

Analisis Pemasangan *Power System Stabilizer* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap Sengkang

Muhammad Ruswandi Djalal¹, Makmur Saini², A.M.Shiddiq Yunus³

^{1,2}Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

³Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

¹wandi@poliupg.ac.id, ²makmur.saini@poliupg.ac.id, ³shiddiq@poliupg.ac.id

Abstrak

Sebagian besar sistem tenaga listrik fungsi pengontrolnya ada pada governor dan eksiter, yang dipasang sebagai bagian dari setiap turbin generator dan peralatan eksitasi. Power System Stabilizer (PSS) kontrol tambahan juga ditambahkan pada Automatic Voltage Regulator. Fungsi dari eksiter, governor dan PSS adalah mengatur frekuensi dan tegangan terminal secara lokal atau global pada masing-masing generator. Perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspon dengan baik oleh generator sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respon yang kurang baik dapat menimbulkan osilasi frekuensi dalam periode yang lama. Hal itu dapat mengakibatkan pengurangan kekuatan transfer daya yang dapat diatasi menggunakan peralatan tambahan yang disebut PSS. PSS adalah salah satu peralatan kontrol tambahan yang mampu meningkatkan kestabilan suatu sistem, di mana PSS ini memberikan sinyal tambahan ke peralatan eksitasi untuk memberikan redaman tambahan pada generator, ketika terjadi osilasi gangguan. Penggunaan PSS diperlukan koordinasi penentuan parameter yang tepat untuk mencapai kontrol kinerja yang bagus untuk sistem. Dari hasil simulasi didapatkan setelah pemasangan PSS, osilasi yang terjadi dapat direduksi sehingga overshoot dari osilasi berkurang dan mempercepat settling time atau mempercepat kondisi sistem ke keadaan steady state. Selain itu peningkatan eigenvalue setelah penambahan PSS, mengindikasikan kestabilan sistem sudah meningkat. Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem Sulselrabar (Sulawesi Selatan, Tenggara dan Barat).

Kata Kunci: Power System Stabilizer; Eigenvalue; Damping; Settling Time; Overshoot.

Abstract

Most of the electric power system control function is on the governor and exciter, which are installed as part of each turbine generator and excitation equipment. An additional Power System Stabilizer (PSS) controller is also added to the Automatic Voltage Regulator. The function of the exciter, governor and PSS is to regulate the frequency and terminal voltage locally or globally on each generator. Changes in load that occur suddenly and periodically cannot be responded well by the generator so that it can affect the dynamic stability of the system. A poor response can cause frequency oscillations for a long period. Doing so can result in a reduction in power transfer power which can be overcome using an additional device called PSS. PSS is one of the additional control equipment that can increase the stability of a system, where this PSS provides an additional signal to the excitation equipment to provide additional damping to the generator, when there is a disturbance oscillation. The use of PSS requires coordinating the determination of the right parameters to achieve good performance control for the system. From the simulation results obtained after the PSS installation, the oscillations that occur can be muted so that the overshoot of the oscillations is reduced and accelerates the settling time or accelerates the system condition to a steady state. In addition, the increase in eigenvalue after the addition of PSS indicates that the stability of the system has increased. The system used in this study is the Sulselrabar system.

Keywords: Power System Stabilizer; Eigenvalue; Damping; Settling Time; Overshoot.

PENDAHULUAN

Kestabilan suatu system tenaga listrik sangat penting dalam operasi sistem tenaga. Ketidak seimbangan antara daya input mekanis dengan daya beban listrik pada sistem menyebabkan kecepatan rotor pada generator (frekuensi sistem) dan tegangan akan menyimpang dari kondisi normal sehingga akan menyebabkan kestabilan dari sistem terganggu. Ketidak stabilan sistem diakibatkan karena adanya gangguan baik itu gangguan besar maupun gangguan kecil. Gangguan kecil di sini dapat berupa perubahan beban secara tiba-tiba dan periodik sedangkan untuk gangguan besar disebabkan kesalahan pada sistem seperti gangguan hubung singkat, putus jaringan, pemindahan beban (Kundur). Apabila hal tersebut tidak segera diatasi dengan cepat baik berupa besar gangguan, maupun waktu terjadinya gangguan maka sistem akan bekerja menyimpang dari kondisi normal. Oleh sebab itu diperlukan peralatan kontrol pada sistem tenaga listrik yang mampu bereaksi secara otomatis terhadap penyimpangan. Peralatan kontrol governor, AVR (Automatic Voltage Regulator), dan sistem eksitasi menjadi peralatan kontrol yang harus dimiliki oleh sistem tenaga listrik sehingga kestabilan sistem tenaga listrik dapat dijaga (Robandi, 2009).

Dalam studi kestabilan dinamik diasumsikan bahwa perubahan torsi akibat respon governor diabaikan karena respon governor sangat lambat dibandingkan dengan respon sistem eksitasi, sehingga pengendali yang berpengaruh adalah sistem eksitasi. Penambahan penguatan rangkaian eksitasi kurang dapat menstabilkan sistem terutama untuk osilasi frekuensi rendah. Osilasi Frekuensi rendah berada antara 0,2 sampai dengan 2,0 Hz. Frekuensi yang lebih rendah dapat semakin meluas menjadi osilasi inter area sehingga diperlukan alat kontrol tambahan berupa Power System Stabilizer (PSS). PSS merupakan alat kontrol tambahan yang berfungsi untuk meredam osilasi frekuensi dan

tegangan secara lokal atau global pada generator, sebagai respons dari penyimpangan yang terjadi pada nilai variable yang telah diset. Beberapa studi tentang penggunaan PSS antara lain: (Indra, I Nengah, & Wayan, 2015; Salolosit & Tamaji, 2020) yang membahas penggunaan PSS pada sistem Single Machine Infinite Bus SMIB. Implementasi PSS tidak hanya pada sistem SMIB, pada sistem multimesin penggunaan PSS juga menghasilkan kinerja yang optimal, seperti pada sistem Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) (Dasman, 2006). (Dheny, Adi, & Aryani, 2017) membahas tentang implementasi pemasangan PSS pada pembangkit listrik tenaga uap pacitan.

Sistem kelistrikan Sulselrabar merupakan sistem multimesin yang beroperasi pada tegangan 150 kV. Sistem ini menghubungkan pusat-pusat beban besar dari beberapa kota-kota besar. Sistem ini terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik thermal dan non thermal. Salah satu pembangkit listrik thermal adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Sengkang. PLTGU Sengkang memiliki kapasitas 198 MW dan merupakan pembangkit terbesar pada sistem (Djalal, Imran, & Robandi, 2015). Pembangkit ini punya peran penting terhadap kestabilan sistem. Oleh karena itu diperlukan suatu studi yang dapat menganalisa kinerja pembangkit untuk tetap optimal terhadap karakteristik sistem yang semakin berkembang. Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisis pemasangan PSS pada PLTGU Sengkang.

PEMODELAN SISTEM TENAGA LISTRIK

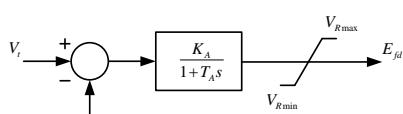
A. Pemodelan Generator

Pemodelan generator sangat diperlukan untuk menganalisis efek perubahan pada respon frekuensi dan sudut rotor. Dengan menggunakan transformasi park, generator sinkron dapat dimodelkan ke dalam persamaan matematika dan dilinearisasi kedalam persamaan 1 berikut (Robandi, 2009).

$$\begin{bmatrix} \Delta v_d \\ -\Delta v_F \\ 0 \\ \Delta v_q \\ 0 \\ \Delta T_m \\ 0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & \omega_0 L_q & \omega_0 k M_Q & \lambda_{q0} & 0 \\ 0 & r_F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_0 L_d & -\omega_0 k M_F & -\omega_0 k M_D & r & 0 & -\lambda_{d0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q & 0 & 0 \\ \lambda_{q0} - L_d i_{q0} & -k M_F i_{q0} & -k M_D i_{q0} & -k M_Q i_{d0} & k M_Q i_{d0} & -D & 0 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 0 & \Delta \omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & \Delta \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_F \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \\
 - \begin{bmatrix} L_d & k M_F & k M_D & 0 & 0 & 0 & \Delta i_d \\ k M_F & L_F & M_R & 0 & 0 & 0 & \Delta i_F \\ k M_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & \Delta i_D \\ 0 & 0 & 0 & L_q & k M_Q & 0 & \Delta i_q \\ 0 & 0 & 0 & k M_Q & L_Q & 0 & \Delta i_Q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\tau_j & \Delta \dot{\omega} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta \dot{\delta} \end{bmatrix} (1)$$

B. Pemodelan Eksitasi

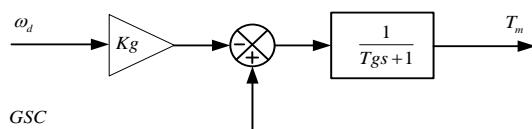
Peralatan eksitasi adalah salah satu bagian sistem yang di mana dengan eksiter ini dapat mengatur variabel output generator, seperti tegangan, arus dan faktor daya (Hemmati, 2018).



Gambar 1. Block Diagram Eksitasi

C. Pemodelan Governor

Governor adalah sebuah kontroler yang berfungsi untuk mengatur nilai torsi mekanik T_m yang menjadi input dari generator (Shama, 2018).

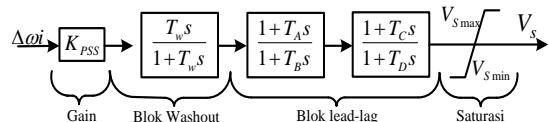


Gambar 2. Pemodelan Governor

D. Power System Stabilizer Modelling

PSS digunakan sebagai komponen pembangkit damping tambahan yang menghasilkan torsi listrik. Berikut diagram blok

dari PSS, di mana parameter Kpss, T1, T2, T3 dan T4 akan tuning secara trial error.



Gambar 3. Block Diagram PSS

METODE PENELITIAN

Untuk mengamati respon sistem terhadap penggunaan PSS, maka model linier dari sistem dikombinasi dengan model linier PSS dalam sebuah Persamaan state space (2) dan (3).

$$\Delta \dot{x} = \mathbf{A} \Delta x + \mathbf{B} \Delta u \quad (2)$$

$$\Delta y = \mathbf{C} \Delta x + \mathbf{D} \Delta u \quad (3)$$

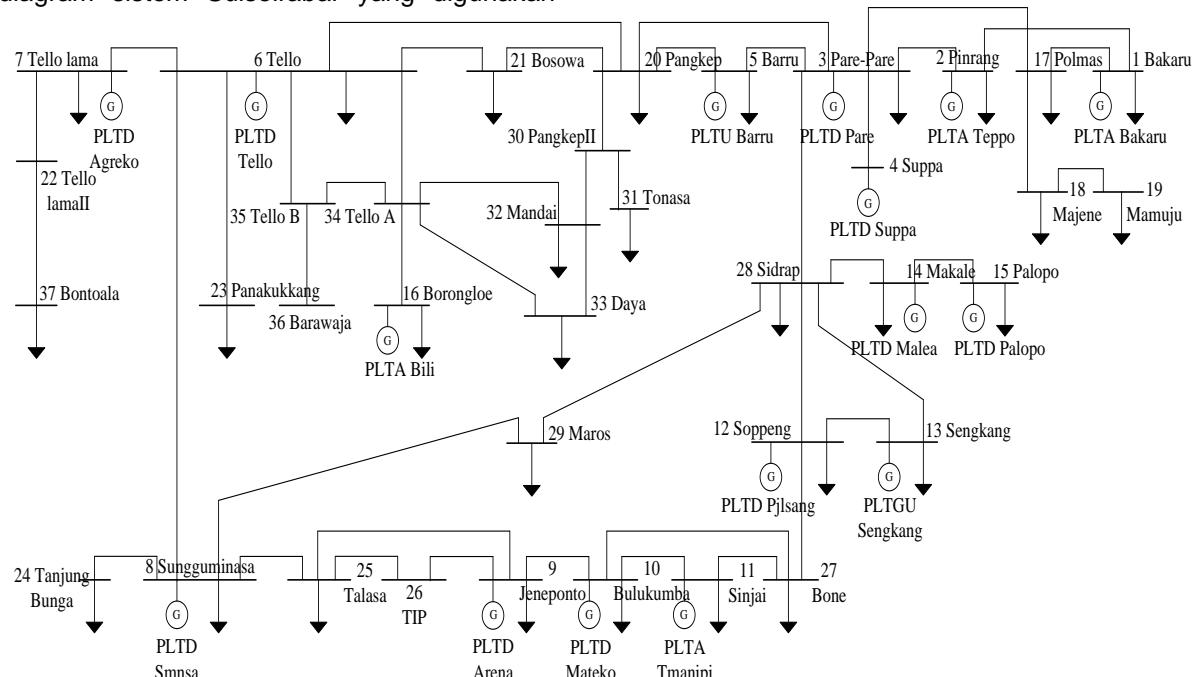
Dari matriks \mathbf{A} diatas, nilai eigenvalue sistem dapat diamati dan memberikan informasi apakah sistem stabil atau tidak. Melalui hasil eigenvalue maka performansi sistem dapat diamati melalui persamaan Comprehensive Damping Index (CDI) yang ditampilkan pada Persamaan (4), (5) dan (6) berikut.

$$\lambda_i = \sigma_i \pm j \omega_i \quad (4)$$

$$\xi_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (5)$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \xi_i) \quad (6)$$

Gambar 4 menunjukkan single line diagram sistem Sulselrabar yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Single Line Diagram (Djalal, Yunus, Setiadi, & Krismanto, 2018)

HASIL & PEMBAHASAN

Sistem Sulselrabar terdiri dari 37 Bus, di mana sistem ini menghubungkan pusat-pusat beban besar seperti Makassar, Pangkep, Maros, Barru dan Mamuju. Data sistem yang digunakan adalah kondisi normal, beban puncak malam hari pukul 19.00, pada hari jumat 12 April 2012. Program yang digunakan adalah Matlab 2013, di mana studi aliran daya, reduksi jaringan, dilakukan di m.file Matlab, sedangkan pemodelan sistem dilakukan di Simulink matlab.

Aliran Daya

Studi pertama yang dilakukan adalah mensimulasikan aliran daya kondisi normal. Metode perhitungan yang digunakan adalah Newton Raphson dengan iterasi maksimum 100. Berikut hasil aliran daya.

Table 1. Hasil Analisa Aliran Daya

No	V	Angle	No	V	Angle
----	---	-------	----	---	-------

Bus	(pu)	(°)	Bus	(pu)	(°)
1	1.000	0.000	20	0.979	-16.450
2	1.000	-3.869	21	0.983	-18.428
3	1.000	-5.124	22	0.987	-21.176
4	1.000	-4.041	23	0.960	-23.033
5	1.000	-9.839	24	0.993	-20.956
6	1.000	-20.793	25	0.994	-19.485
7	1.000	-21.192	26	0.994	-18.453
8	1.000	-20.221	27	0.990	-8.949
9	1.000	-16.359	28	0.992	-4.600
10	1.000	-13.152	29	0.992	-17.723
11	1.000	-11.792	30	0.960	-16.091
12	1.000	-2.500	31	0.933	-17.110
13	1.000	2.915	32	0.980	-21.261
14	1.000	-11.380	33	0.984	-21.251
15	1.000	-13.389	34	0.993	-20.728
16	1.000	-21.966	35	0.996	-20.760
17	0.992	-3.072	36	0.996	-20.760
18	0.974	-5.217	37	0.975	-22.476
19	0.965	-6.386			

Hasil aliran daya digunakan untuk mereduksi bus-bus selain bus generator, sehingga akan didapatkan matriks reduksi 16×16 . Sedangkan parameter PSS pada PLTGU Sengkang adalah sebagai berikut.

Table 2. Parameter PSS

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Sengkang	27.170	0.02	0.04	0.51	1.64

Setelah itu dilakukan simulasi pada program SIMULINK dengan empat studi metode perbandingan yang digunakan.

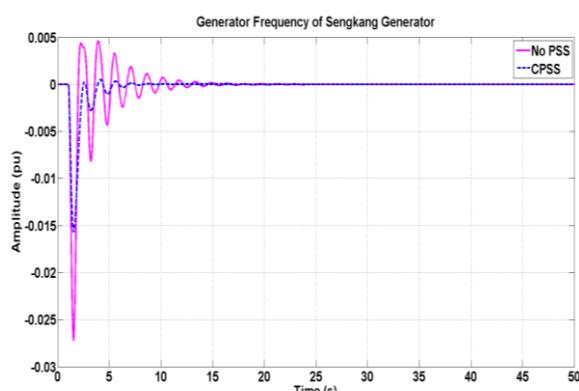
Table 3. Overshoot Frekuensi

Power Plant	No PSS	Conv. PSS
Sengkang	0.005063 & -0.02694	0.003675 & -0.02409

Dari tabel diatas didapatkan, perbandingan nilai overshoot tanpa PSS dan dengan menggunakan PSS, di mana dengan menggunakan PSS overshoot yang dihasilkan minimum dan untuk overshoot yang terbesar dihasilkan system dengan tanpa PSS. Dari tabel 3, dapat dilihat penggunaan PSS dapat mengurangi overshoot osilasi frekuensi dan dapat mempercepat settling time menuju ke kondisi steady state dibandingkan dengan tanpa PSS.

Grafik Frekuensi dan Sudut Rotor

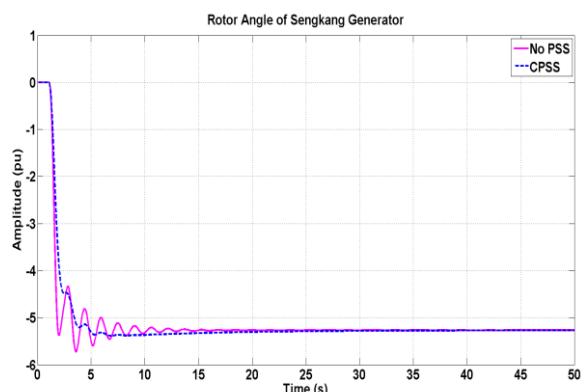
Selanjutnya untuk melihat respon sistem dari ke empat metode yang digunakan, grafik berikut menunjukkan hasil simulasi respon frekuensi masing-masing generator.



Gambar 5. Frequency of Sengkang Generator

Sedangkan untuk respon sudut rotor generator, grafik berikut menunjukkan hasil

simulasi respon sudut rotor masing-masing generator.



Gambar 6. Rotor angle of Sengkang Generator

KESIMPULAN

Pemasangan Power System Stabilizer pada PLTGU Sengkang dapat meningkatkan kinerja system. Overshoot yang dihasilkan dari osilasi setelah terjadi gangguan semakin berkurang, serta mempercepat settling time untuk dengan cepat menuju ke kondisi steady state, selain itu juga terjadi peningkatan eigenvalue yang semakin negatif dibandingkan dengan sistem tanpa.

Untuk penerapan lanjutan pemasangan PSS dapat dikombinasikan dengan kontroler yang lain dan dengan optimasi berbasis algoritma cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Dasman. (2006). *Optimalisasi penerapan power sistem stabilizer untuk peningkatan stabilitas tenaga listrik*. (Magister), Universitas Gajah Mada, Teknik Elektro (Magister Sistem Energi Listrik).
- Dheny, A. H., Adi, S., & Aryani, N. K. (2017). Penilaian 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.

- Djalal, M. R., Imran, A., & Robandi, I. (2015). *Optimal placement and tuning power system stabilizer using Participation Factor and Imperialist Competitive Algorithm in 150 kV South of Sulawesi system.* Paper presented at the Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2015 International Seminar on.
- Djalal, M. R., Yunus, M. Y., Setiadi, H., & Krismanto, A. U. (2018). Small-Signal-Stability Enhancement using a Power-System Stabilizer based on the Cuckoo-Search Algorithm against Contingency N-1 in the Sulselrabar 150-kV System. *Makara Journal of Technology*, 22(1), 1-8.
- Hemmati, R. (2018). Power system stabilizer design based on optimal model reference adaptive system. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 311-318.
- Indra, A. P., I Nengah, S., & Wayan, A. W. (2015). ANALISIS PENGGUNAAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) DALAM PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN GENERATOR SINKRON. *E-Journal SPEKTRUM*, 2(1).
- Kundur, P. *Power system stability and control* (Vol. 7).
- Robandi, I. (2009). Modern Power System Control. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Salolosit, J., & Tamaji. (2020). ANALISIS PENGGUNAAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) DENGAN MENGGUNAKAN KONTROL PID UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TENAGA LISTRIK. Paper presented at the Seminar Nasional Ilmu Terapan IV 2020, Universitas Widya Kartika.
- Shama, F. (2018, 28-29 Nov. 2018). *Adaptive Power System Stabilizer Design For Interconnected Power Systems.* Paper presented at the 2018 Smart Grid Conference (SGC).