

PENALAN POWER SYSTEM STABILIZER PLTDG PESANGGARAN BERBASIS LOSSES CONCEPT

Abdurrahman Sayudi¹, Rukmi Sari Hartati², Ida Bagus Gede Manuaba³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

abdurrahmansayudi@gmail.com¹, rukmisari@unud.ac.id², ibgmanuaba@unud.ac.id³

Abstrak

Pusat Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) Pesanggaran menjadi salah satu pembangkit yang ada di Bali yang mempunyai posisi penting dalam sistem 150 kV Bali, kinerja kestabilan dari PLTDG Pesanggaran saat terjadi gangguan merupakan hal krusial yang perlu diperhatikan. Pendekatan model SMIB untuk analisa kestabilan pada PLTDG Pesanggaran digunakan untuk memudahkan analisa, dengan cara mereduksi sistem multimesin menjadi SMIB dengan Losses Concept. Dari hasil simulasi model tersebut diperoleh hasil bahwa nilai overshoot dan settling time dari tanggapan perubahan sudut rotor dan tanggapan frekuensi pada model SMIB PLTDG Pesanggaran.

Kata kunci : PLTDG Pesanggaran, Kestabilan, SMIB, Losses Concept

1. PENDAHULUAN

PLTDG Pesanggaran merupakan bagian dari sistem interkoneksi Jawa Bali dan memiliki peran yang penting dalam sistem kelistrikan di Bali. Oleh karena itu perlu diperhatikan kemampuan PLTDG Pesanggaran dalam menghadapi masalah saat pengoperasiannya, salah satunya adalah masalah kestabilan dinamik.

Kestabilan dinamik merupakan faktor penting untuk kehandalan pada suatu sistem tenaga listrik. Ketidakstabilan pada sistem sangat berbahaya karena dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi bahkan *blackout* pada kasus terburuk. Sistem tenaga listrik yang besar seperti sistem interkoneksi Jawa – Bali merupakan sistem yang menanggung beban besar dan rawan terjadi gangguan yang bisa berdampak pada kestabilan sistem tersebut[1]. Kestabilan pada sistem interkoneksi merupakan hal yang sulit dicapai karena interaksi antara generator dan kontrolnya yang membuatnya sulit untuk dianalisis, sehingga untuk menyederhanakan analisis digunakan pemodelan SMIB (*Single Machine Infinite Bus*) [2]. Merubah sistem multimesin menjadi SMIB memiliki beberapa cara, salah satunya adalah dengan metode *Losses Concept*. Metode ini menggunakan nilai rugi – rugi pada saluran

untuk memperoleh nilai impedansi ekuivalen yang bisa digunakan untuk merubah sistem *multimachine* menjadi SMIB, sehingga bisa fokus pada mengamati kestabilan dinamik pada mesin yang diinginkan[3].

Salah satu yang mempengaruhi kestabilan dinamik adalah terjadinya perubahan beban, generator akan menanggapi perubahan beban dengan berosilasi[4]. Osilasi pada sistem dapat diatasi dengan memberikan sinyal kontrol tambahan pada sistem eksitasi generator untuk meredam osilasi yang muncul dengan peralatan yang disebut *Power System Stabilizer* (PSS).

Pemodelan SMIB (*Single Machine Infinite Bus*) pada PLTDG Pesanggaran dibuat untuk melakukan analisa kestabilan. Pemodelan SMIB diperoleh dari hasil reduksi jaringan sistem 150 kV Bali menggunakan metode *Losses Concept*. Analisa terhadap model SMIB PLTDG Pesanggaran dilakukan terhadap dua kondisi, kondisi pertama pemodelan SMIB tanpa dipasangkan PSS, kondisi kedua pemodelan SMIB dengan dipasangkan PSS,

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kestabilan Dinamik Mesin Tunggal

Permasalahan kestabilan pada sistem tenaga listrik berhubungan dengan sikap mesin sinkron setelah mendapat gangguan. Ketidakstabilan pada sistem mengakibatkan

terjadi osilasi mesin, apabila hal tersebut berlangsung terus menerus maka generator akan lepas. Kestabilan dinamik berkaitan dengan kapabilitas sistem tenaga listrik untuk kembali pada keadaan semula setelah mendapat gangguan yang kecil seperti transisi daya atau beban[8].

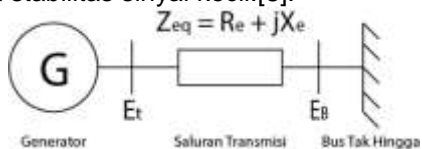
Pada kondisi tunak nilai torsi mekanik (T_m) dikurangi torsi elektrik (T_e) sama dengan nol, sehingga generator berotasi dengan kecepatan sudut sinkron sebesar ω_0 , dalam kondisi menuju keadaan tunak ada transisi yang menghasilkan torsi akselerasi (T_a) yang belum sama dengan nol sehingga menghasilkan perlambatan atau percepatan. Persamaan gerak pada kondisi ini adalah :[7]

$$T_a = J \frac{d^2 \delta_m}{dt} = T_m - T_e \quad (1)$$

- T_a = Torsi akselerasi
- J = Momen inersia
- δ_m = Sudut mekanis rotor
- T_m = Torsi mekanik
- T_e = Torsi Elektrik

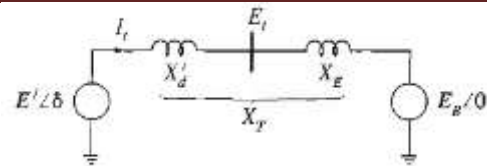
2.2 Pemodelan SMIB

Sistem Ekuivalen dari konfigurasi umum untuk sistem SMIB (*Single Machine Infinite Bus*) dapat diperhatikan pada Gambar 1, beberapa model dengan beragam tingkat perincian mewakili mesin sinkron sehingga gambar tersebut menjadikannya lebih mudah untuk dianalisis. *Heffron* dan *Phillips* dan *deMello* merupakan pihak awal yang memakai pendekatan diagram blok untuk menganalisis kemampuan mesin sinkron pada stabilitas sinyal kecil.[8].



Gambar 1. Sistem Ekuivalen dari SMIB

Gambar 2 menunjukkan perwakilan sistem, dengan E' merupakan tegangan di dekat X_d' . Besaran nilai dari E' diasumsikan tetap konstan sebelum gangguan. Kemudian δ ditetapkan menjadi sudut di mana E' mendahului (*leading*) terhadap tegangan bus tak terhingga E_B .



Gambar 2. Pemodelan Generator

Ketika rotor berosilasi selama gangguan, nilai dari δ berubah dan dengan E' sebagai phasor acuan, maka arus dan daya dapat diperoleh dengan persamaan berikut[9] :

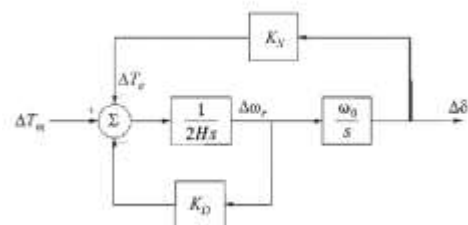
$$I_t = \frac{E' \angle 0^\circ - E_B \angle \delta}{jX_T} = \frac{E' - E_B(\cos\delta - jsin\delta)}{jX_T} \quad (2)$$

$$S' = P + jQ' = E' I_t^* = \frac{E' E_B \sin\delta}{X_T} + j \frac{E'(E' - E_B \cos\delta)}{X_T} \quad (3)$$

- I_t = Arus sisi terminal
- E' = Tegangan sisi generator
- E_B = Tegangan sisi bus
- X_T = Reaktansi saluran
- S = Daya semu

Nilai hambatan stator diabaikan, maka nilai P_e (*airgap power*) setara dengan P (*terminal power*). Torsi celah udara memiliki nilai yang setara dengan daya celah udara dalam hitungan per unit[8].

Gambar 3 merupakan model dari persamaan di atas terkait performa kestabilan dinamik.



Gambar 3. Blok diagram SMIB dengan model generator klasik

Berdasarkan blok diagram di atas kita dapat memperoleh:

$$\Delta\delta = \frac{\omega_0}{s} \left[\frac{1}{2Hs} (-K_S \Delta\delta - K_D \Delta\omega_r + \Delta T_m) \right] \quad (4)$$

Eksitasi dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) merupakan pengendali yang berfungsi untuk mengatur nilai fluksi medan

pada belitan rotor yang menjadi masukan generator. Ketika beban berubah, maka akan terjadi perubahan tegangan pada output generator. Untuk mengembalikan tegangan pada nilai nominalnya, maka AVR bertugas mengatur arus medan pada eksitasi agar jumlah fluksi berubah sesuai dengan yang dibutuhkan[8].

Nilai K1 – K6 merupakan konstanta dari model SMIB Heffron-Phillips, konstanta tersebut merupakan faktor – faktor yang mempengaruhi sistem internal pada mesin. Nilai K1 dan K2 berasal dari perhitungan torsi listrik, nilai K3 dan K4 berasal dari persamaan tegangan medan, dan nilai K5 dan K6 berasal dari persamaan yang mengatur besarnya tegangan terminal. Nilai K1 mempengaruhi sudut torsi pada torsi listrik, nilai K2 mempengaruhi tegangan internal pada torsi listrik, nilai K3 merupakan belitan konstan, nilai K4 mempengaruhi sudut torsi pada tegangan medan, nilai K5 mempengaruhi sudut torsi pada tegangan terminal, dan nilai K6 mempengaruhi tegangan internal pada tegangan terminal. Nilai dari konstanta di atas diperoleh dari persamaan berikut [9]:

$$K_1 = \left(\frac{E_{q0}E_0}{X_e+X_q}\right)\cos\delta_0 + \left(\frac{X_q-X'd}{X_e+X'd}\right)I_{q0}E_0\sin\delta_0 \quad (5)$$

$$K_2 = \left(\frac{E_0}{X_e+X'd}\right)\sin\delta_0 \quad (6)$$

$$K_3 = \frac{X_e+X'd}{X_e+X_d} \quad (7)$$

$$K_4 = \left(\frac{X_d-X'd}{X_e+X'd}\right)E_0\sin\delta_0 \quad (8)$$

$$K_5 = \left(\frac{X_q}{X_e+X_q}\frac{V_{d0}}{V_{t0}}\right)E_0\cos\delta_0 - \left(\frac{X'd}{X_e+X'd}\frac{V_{q0}}{V_{t0}}\right)E_0\sin\delta_0 \quad (9)$$

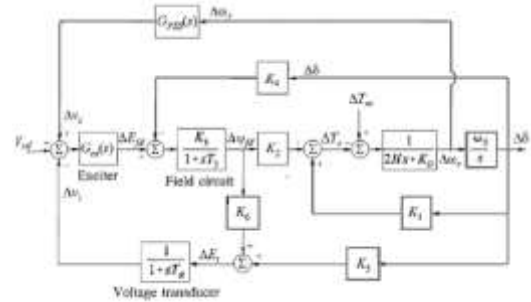
$$K_6 = \frac{X_e}{X_e+X'd}\frac{V_{d0}}{V_{t0}} \quad (10)$$

2.3 Power System Stabilizer (PSS)

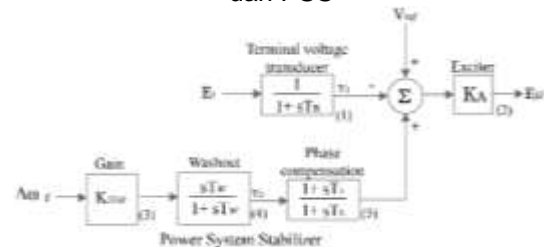
Fungsi dasar PSS (*Power System Stabilizer*) adalah untuk memberikan tambahan redaman ke osilasi rotor generator dengan mengendalikan eksitasi menggunakan sinyal stabilisasi tambahan. Komponen torsi listrik dalam fase dengan penyimpangan kecepatan rotor harus dihasilkan *stabilizer*, sehingga redaman dapat diberikan. Karena tujuan PSS adalah untuk memperkenalkan komponen torsi redaman,

sinyal logic yang digunakan untuk mengendalikan eksitasi generator adalah deviasi kecepatan $\Delta\omega_r$ [8].

Bagian – bagian dari PSS ditunjukkan pada Gambar 5, kelambatan fase antara *input exciter* dan torsi listrik generator dikompensasi dengan *phase lead* yang sesuai dengan karakteristik yang disediakan oleh blok *phase compensation*. *Stabilizer gain* K_{STAB} menentukan jumlah redaman yang diperkenalkan oleh PSS. Nilai yang sesuai dengan redaman maksimum menentukan nilai penguatan agar optimum.[8].



Gambar 4. Blok diagram SMIB dengan AVR dan PSS



Gambar 5. Sistem Eksitasi dengan AVR dan PSS

2.4 Reduksi Jaringan dengan Losses Concept

Sistem interkoneksi pada umumnya dibangun dalam bentuk multimesin. Melakukan analisa kestabilan mesin pada sistem multimesin akan menjadi hal yang sangat sulit, oleh karena itu sistem multimesin perlu dirubah ke dalam bentuk SMIB, dengan memperhatikan impedansi ekuivalen pada sistem multimesin yang ditinjau[3].

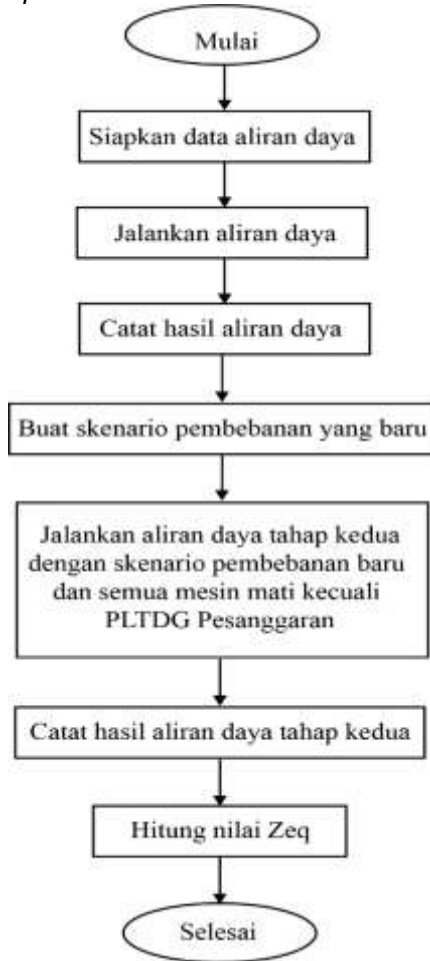
Metode reduksi jaringan dengan *losses concept* dapat digambarkan berdasarkan sifat alami pada sistem penyaluran tenaga listrik, bahwa setiap daya yang disalurkan dari pembangkit menuju beban pasti memiliki losses, dari nilai losses tersebut dapat

dilakukan perhitungan nilai R_{eq} dan X_{eq} dengan sederhana pada sistem *single machine*[1].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian ini dimulai dengan mereduksi jaringan 150kV Bali untuk membuat model SMIB PLTDG Pesanggaran dengan *Losses Concept* kemudian membuat desain SMIB dengan PSS.

Alur reduksi jaringan dengan *Losses Concept*



Data primer menggunakan data dari PLN APB Bali dan data sekunder dari jurnal penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Reduksi Jaringan dengan *Losses Concept*

Hasil reduksi jaringan menggunakan *losses concept* di sistem 150 kV Bali dengan

PLTDG sebagai mesin yang diamati diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Rugi – rugi saluran yang diperoleh sebesar 1,676 MW dan 6,205 MVar
2. Menggunakan persamaan $I = \frac{P - jQ}{\sqrt{3} V^*}$ diperoleh nilai arus pada PLTDG Pesanggaran sebesar 1,1274 – 0,152j (p.u)
3. Gunakan persamaan $Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq} = \frac{PL - jQL}{|I|^2}$ dan diperoleh nilai $R_{eq} = -0,0002$ (p.u.) dan $X_{eq} = 0,0497j$ (p.u.)

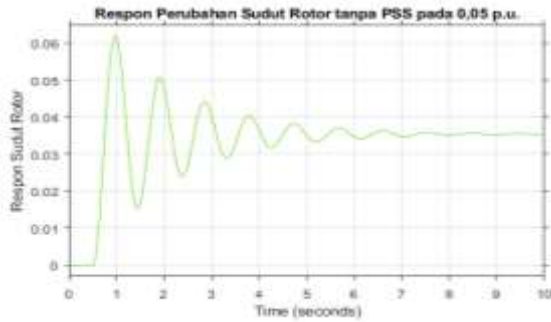
4.2 Pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran

Pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran tanpa PSS mengikuti model klasik Heffron-Phillips, berdasarkan persamaan 5 sampai dengan persamaan 10 diperoleh nilai K1 – K6 sebagai berikut :

Tabel 2. Data Parameter K1 sampai dengan K6

Parameter	Nilai
K1	2.7113
K2	2.7297
K3	0.1706
K4	4.6406
K5	-0.0537
K6	0.1323

Rangkaian K1 sampai dengan K6 dalam pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran tanpa PSS yang dibuat, dilengkapi dengan sistem eksitasi kemudian diberi gangguan sebesar 0,05 p.u. pada simulasi. Hasil tanggapan perubahan posisi sudut rotor dan tanggapan perubahan frekuensi model SMIB PLTDG Pesanggaran tanpa PSS dapat dilihat pada gambar berikut :



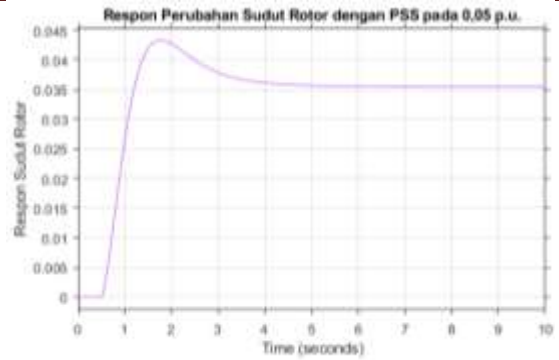
Gambar 6. Tanggapan perubahan sudut rotor tanpa PSS



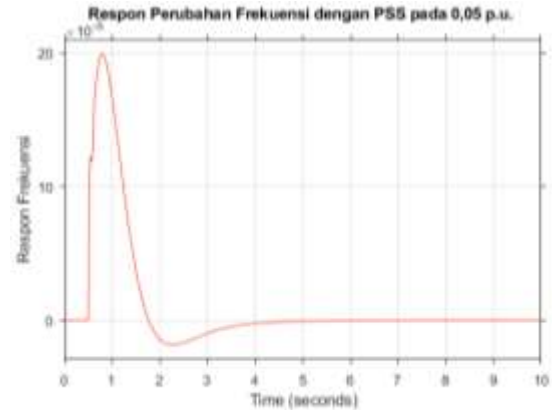
Gambar 7. Tanggapan perubahan frekuensi tanpa PSS

Gambar 6 menunjukkan sistem beresilasi dalam beberapa waktu hingga mencapai kestabilannya pada posisi sudut rotor yang baru. Tanggapan pada sistem tersebut memiliki nilai puncak sebesar 0,0619 pada waktu 0,99 detik dan kemudian menuju kestabilan atau settling time pada waktu 9,27 detik. Gambar 7 memperlihatkan sistem tersebut juga mengalami osilasi dalam beberapa saat sebelum mencapai kestabilannya. Tanggapan pada sistem tersebut memiliki nilai puncak sebesar 0.00066 pada waktu 0,71 detik dan kemudian menuju kestabilan atau settling time pada waktu 8,39 detik.

Pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran dengan PSS juga diberi gangguan sebesar 0,05 p.u. pada simulasi. Hasil tanggapan perubahan posisi sudut rotor dan tanggapan perubahan frekuensi model SMIB PLTDG Pesanggaran dengan PSS dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 8. Tanggapan perubahan sudut rotor dengan PSS



Gambar 9. Tanggapan perubahan frekuensi dengan PSS

Gambar 8 menunjukkan sistem tidak beresilasi dan mencapai kestabilan atau settling time pada waktu 4.94 detik. Tanggapan pada sistem tersebut memiliki nilai puncak sebesar 0.0433 pada waktu 1,74 detik. Gambar 9 menunjukkan tanggapan pada sistem tersebut memiliki nilai puncak sebesar 0,0002 pada waktu 0,8 detik dan kemudian menuju kestabilan atau settling time pada waktu 3,6 detik.

Tanggapan perubahan sudut rotor untuk kedua model dapat diperhatikan pada Gambar 10 dan Tabel 1 berikut:



Gambar 10. Tanggapan Perubahan Sudut Rotor pada Kedua Model

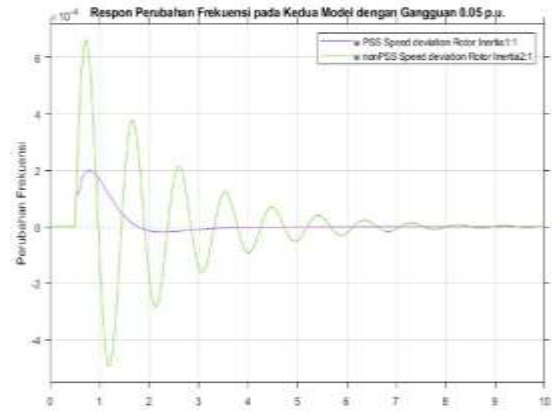
Overshoot terjadi pada model tanpa PSS sedangkan model dengan PSS mengalami overshoot yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa PSS. Nilai overshoot dari model dengan PSS adalah 21,47% lebih kecil dari model tanpa PSS yang bernilai 74,86%. Hal ini menunjukkan pemberian sinyal redaman dari PSS mampu menurunkan nilai overshoot.

Tabel 1. Tanggapan Perubahan Sudut Rotor pada 0,05 p.u.

Perubahan Sudut Rotor	Gangguan 0,05 p.u.		
	Nilai Puncak	Waktu Puncak	Settling Time
Tanpa PSS	0,0619	0,99	9,27
Dengan PSS	0,0433	1,74	4,94

Sistem yang dipasangkan PSS memberikan hasil lebih baik daripada sistem tanpa PSS, hal ini disebabkan karena pada sistem dengan PSS memiliki sinyal kontrol tambahan yang diberikan ke *exciter* untuk memberikan redaman. Hasil tanggapan perubahan sudut rotor pada sistem dengan PSS memiliki hasil yang lebih baik daripada sistem dengan tanpa PSS, hal ini disebabkan pada sistem dengan PSS output yang dihasilkan lebih halus karena melalui proses inferen yang didasarkan atas model dari PSS yang telah dibuat.

Tanggapan perubahan frekuensi untuk kedua model dapat diperhatikan pada Gambar 11 dan Tabel 2 berikut:



Gambar 11. Tanggapan Perubahan Frekuensi pada Kedua Model

Tabel 2. Tanggapan Perubahan Frekuensi pada 0,05 p.u.

Perubahan Frekuensi	Gangguan 0,05 p.u.		
	Nilai Puncak	Waktu Puncak	Settling Time
Tanpa PSS	0,00066	0,71	8,39
Dengan PSS	0,0002	0,8	3,6

Sistem dengan PSS menunjukkan hasil yang jauh lebih baik daripada sistem tanpa PSS, hal ini disebabkan karena pada sistem dengan PSS memiliki sinyal kontrol tambahan yang diberikan ke *exciter* untuk memberikan redaman. Hasil tanggapan perubahan frekuensi pada sistem memiliki hasil yang lebih baik daripada sistem tanpa PSS,

5. SIMPULAN

Simpulan yang dapat diperoleh setelah melakukan simulasi adalah sebagai berikut :

1. *Losses Concept* dapat digunakan untuk mereduksi jaringan sistem 150 kV Bali yang multimesin menjadi single mesin
2. Penggunaan PSS pada sistem pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran dapat digunakan untuk meredam overshoot ketika terjadi fluktuasi frekuensi dan fluktuasi sudut rotor saat diberikan gangguan 0,05 p.u.
3. Penggunaan PSS pada sistem pemodelan SMIB PLTDG Pesanggaran dapat digunakan untuk menurunkan nilai settling time ketika terjadi fluktuasi

frekuensi dan fluktuasi sudut rotor saat diberikan gangguan 0,05 p.u.

4. Tanggapan fluktuasi frekuensi dan fluktuasi sudut rotor dengan penggunaan PSS memberikan nilai puncak ataupun *overshoot* yang paling kecil dari pada penggunaan tanpa PSS

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Okto Fenno. Penalaan Optimal Power System Stabilizer (PSS) menggunakan Algoritma Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) dengan Permodelan SMIB pada Pembangkit Listrik. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November; 2016
- [2] Dheny Ashari AS. Penalaan Optimal Power System Stabilizer Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pacitan menggunakan Hybrid Adaptive Chaotic Differential Evolution dan Reduksi Jaringan Berbasis Rugi Saluran. Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November; 2017
- [3] Rusilawati, Adi Soeprijanto, Ontoseno Penangsang, D.F. Uman P. Determination of Generator Steady State Stability Limit Using Losses Concept and RBFNN. e-ISSN: 2289-8131.9(161-166)
- [4] Umang. B. Suthar, Kushaldeep Sharman, Dikesh Patel. Improvement of an Oscillatory Stability in a SMIB (HEFFRON – PHILIPS MODEL) by Using Different Tuning Techniques of Power System Stabilizer. *International Journal of Scientific Engineering and Research*.2016;4(10): 88 – 91
- [5] Jenica Ileana Corcau, Eleonor Stoenescu. Fuzzy Logic Controller as a Power System Stabilizer. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 2007;1(3): 266 – 273
- [6] Imam Robandi. Desain Sistem Tenaga Modern. Yogyakarta : Andi. 2006:52-53,222
- [7] Adi Soeprijanto. Analisa Kestabilan Multi Generator dengan Konsep Mesin Tunggal. Yogyakarta : Deepublish. 2017:22-25
- [8] Kundur, P. Power System Stability and Control. New York : McGraw Hill. 1994:699-822
- [9] Soumyabrata Barik. Design of Power System Stabilizer Using Robust Control Techniques. Magister Thesis. Kerala : NIT Campus PO, Calicut ; 2014
- [10] I Made Mataram. Unjuk Kerja Fuzzy Logic Static Synchronous Compensator (FLSTATCOM) untuk Meningkatkan Tegangan Sistem. *Teknologi Elektro*. 2016; 15(1) : 34-37
- [11] I Made Mataram. Economic Dispatch pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2019;18(1) : 105 -112
- [12] Manish Kushwaha, Ranjeeta Khare. Dynamic Stability Enhancement of Power System using Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2012;1(9): 1-9
- [13] Slimane Touil, Djilani Ben Attous. Effect of Different Membership Functions on Fuzzy Power System Stabilizer for Synchronous Machine Connected to Infinite Bus. *International Journal of Computer Application*. 2013; 7(1) : 20 -26
- [14] Nagulapati Kiran, M. Sudheer Kumar, M. Naga Raju. Improved Step Response of Power System Stabilizer using Fuzzy Logic Controller. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2014; 3(3) : 187 -194