

## Kontrol Terintegrasi PSS-AGC Pada Generator Sinkron Untuk Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Muhamad Haddin, Soebagio, Adi Soeprijanto, Mauridhi Hery Purnomo

*Abstrak* — Paper ini merepresentasikan tentang kontrol terintegrasi Power System Stabilizer (PSS) dan Automatic Generation Control (AGC) pada generator sinkron untuk meningkatkan kestabilan sistem tenaga listrik. Kontrol dilakukan dengan mengintegrasikan secara simultan gain PSS ( $K_{PSS}$ ) dan gain AGC ( $K_i$ ). Empat bagian terpenting pada sistem pembangkit listrik adalah generator sinkron, automatic voltage regulator (AVR), AGC- governor turbin dan power system stabilizer (PSS) yang dimodelkan secara linier. Generator sinkron dimodelkan sebagai mesin tunggal yang terhubung ke bus tak terhingga dilengkapi dengan model linier eksitasi. PSS dimodelkan sebagai komponen lead lag sedangkan AGC beserta turbin governor dimodelkan sebagai komponen linier order satu dengan nilai speed drop konstan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa integrasi gain PSS-AGC efektif meredam osilasi over shoot sudut rotor sebesar 75%, kecepatan sudut rotor sebesar 34%.

*Kata kunci* — Integrasi PSS-AGC, Generator sinkron, Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

### I. PENDAHULUAN

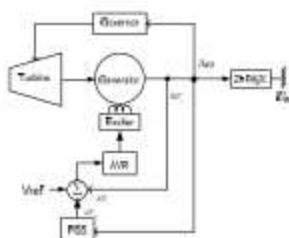
SINYAL kontrol tambahan pada sistem eksitasi dan sistem governor pada pembangkit dapat menambah ekstra redaman dan memperbaiki performansi pada sistem tenaga listrik (STL). PSS mempunyai kontribusi yang sangat signifikan untuk menjaga kestabilan pada sistem tenaga serta memperbaiki performansi sistem dengan memberikan sinyal tambahan pada sistem eksitasi. Hal tersebut merupakan cara yang sangat mudah, ekonomis dan fleksibel untuk memperbaiki stabilitas STL. Gangguan sistem baik kecil maupun besar akan menyebabkan ketidakstabilan secara mekanik maupun elektrik pada pembangkit sehingga akan mengakibatkan sistem dinamik non linier. Hal ini yang menjadi salah satu permasalahan yang berhubungan dengan ketidakstabilan dalam STL yang menjadi perhatian utama dalam pengoperasian power plant. Fungsi governor adalah untuk menjaga putaran turbin yang konstan selama kondisi kestabilan dinamik tercapai. Paper ini membahas tentang integrasi secara simultan gain PSS ( $K_{PSS}$ ) dan gain AGC

turbin governor ( $K_i$ ) pada generator sinkron. Dengan menggunakan kontrol gain PSS-AGC dapat memperbaiki unjuk kerja kestabilan sistem tenaga menjadi lebih stabil. Perkembangan kontrol terintegrasi pada generator sinkron telah lama dikembangkan oleh sebagian besar peneliti untuk memperbaiki kestabilan listrik yang meliputi: *Continually Online Trained Artificial Neural Network (COT-ANN)* dengan algoritma *Back Propagation* untuk kontrol eksitasi dan governor [1,2]. Desain kontrol generator melalui Power System Stabilizer (PSS) dan eksitasi dengan menggunakan *Dual Heuristic Programming (DHP)* dan *Heuristic Dynamic Programming (HDP)* dengan menggunakan *Multi Layer Perceptron (MLP)* dan *Radial Basis Function (RBF)* untuk kontrol PSS [3-5][8], dengan metode *back propagation* [6], algoritma genetik [7], *recurrent neural networks* [9], *fuzzy logic* [10], *PID fuzzy controller* [11]. Namun penelitian-penelitian tersebut terfokus pada perbaikan kestabilan melalui PSS.

II. PEMODELAN SISTEM TENAGA LISTRIK

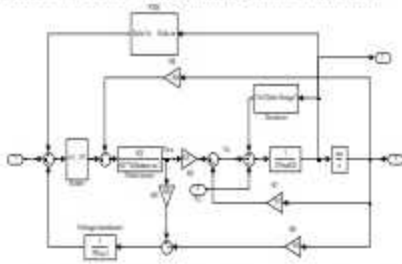
A. Pemodelan Single Machine Infinite Bus

Sistem tenaga listrik (STL) terdiri dari komponen-komponen tenaga listrik yang membentuk suatu sistem terpadu dan terhubung. Tiga komponen penting yang membentuk STL antara lain pembangkitan, transmisi dan beban. Semua komponen tersebut diharapkan bekerja pada fungsinya masing-masing untuk tujuan kelangsungan dan keandalan sistem tenaga listrik, sehingga tetap berada dalam operasi normal. Rangkaian STL ekuivalen dengan sebuah generator sinkron tersambung pada bus tak terhingga (*single machine infinite bus/SMIB*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Representasi SMIB

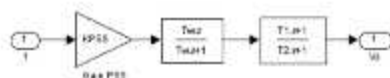
Pemodelan linear SMIB terdiri dari generator, turbin governor dan sistem eksitasi yang didalamnya terdiri dari *Automatic Voltage Regulator (AVR)* dan PSS. Model linear SMIB sesuai gambar 1 lengkap dengan PSS, AVR-exiter dan AGC ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model linier SMIB dengan PSS-AVR dan AGC

B. Power System Stabilizer (PSS)

Kestabilan dinamik pada sistem tenaga listrik di tentukan oleh kemampuan generator untuk bisa merespon perubahan beban yang terjadi yang relatif kecil (5%). Perubahan beban yang terjadi tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspon baik oleh generator sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respon ini dapat menyebabkan osilasi frekuensi, dalam jangka waktu yang lama dan menyebabkan penurunan dalam transfer daya pada STL. Keadaan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan peralatan tambahan yang disebut Power System Stabilizer (PSS). PSS merupakan peralatan yang menghasilkan sinyal kontrol untuk sistem eksitasi dengan fungsi meningkatkan batas kestabilan dengan seperangkat eksitasi pada generator untuk memberikan redaman osilasi rotor. Namun, dalam pendekatan baru-baru ini, kontrol sinyal output dari PSS juga di inputkan ke turbin. Model linear PSS ditunjukkan pada Gambar 3.



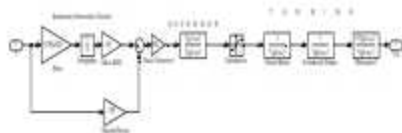
Gambar 3. Model Power System Stabilizer

PSS ditala untuk menyediakan karakteristik *phase-lead* yang tepat untuk mengkompensasi *phase-lag* antara referensi input AVR dan torka elektrik diluar range osilasi frekuensi. Sehingga, komponen torsi elektrik sephasa dengan variasi kecepatan. Untuk memberikan peredaman, PSS harus menghasilkan komponen torka elektrik pada mesin yang memiliki fase sama.

C. Automatic Generation Control (AGC)

Fungsi AGC adalah untuk menjaga atau memulihkan frekuensi sistem ke kisaran yang diinginkan akibat dari perubahan daya. Hal ini dapat dilakukan dengan menambah suatu kontroler integral pada *Load Frequency Control (LFC)* yang berfungsi sebagai input ke nilai referensi beban pada unit governor yang dioperasikan sebagai AGC. Model linear sistem governor turbin lengkap dengan AGC dimodelkan sebagai komponen linier order satu

dengan nilai *speed drop* konstan seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model governor-turbin yang dilengkapi AGC

Sistem governor turbin yang digunakan terdiri dari *speed drop*, governor, servomotor, dan reheater. Penambahan kontroler integral pada LFC bertujuan untuk mengatur agar error frekuensi pada kondisi *steady state* sama dengan nol.

### III. KONTROL TERINTEGRASI PSS-AGC

Model linier PSS dan model linear SMIB yang dilengkapi AVR

dan AGC digabungkan serta diubah ke dalam Persamaan (1)

dan (2).

$$\Delta \dot{x} = \mathbf{A} \Delta x + \mathbf{B} \Delta u \quad (1)$$

$$\Delta y = \mathbf{C} \Delta x + \mathbf{D} \Delta u \quad (2)$$

Dengan menggunakan matrik A dari model linier STL secara keseluruhan nilai eigenvalue pada Persamaan (3) dapat dievaluasi.

Proses pengontrolan gain PSS ( $K_{PSS}$ ) dan gain AGC ( $K_i$ ) dilakukan dengan memperhitungkan nilai eigenvalue dari matrik A. Eigenvalue STL dapat digeser ke daerah real negatif dengan cara mencari nilai maksimum dari damping ratio untuk tiap-tiap eigenvalue.

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \quad (3)$$

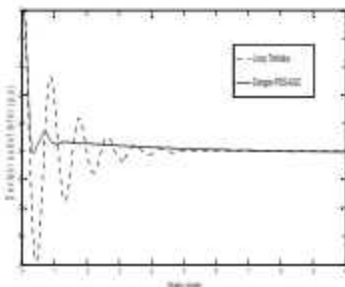
$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (4)$$

Keterangan:

- $\Delta x$  : variabel keadaan
- $\Delta y$  : variabel output
- $\Delta u$  : variabel input
- A** : matrik sistem
- B** : matrik input
- C, D** : matrik output
- $\lambda_i$  : *eigen values* ke-*i*
- $\sigma_i$  : bagian real *eigenvalues* ke-*i*
- $\omega_i$  : bagian imajier *eigenvalues* ke-*i*
- $\zeta_i$  : *damping ratio* ke-*i*

### IV. HASIL DAN ANALISIS

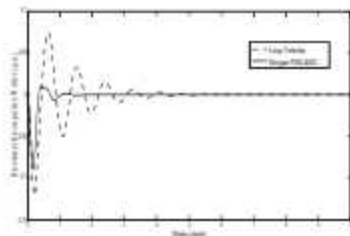
Simulasi dilakukan menggunakan MatLab/Simulink versi 7.1 yang diaplikasikan terhadap SMIB untuk mengetahui performansi stabilitas dinamik sistem berdasarkan deviasi sudut rotor dan kecepatan sudut seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Respon deviasi sudut rotor

Gambar 5 menunjukkan hasil integrasi gain PSS-AGC dapat memperbaiki osilasi sudut rotor dibandingkan pada keadaan loop terbuka (tidak menggunakan PSS-AGC). Penurunan overshoot osilasi sudut rotor berkurang dari -8,88 menjadi -5,05 atau 75%.

Hasil integrasi kontrol PSS-AGC untuk perbaikan osilasi kecepatan sudut rotor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Kontrol terintegrasi PSS-AGC dapat mereduksi overshoot kecepatan sudut rotor dari -0,1198 menjadi -0,0892 atau 34% dan settling time dari 5 detik menjadi 1,5 detik.



Gambar 6. Respon deviasi kecepatan sudut rotor

## V. KESIMPULAN

Kontrol terintegrasi gain PSS-AGC mampu memperbaiki respon dinamik sistem tenaga listrik pada SMIB yaitu mampu mengurangi overshoot dan settling time untuk mencapai steady state dibandingkan keadaan loop terbuka.

## APPENDIX

### PARAMETER SMIB

$K_p = 1.591$	$T_f = 0.4$	$K_{ps} = 400$	$T_s = 0.01$
$K_v = 1.5$	$T_f = 0.3$	$K_{ps2} = 3$	$R = 1$
$K_c = 0.333$	$T_f = 1.91$	$T_{f2} = 0.5$	$X_d = 1.6$
$K_r = 2$	$T_f = 0.02$	$H = 3$	$X'_d = 1.6$
$K_e = 0.3$	$T_{f3} = 0.0264$	$K_s = 2.191$	$X'_s = 0.4$
$r_p = 50$	$T_{f4} = 0.15$	$K_r = 0.05$	$T_d = 6$
$K_w = 0$	$T_{f4} = 0.594$	$E_p = 1.05$	

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kumar, G, dan Harley, R (1999), "A Continually Online Trained Artificial Neural Network Identifier For a Turbogenerator", *Proceedings of the International Joint Conference On Neural Network*.
- [2] Kumar, G dan Harley, R (2002), "Two Separate Continually Online-Trained Neuro-controllers for Excitation and Turbine Control of a Turbogenerator", *IEEE Transc On Industry Application*, Vol. 38, No. 3, May.
- [3] Park, J W, dan Harley, R, Fellow, (2003), "Adaptive Critic Based Optimal Neuro-control for Synchronous Generator in a Power System Using MLP/RBFNN", *IEEE Transc On Industry Applications*, Vol 39, No5.
- [4] Park, J W, dan Harley, R, Fellow, (2004), "Indirect Adaptive Control for Synchronous Generator: Comparison of MLP/RBFNN Approach With Lyapunov Stability Analysis", *IEEE Transc On Neural Networks*, Vol 15, No2.
- [5] Park, J W, dan Kumar, G, (2005), "Multilayer Perceptron Neural Network Based Online Global Model Identification of Synchronous Generator", *IEEE Transc On Industrial Electronics*, Vol.52, No.6.
- [6] Liu, W, dan Venayagamoorthy, G.K.; Wunsch, (2003), "Adaptive Neural Network Based Power System Stabilizer Design", *Proceedings of the International Joint Conference On Neural Networks*, July.
- [7] Dubay, M, dan Gupta, P, (2006), "Design of Genetic-Algorithm Based Robust Power System Stabilizer", *International Journal of Computational Intelligence 2*.
- [8] Park, J W, dan Harley, R, Kumar, G, Jang, G, (2008), "Dual Heuristic Programming Based Optimal Control for a Synchronous Generator", *Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence 21*.
- [9] Chen, C J, dan Chen, T C, (2007), "Design Of A Power System Stabilizer Using A New Recurrent Network", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (ICIC)*, Vol.3, No.4.
- [10] Taber, S A, dan Shemshadi, (2007), "Design Of Robust Fuzzy Logic Power System Stabilizer", *Proceeding Of World Academy Of Science, Engineering And Technology*, Vol. 21, May.
- [11] Corcau, J I, dan Stoensescu, E, (2008), "An Adaptive PID Fuzzy Controller For Synchronous Generator", *WSEAS International Conference On Systems*, Greece, July.

**Muhamad Haddin**, adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang dari tahun 1993- Sekarang. Saat ini sedang menyelesaikan studi pada Program Doktor (S3) Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Alamat Kantor: UNISSULA Jl. Raya Kaligawe Km.4, Semarang, Indonesia. (Phone: 024-6583584; fax: 024-6582455; email: muh\_haddin@yahoo.com).

**Soebagio**, adalah Profesor bidang Electric Drive di Jurusan Teknik Elektro Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Indonesia (email: soebagio@ee.its.ac.id)

**Adi Soeprijanto** adalah Profesor bidang Power System Simulation di Jurusan Teknik Elektro Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Indonesia (email: adisup@ee.its.ac.id)

**Mauridhi Hery Purnomo** adalah Profesor bidang Power System dan Kontrol di Jurusan Teknik Elektro Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Indonesia (email: hery@ee.its.ac.id).