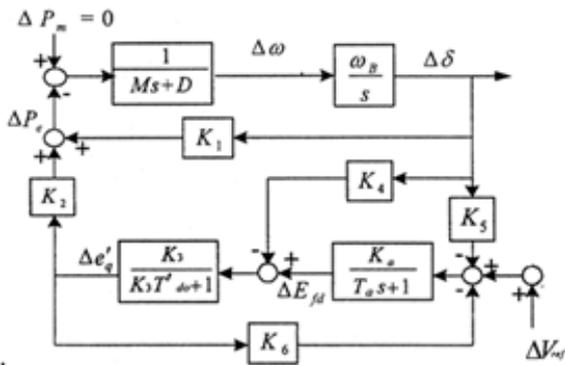


Gambar 1 Blok Diagram Alir Tahap Pembuatan Simulasi Sistem

Simulasi menggunakan program Matlab 2008a. Sistem yang diteliti dalam tugas akhir ini adalah *single machine infinite bus* (SMIB) yaitu merupakan sistem satu mesin/generator yang menyalurkan daya ke bus tak hingga.



Gambar 2 Pemodelan SMIB untuk kajian tugas akhir



Gambar 3 Blok diagram model linear dari sistem SMIB

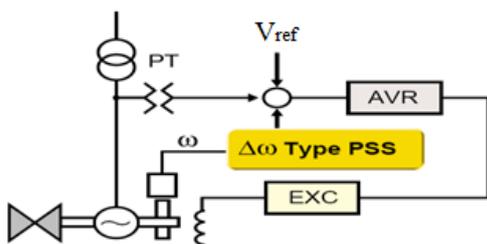
Data sistem yang digunakan dapat dilihat pada table berikut. Semua data adalah dalam satuan p.u, kecuali data t (waktu) yaitu dalam satuan sekon.

Tabel 1 Data parameter generator, suplai daya, impedansi saluran transmisi, dan parameter eksitasi

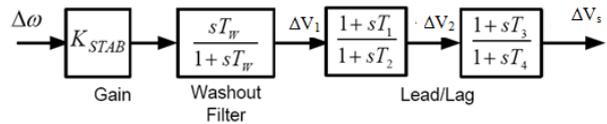
Besaran	Nilai	Definisi
<b>Parameter Generator</b>		
$X_i$	0,1	Reaktansi transformator
$X_q$	1,55	Reaktansi sinkron generator q-axis
$X_d$	1,6	Reaktansi sinkron generator d-axis
$X'_d$	0,32	Reaktansi transien generator d-axis
$f$	60	Frekuensi sistem
$T'_{d0}$	6	Konstanta waktu rangkaian hubung buka
$H$	5	Inersia mesin
$D$	0	Koefisien redaman generator
<b>Daya &amp; Tegangan</b>		
$P_i$	Variatif	Suplai daya Aktif generator
$Q_i$	Variatif	Suplai daya Reaktif generator
$E_t$	1	Tegangan terminal generator
$\alpha$	0	Sudut dari $E_t$
<b>Saluran Transmisi</b>		
$R_e$	0	Tahanan saluran transmisi
$X_e$	0,3	Reaktansi saluran transmisi
<b>Parameter Eksitasi</b>		
$K_A$	100	Gain regulator
$T_A$	0,05	Konstanta waktu regulator

## 2.2 Pemodelan PSS (Power System Stabilizer)<sup>[3,14,22,24]</sup>

PSS adalah sebuah piranti kontrol tambahan pada generator sinkron, digunakan sebagai sinyal kontrol tambahan pada sistem eksitasi untuk memperbaiki peredaman sistem, sehingga dapat mempertahankan operasi yang handal bagi sistem tenaga listrik.



Gambar 4 Skematik PSS tipe Δω



Gambar 5 Diagram blok PSS tipe Δω

Desain PSS yang tepat akan menghasilkan sistem tenaga yang lebih andal dan stabil dibandingkan sistem tenaga tanpa PSS. Ketika terjadi gangguan, PSS akan mengaktifkan sinyal kontrol untuk meredam osilasi gelombang keluaran dari generator.

Data  $T_w$ ,  $T_2$ , dan  $T_4$  dikondisikan sesuai data yang ada pada jurnal. Sedangkan  $K_{pss}$ ,  $T_1$ , dan  $T_3$  dicari nilai optimalnya melalui metode PSO dan GA dengan range batas atas dan batas bawah yang sudah ditentukan. Tidak ada standard khusus dalam penentuan range ini tetapi biasanya  $T_w$  berada di nilai 1 – 20s, sedangkan  $T_1 - T_4$  berada pada nilai 0,001 – 1s, dan  $K_{pss}$  yaitu 1 – 100s.

Tabel 2 Data parameter PSS yang diketahui

Parameter PSS	Nilai
$T_w$	1
$T_2$	0,05
$T_4$	0,05

## 2.3 PSO (Particle Swarm Optimization)<sup>[5,21]</sup>

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart tahun 1995, proses algoritmanya terinspirasi oleh tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama. Perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu yang lain dalam satu kelompok. Setiap individu berperilaku secara terdistribusi dengan menggunakan kecerdasannya sendiri dan juga dipengaruhi kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika salah satu pertikel menemukan jalan terbaik menuju sumber makanan, maka sisa anggota yang lain juga akan mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka tidak saling berdekatan.

## 2.4 GA (Genetic Algorithm)<sup>[4,25]</sup>

Peletak prinsip dasar sekaligus pencipta algoritma genetika adalah John Holland. Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu – individu, yang masing – masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai fitness yang akan

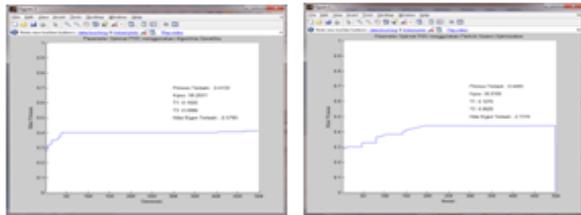
digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada.

Tabel 3 Parameter PSO dan GA

Parameter PSO	Nilai	Parameter GA	Nilai
MaxIterasi	500	Max Generasi	500
Ukuran Swarm	100	UkPop	100
C <sub>1</sub>	1	Nyar	3
C <sub>2</sub>	1	Nbit	8
Rho Min	0,4	Pc	0,9
Rho Max	0,9	Pm	0,01

### 3. Hasil dan Analisis

Pengujian dimaksudkan untuk mendapatkan nilai parameter optimal PSS sehingga dapat meningkatkan kestabilan sistem tenaga listrik. Metode optimasi yang digunakan adalah PSO (*Particle Swarm Optimization*) yang kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan metode optimasi GA (*Genetic Algorithm*). Selama proses optimasi berlangsung, maka akan muncul grafik nilai fungsi tujuan tiap iterasi. Gambar 6(a) menunjukkan proses optimasi menggunakan GA. Sedangkan gambar 6(b) menunjukkan proses oprimasi menggunakan metode PSO



Gambar 6 Grafik nilai tujuan dari setiap iterasi (a) Metode GA (b) Metode PSO

Setelah dilakukan proses optimasi dengan ke-2 metode diatas, maka akan diperoleh parameter optimal PSS sesuai dengan kondisi operasi suplai daya generatornya.

Tabel 4 Nilai parameter terbaik PSS hasil optimasi

Parameter PSS	S = 0,5 + j0,2 p.u		S = 0,8 + j0,6 p.u		S = 1,0 - j0,5 p.u	
	PSO	GA	PSO	GA	PSO	GA
K <sub>pss</sub>	47,9641	48,4375	56,8185	58,2031	100	99,6094
T1	0,10402	0,075145	0,1276	0,10246	0,1268	0,14929
T3	0,087803	0,11807	0,062848	0,098559	0,1268	0,10246

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil pencarian parameter PSS dengan metode PSO dan GA memiliki nilai yang hampir mendekati. Nilai inilah yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai eigen sistem dengan PSS dan dengan nilai eigen ini bisa dilakukan analisa mengenai kestabilan sistemnya.

Tabel 5 Nilai eigen sistem tanpa dan dengan PSS

Daya Yang Disalurkan (p.u)	Tanpa PSS	PSO PSS	GA PSS
0,5 + j0,2	-0,1528 ± 5,6152i	-31,8211 + 0,0000i	-31,4593 + 0,0000i
	-10,0786 ± 7,9500i	-3,9178 ± 14,7545i	-3,7329 ± 14,7461i
		-2,7440 ± 0,0000i	-2,6846 ± 0,5037i
		-2,7440 ± 0,0002i	-2,6350 ± 0,0000i
0,8 + j0,6		-13,5744 ± 0,0000i	-14,5336 ± 0,0000i
	0,1679 ± 6,1444i	-31,4238 + 0,0000i	-34,1525 + 0,0000i
	-10,3994 ± 7,8787i	-2,7323 ± 15,4167i	-3,2411 ± 16,6063i
		-2,7319 ± 0,0000i	-2,5799 ± 0,0000i
1,0 - j0,5		-2,7319 ± 0,0002i	-2,8013 ± 0,4664i
		-16,3789 + 0,0000i	-12,6457 + 0,0000i
	-19,4704 + 0,0000i	-50,0545 + 0,0000i	-49,2909 + 0,0000i
	7,9419 ± 0,0000i	1,7518 ± 26,4671i	1,7244 ± 25,8967i
	-4,4672 ± 4,8072i	1,7614 + 0,0000i	1,7614 + 0,0000i
		-0,6455 + 0,0000i	-0,6459 + 0,0000i
		-8,0092 ± 1,6572i	-8,3681 ± 0,6973i

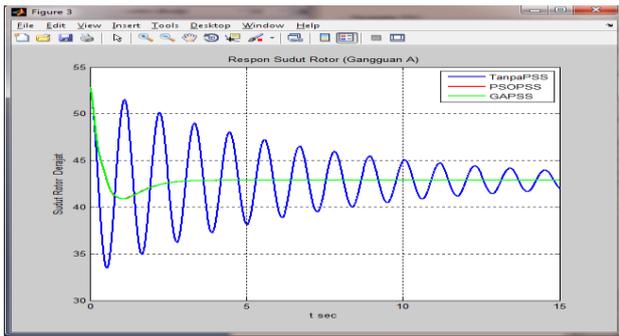
Ketika kondisi operasi generator menyalurkan daya sebesar 0,5 + j0,2 p.u, sistem tenaga tanpa PSS masih dalam daerah stabil dikarenakan bagian real *eigenvalue* semuanya bernilai negatif. Sistem tenaga dengan PSOPSS dan GAPSS mampu menggeser nilai eigen kearah kiri sumbu imajiner sehingga nilainya semakin negatif sehingga dihasilkan peredaman yang lebih efisien dengan waktu yang lebih cepat.

Ketika generator menyalurkan daya sebesar 0,8 + j0,6 p.u, sistem tenaga tanpa PSS masuk kedalam daerah tidak stabil karena terdapat nilai eigen yang bagian realnya bernilai positif yaitu 0,1679 ± 6,1444i. Dengan adanya penambahan PSS nilai eigen mampu digeser lebih kiri sehingga semua bagian realnya bernilai negatif sehingga sistem tetap stabil.

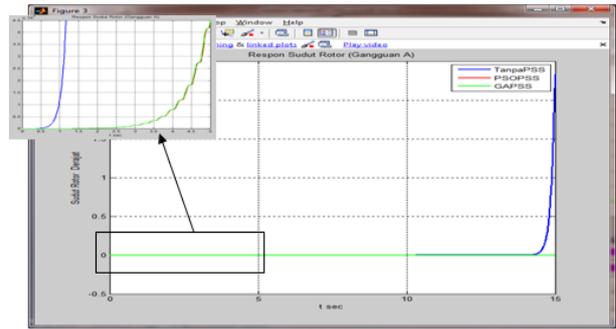
Untuk kasus generator menyalurkan daya sebesar 1,0 - j0,5 p.u, nilai eigen menunjukkan bahwa sistem tenaga tanpa PSS tidak stabil. Kondisi ini tidak dapat diperbaiki dengan pengaplikasian PSS. Hal ini dapat dilihat dari nilai eigen PSOPSS dan GAPS. Meskipun dapat digeser lebih kiri dari sumbu imajiner namun nilainya masih positif.

Untuk mengetahui respon sistem terhadap gangguan, diasumsikan sistem tenaga mengalami gangguan kecil (bersifat temporer) sehingga sudut rotor berubah sebesar Δδ = 10° kemudian CB (*Circuit Breaker*) membuka dan dengan cepat menutup lagi.

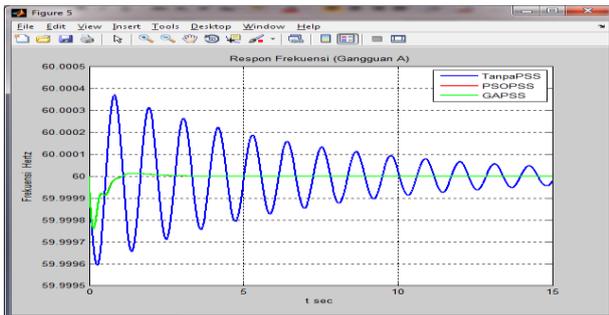
Berikut ini adalah grafik respon sistem tenaga. Garis warna biru menunjukkan respon sistem tanpa PSS, garis merah menunjukkan respon sistem tenaga dengan PSS yang parameter optimalnya ditala menggunakan algoritma PSO, sedangkan garis warna hijau menunjukkan respon sistem dengan PSS yang ditala menggunakan algoritma genetika (GA).



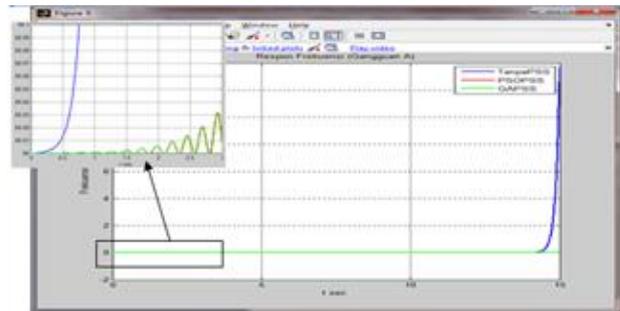
(a)



(a)



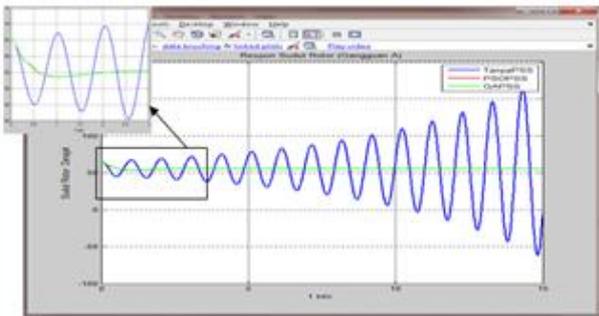
(b)



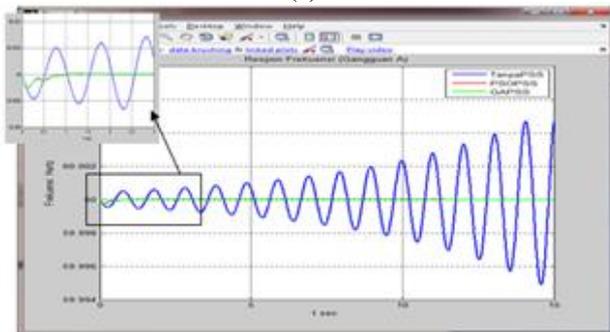
(b)

Gambar 7 Respon sudut rotor (a) dan frekuensi (b) pada kondisi operasi  $S = 0,5 + j0,2$  p.u

Gambar 9 Respon sudut rotor (a) dan frekuensi (b) pada kondisi operasi  $S = 1,0 - j0,5$  p.u



(a)



(b)

Gambar 8 Respon sudut rotor (a) dan frekuensi (b) pada kondisi operasi  $S = 0,8 + j0,6$  p.u

Pada gambar respon keluaran sistem, dapat dilihat bahwa respon sistem tenaga dengan PSOPSS dan GAPSS memiliki bentuk yang hampir sama dan saling berhimpit dikarenakan hasil pencarian optimal parameter PSSnya sangat mendekati.

Gambar 7 menunjukkan respon sudut rotor dan frekuensi sistem ketika mengalami gangguan. Sistem tanpa PSS akan membutuhkan waktu yang lama untuk kembali ke kondisi *steady-state* yaitu lebih dari 15 detik. Sedangkan sistem dengan GAPSS mampu mengembalikan sistem ke kondisi *steady-state* dalam waktu kurang dari 5 detik. Hal yang sama juga terjadi pada sistem dengan PSOPSS.

Gambar 8 menunjukkan bahwa sistem tanpa PSS berada pada kondisi tidak stabil, yaitu osilasi akan terjadi secara terus menerus bahkan magnitudenya semakin besar. Dengan diaplikasikannya PSS baik PSOPSS ataupun GAPSS, maka sistem mampu digeser ke daerah yang stabil dan osilasi mampu diredam dengan cepat.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa sistem tanpa PSS pada kondisi tidak stabil. Sistem tenaga dengan PSOPSS maupun GAPSS tidak bisa membuat sistem menjadi stabil dalam kondisi operasi ini.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Analisa mengenai *eigenvalue* sistem dapat dijadikan patokan untuk mengetahui stabil atau tidaknya suatu sistem. Sistem berada pada daerah kestabilan ketika semua bagian *real* dari *eigenvalue*nya bernilai negatif, begitu pula sebaliknya.
2. Penerapan *Power System Stabilizer* (PSS) memberikan unjuk kerja yang lebih baik dibanding dengan sistem tenaga listrik tanpa *Power System Stabilizer* (PSS). Dimana respon sudut rotor dan frekuensi lebih cepat kembali ke keadaan *steady-state* (tunak) bila memakai PSS dibanding tanpa PSS.
3. Dalam pencarian optimal parameter *Power System Stabilizer* (PSS), metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) memiliki keandalan yang sama dengan metode *Genetic Algorithm* (GA). Hal ini dibuktikan dengan grafik respon tanggap sistem tenaga PSOPSS dan GAPSS yang mirip dan saling berhimpit.

#### Referensi

- [1] Ariwibowo, Widi. *Stabilisator Sistem Tenaga Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Berulang untuk Sistem Mesin Tunggal*. Universitas negeri Surabaya.
- [2] Demello, Francisco P, and Charles Concordia. *Concept of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, No.4, April 1969
- [3] Fleming, RJ, and M.A Mohan. *Selection of Parameter of Stabilizers in Multimachine Power Systems*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol. Pas-100, No.5 May 1981.
- [4] Hadha, Alamajibuwono. *Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Algoritma Genetika pada Sistem Distribusi untuk Memperbaiki Faktor Daya dan Rugi Tegangan*. Skripsi-S1. Universitas Diponegoro. 2011
- [5] Hastanto, Ari. *Optimasi Penempatan SVC untuk memperbaiki Profil Tegangan pada Sistem 500 kV JAMALI menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO)*. Teknik Elektro Universitas Diponegoro
- [6] IEEE Committee report. *Excitation System Models for Power System Stability Studies*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.2, February 1981.
- [7] IEEE std 421.5 2005. *IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies*. 2005
- [8] Kumar, P Pavan, and C Srivalli S. *Comparison of Pole Placement Technique and Genetic Algorithm Technique for Tuning Stabilizers in Power System*. IJERA vol.2, Issue 1, Jan-Feb 2012, pp.982-988.
- [9] Kundur, Prabha. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [10] Larsen, E.V, and D.A Swann. *Applying Power System Stabilizers Part I : General Concept*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol. Pas-100, No.6 June 1981.
- [11] Magid, Abdel YI, dkk. *Simultaneous Stabilization of Multimachine Power Systems via genetic Algorithms*. IEEE transactions on Power Systems, Vol 14, No 4, November 1999.
- [12] Makmurno, Adil. *Studi Perbandingan Antara PSS dan FPSS pada Peningkatan Stabilitas Putaran Generator*. Skripsi-S1. Universitas Diponegoro. 2001.
- [13] Masrul, Rudi. *Analisa Penggunaan PSS dalam perbaikan Stabilitas Dinamik Sistem Tenaga Listrik Multimesin*. Skripsi-S1. Universitas Sumatra Utara. 2009
- [14] Ngamoro, I, and S Dechanupaprittha. *Design of Robust He Power System Stabilizer using Normalized Coprime Factorization*. 2002
- [15] Padiyar, KR. *Power System Dynamics: Stability and Control*. BS Publication. Second Edition.
- [16] Panda, Sidharta, and NP Padhy. *Robust Power system Stabilizer design using Particle Swarm Optimization Technique*. World Academy of science, Engineering and Technology 46 2008
- [17] Paulus, Erick, dan Yessica Nataliani. *Gui Matlab*. Andi. Yogyakarta. 2007.
- [18] Rosalina. *Analisis Kestabilan*. FT UI. BAB 2, 2010.
- [19] Saadat, Hadi. *Power System Analysis*. McGraw-Hill. 1999
- [20] Sambariya, D.K, R.Gupta, A.K Sharma. *Fuzzy Applications to Single Machine Power System Stabilizers*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology.
- [21] Santosa, Budi, dan Paul Willy. *Metoda Metaheuristik: Konsep dan Implementasi*. Guna Widya. Surabaya. 2011.
- [22] Shayegi, H. *A Robust ABC Based PSS Design for A SMIB Power System*. IJTPE Journal-Issue8 Volume 3 Number 3 Pages 86-92. September 2011.
- [23] Supriyadi, Cuk, dkk. *Design of Robust Power System Stabilizer using Genetic Algorithm-based Fixed-Structure  $H_\infty$  Loop Shaping Control*. IFAC. 2002
- [24] Susanto, Djoko Ari. *Penentuan Parameter PSS dengan Algoritma Genetika pada Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga*. Skripsi-S1. Universitas Diponegoro. 2002.
- [25] Suyanto. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Andi. Yogyakarta. 2005.
- [26] Yeu, Rodney, and Pete WS. *Eigenvalue Tracking for PSS Placement*.
- [27] Zamani, Chalis. *Desain Optimal PI based Power System Stabilizer menggunakan Particle Swarm Optimization*. ITS.