

## Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif

(Power System Stabilizer Model Based on Adaptive Neuro-Fuzzy)

AGUS JAMAL, RAMADONI SYAHPUTRA

### ABSTRACT

Low frequency oscillations are detrimental to the goals of maximum power transfer and optimal power system security. A contemporary solution to this problem is the addition of power system stabilizers (PSS) to the automatic voltage regulators on the generators in the power system. For large scale power systems comprising of many interconnected machines, the PSS parameter tuning is a complex exercise due to the presence of several poorly damped modes of oscillation. The problem is further being complicated by continuous variation in power system operating conditions. This research proposes the PSS model based on adaptive neuro-fuzzy for designing robust power system stabilizers for a multi machine system. Simulations were carried out using several fault tests at transmission line on a Two-Area Multimachine Power System. Simulation is done by using Matlab-Simulink software. The result shows that power transfer response using the model is more robust than Delta w PSS, especially for single phase to ground fault.

**Keywords:** Power System Stabilizer, transient stability, multimachine power system, neuro-fuzzy adaptive.

### PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik sering mengalami gangguan hubung singkat, baik yang bersifat permanen maupun sementara. Gangguan hubung singkat tersebut dapat menyebabkan simpangan pada variabel-variabel sistem tenaga listrik, misalnya tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Deviasi ini dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Stabilitas dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk menjaga sinkronisasi pada saat gangguan maupun setelah gangguan terjadi (Robandi dan Kharisma, 2008).

Power System Stabilizer (PSS) merupakan piranti yang digunakan untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik (Grainger dan Stevensson, 1994; Saadat, 1999). PSS telah digunakan di beberapa negara sejak tahun 1960an dengan memanfaatkan sinyal stabilisasi pembantu untuk mengendalikan tegangan medan generator guna meredam osilasi sistem. Aksi PSS adalah memperluas batas stabilitas sistem tenaga listrik dengan meredam osilasi rotor mesin sinkron melalui

eksitasi generator. Pada dasarnya PSS adalah piranti yang bertugas mengendalikan generator agar tetap bekerja normal dan menghasilkan tegangan, daya, dan frekuensi yang stabil. Oleh karenanya yang menjadi fokus pada usulan penelitian ini adalah bagaimana merancang PSS agar mampu mengendalikan generator dalam waktu yang singkat.

Berbagai metode telah diterapkan untuk merancang PSS guna meningkatkan unjukkerja sistem secara keseluruhan. Sebagian besar PSS yang digunakan dalam sistem tenaga listrik dikembangkan berdasarkan teori kendali linear klasik (Lerm dan Silva, 2003). PSS dengan parameter tetap yang sering disebut PSS konvensional dapat menjalankan fungsinya secara optimum untuk suatu kondisi operasi tertentu dan tidak efektif untuk kondisi operasi yang berubah secara drastis (Mithulanathan dan Cafiizares, 2004; Mahabuba dan Khan, 2008). PSS konvensional banyak digunakan karena strukturnya yang sederhana, fleksibilitas, dan mudah diimplementasikan. Akan tetapi unjukkerja PSS akan menurun karena kondisi operasi sistem tenaga listrik bersifat nonlinear. Guna mengatasinya ada dua

pendekatan, yaitu kendali kokoh (robust) dan kendali adaptif (Chetty, 2002; Bevrani dan Hiyama, 2006; Harmas et al., 2007; Jyothsna dan Vaisakh, 2009). Pengendali kokoh akan memberikan hasil yang efektif meskipun kondisi operasi sistem listrik sangat bervariasi. Akan tetapi guna mencapai kondisi tersebut diperlukan biaya yang relatif mahal. Pengendali adaptif merupakan metode yang sangat diharapkan dapat meningkatkan unjukkerja PSS. Akan tetapi pengendali ini memerlukan inisialisasi yang benar-benar sesuai dan pengukuran yang andal dan berlangsung kontinyu. Oleh karenanya guna meningkatkan kinerja PSS adaptif maka sangat menarik untuk dilakukan pendekatan optimasi, yang akan diterapkan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode neuro fuzzy adaptif. Dengan pendekatan ini diharapkan akan diperoleh metode yang relatif sederhana dan sesuai untuk kondisi sistem tenaga multimesin yang sangat variatif.

#### *Stabilitas Sistem Tenaga Listrik*

Sistem tenaga listrik yang besar umumnya merupakan sistem multimesin yang terhubung ke infinite bus. Semakin berkembang suatu sistem tenaga listrik maka semakin rentan terhadap gangguan terutama gangguan hubung-singkat. Salah satu dampak gangguan adalah osilasi daya yang akan menyebabkan sistem keluar dari area kestabilannya dan dapat mengakibatkan dampak yang lebih buruk lagi seperti pemadaman total (Grainger dan Stevenson, 1994; Saadat, 1999). Berdasarkan data dari Westinghouse pada tahun 1964, probabilitas terjadinya gangguan hubung singkat untuk berbagai tipe gangguan yaitu untuk gangguan tiga fase sebesar 5%, gangguan dua fase ke tanah sebesar 10%, gangguan fase ke fase sebesar 15%, dan gangguan satu fase ke tanah sebesar 70% (Ram dan Vishwakarma, 1995).

Pada dasarnya, stabilitas sistem tenaga listrik terbagi dalam stabilitas steady state dan stabilitas transien (Saadat, 1999). Stabilitas transien berhubungan dengan gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba, seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban. Sedangkan stabilitas *steady state* berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada kondisi *operating point*-nya setelah terjadi gangguan kecil seperti perubahan daya atau beban secara perlahan.

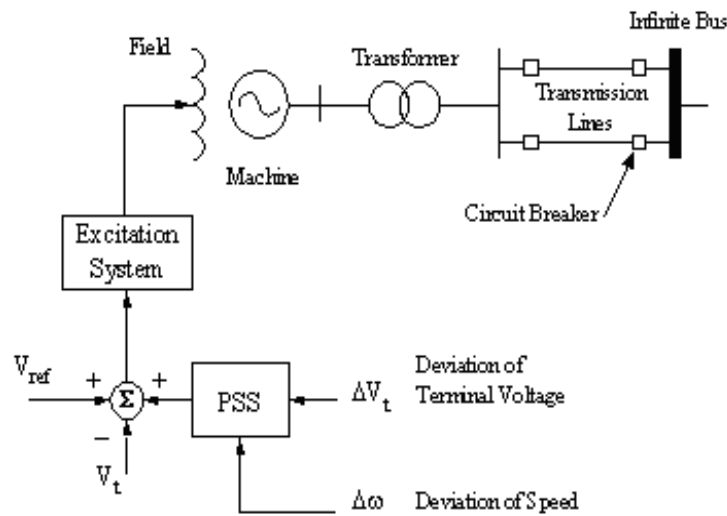
Stabilitas *steady state* disebut juga stabilitas dinamik. Perubahan kecil pada beban akan mengakibatkan perubahan kecepatan sudut pada rotor dan tegangan terminal generator. Kecepatan sudut akan berayun di sekitar kecepatan sinkron dan tegangan terminal generator konvergen di sekitar tegangan nominalnya.

Pada sistem multi-mesin, suatu sistem dikatakan stabil secara dinamik apabila setelah gangguan (perubahan beban) selisih sudut rotor menuju pada nilai tertentu yang berhingga. Bila ada selisih sudut rotor generator semakin lama semakin membesar maka sistem tidak stabil. Dikarenakan perubahan beban pada studi kestabilan dinamik relatif kecil maka model sistem tenaga listrik yang dipakai dalam studi ini adalah model linear atau model non-linear yang dilinearakan. Perubahan beban yang kecil pada sistem tenaga listrik adalah suatu hal yang tidak dapat dihindari dan selalu terjadi. Oleh karena itu perlu dirancang suatu pengendali yang dapat menjaga sistem tenaga listrik tetap stabil, yang lazim disebut Power System Stabilizer (PSS).

#### *Power System Stabilizer*

*Power System Stabilizer* (PSS) pada dasarnya berfungsi untuk memperluas batas stabilitas dengan memodulasi eksitasi generator guna menghasilkan redaman osilasi rotor motor sinkron. Osilasi tersebut biasanya terjadi dalam rentang frekuensi sekitar 0,2 sampai 3,0 Hz, dan dapat mengganggu kemampuan sistem dalam mentransmisikan daya listrik (Bandal et al., 2006). Guna meredam osilasi tersebut, PSS harus mampu menghasilkan komponen torsi elektrik sesuai dengan perubahan kecepatan rotor generator. Salah satu contoh implementasi PSS dalam mengatasi stabilitas sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada dasarnya implementasi PSS secara rinci berbeda-beda antara satu sistem dengan sistem lain, tergantung pada sinyal masukan yang diberikan. Akan tetapi, untuk setiap sinyal masukan yang diberikan, fungsi alih PSS harus dapat mengkompensasi gain dan fase sistem eksitasi generator. Untuk sistem tenaga listrik yang kompleks (sistem multimesin), penggunaan PSS sangat diperlukan karena semakin kompleks sistem maka semakin rentan terhadap gangguan.



GAMBAR 1. Implementasi PSS pada generator

Sumber: Heniche et al., 2005

Dengan implementasi PSS berarti mengatur karakteristik frekuensi dan gain untuk menghasilkan redaman osilasi sistem yang diinginkan dalam rentang frekuensi 0,2 sampai 3,0 Hz (Hakim et al., 2007). Fungsi alih PSS secara umum dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$G_p(s) = K_s \frac{T_\omega s(1+sT_1)(1+sT_3)}{(1+T_\omega s)(1+sT_2)(1+sT_4)} G_f(s) \quad (1)$$

dengan  $K_s$  merepresentasikan gain stabilizer dan  $G_f(s)$  merepresentasikan kombinasi fungsi alih tapis torsional (jika diperlukan) dan sinyal masukan transducer. Karakteristik frekuensi diatur dengan memvariasikan konstanta waktu  $T_\omega$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , dan  $T_4$ .

#### Metode Neuro-Fuzzy Adaptif

Metode neuro-fuzzy yang sangat populer sering dikenal juga dengan sebutan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan jaringan adaptif berbasis pada sistem inferensi logika fuzzy (Jang, 1993). Dengan adanya implementasi sistem inferensi logika fuzzy pada jaringan adaptif maka sifat-sifat jaringan adaptif dapat digunakan untuk mengadaptasi sistem inferensi tersebut. Dalam hal ini tergabung dua metode untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu metode adaptif yang biasa dipakai pada sistem jaringan neural artifisial dan fuzifikasi yang biasa dipakai pada

pengendali fuzzy. Dua metode ini dalam pemakaiannya menggunakan dua sumber informasi yang berbeda yakni metode adaptif bekerja menggunakan data numerik dan metode fuzifikasi menggunakan data linguistik. Kedua jenis informasi inilah yang bisa didapatkan dalam sistem kendali, sehingga diharapkan dapat dibuat sistem kendali yang optimal.

Parameter ANFIS dipisahkan menjadi dua yaitu parameter premis (antecedent) dan parameter konsekuensi (consequent). Proses adaptasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan parameter-parameter tersebut agar terbentuk suatu jaringan adaptif yang merepresentasikan sistem inferensi yang diinginkan. Proses pencarian parameter premis dan parameter konsekuensi sering dikenal dengan proses pembelajaran atau proses pelatihan. Proses pelatihan untuk ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini yaitu propagasi balik (backpropagation) dan hibrid (gabungan propagasi balik dan *least square estimation*, LSE).

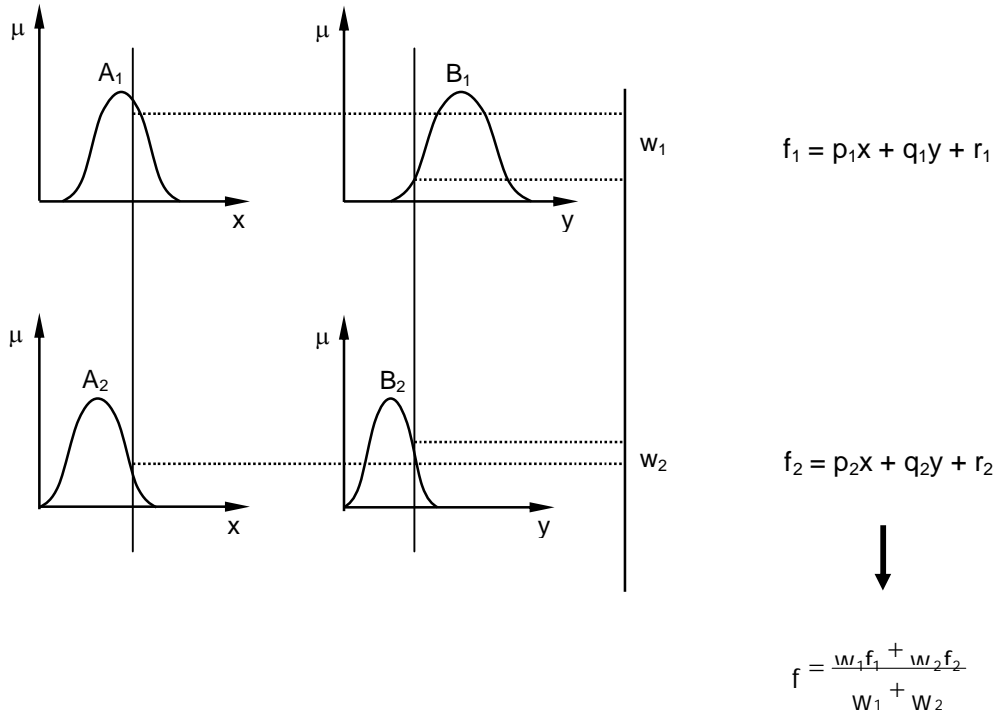
Arsitektur ANFIS tergantung pada jenis sistem inferensi yang akan diimplementasikan. Sebagai contoh sistem inferensi logika fuzzy orde pertama tipe Sugeno dengan dua masukan dan dua aturan sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Jika  $x$  adalah  $A1$  dan  $y$  adalah  $B1$  maka  $f1 = p1x + q1x + r1$

Jika  $x$  adalah  $A_2$  dan  $y$  adalah  $B_2$  maka  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

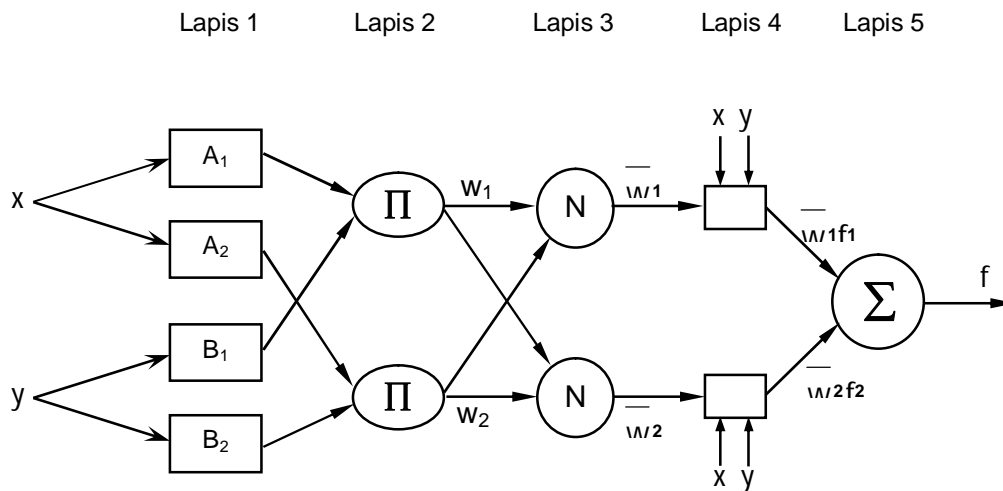
Model logika fuzzy Sugeno seperti pada Gambar 2 dapat diimplementasikan pada

jaringan adaptif yang terdiri dari lima lapis, seperti terlihat pada Gambar 3.



GAMBAR 2. Model logika fuzzy Sugeno

Sumber: Jang, 1993



GAMBAR 3. Arsitektur ANFIS model Sugeno orde satu dengan dua masukan dan dua aturan

Sumber: Jang, 1993

Jika  $O_i^k$  menunjukkan keluaran simpul ke- $i$  pada lapis ke- $k$ , maka masing-masing lapis dapat dijelaskan sebagai berikut:

Lapis 1. Setiap simpul  $i$  dalam lapis ini merupakan simpul adaptif yang menunjukkan bahwa keluaran yang dihasilkan tergantung dari parameter yang menyusun simpul ini. Fungsi simpulnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$O_i^1 = \mu A_i(x), \text{ untuk } i = 1, 2, \quad (2)$$

atau,

$$O_i^1 = \mu B_i-2(y), \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (3)$$

dengan  $x$  dan  $y$  masing-masing merupakan masukan pada suatu simpul adaptif  $A_i$  dan  $B_i$ .

Nilai  $O_i^1$  adalah nilai keanggotaan himpunan fuzzy ( $A_1, A_2, B_1, B_2$ ). Fungsi keanggotaan pada simpul-simpul adaptif masukan memiliki parameter-parameter yang sesuai dengan jenis fungsi keanggotaan yang dipakai. Biasanya digunakan fungsi bel umum (generalized bell function):

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x - c_+}{a_i} \right]^{2b_i}} \quad (4)$$

Himpunan parameter yang membentuk fungsi keanggotaan ini dikenal sebagai parameter premis.

Lapis 2. Pada simpul-simpul di lapis ini proses perkalian nilai keanggotaan yang masuk masing-masing simpul tanpa memiliki parameter seperti pada lapis 1. Keluaran simpul ini dinyatakan:

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x) \times \mu B_i(y), \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Setiap simpul memiliki keluaran yang dikenal dengan kuat penyulutan (*firing strength*).

Lapis 3. Simpul-simpul lapis ini merupakan simpul biasa yang melakukan proses normalisasi yaitu membandingkan kuat penyulutan ke- $i$  dengan kuat penyulutan total yang masuk pada masing-masing simpul, yang dapat dinyatakan sebagai:

$$O_i^3 = \bar{w} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Lapis 4. Simpul-simpul pada lapis ini merupakan simpul adaptif yang terparameterisasi. Keluaran dari simpul-simpul

tersebut adalah perkalian dari kuat penyulutan ternormalisasi dengan fungsi konsekuensi yang merupakan kombinasi linier dari variabel masukan. Parameter-parameter yang berhubungan dengan simpul-simpul pada lapis ini dikenal sebagai parameter konsekuensi. Keluaran dari simpul-simpul pada lapis ini dapat dinyatakan sebagai:

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

dengan  $\bar{w}_i$  adalah kuat penyulutan ternormalisasi dan ( $p_i, q_i, \text{ dan } r_i$ ) adalah parameter konsekuensi dari simpul ke- $i$ .

Lapis 5. Keluaran dari simpul ini merupakan jumlah dari seluruh masukan yang memasuki simpul keluaran, dengan persamaan sebagai berikut:

$$O_i^5 = \sum \bar{w}_i f_i \quad (7)$$

## METODE PENELITIAN

### Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat-keras (*hardware*) dan perangkat-lunak (*software*), diantaranya:

#### 1. Perangkat-keras (*hardware*)

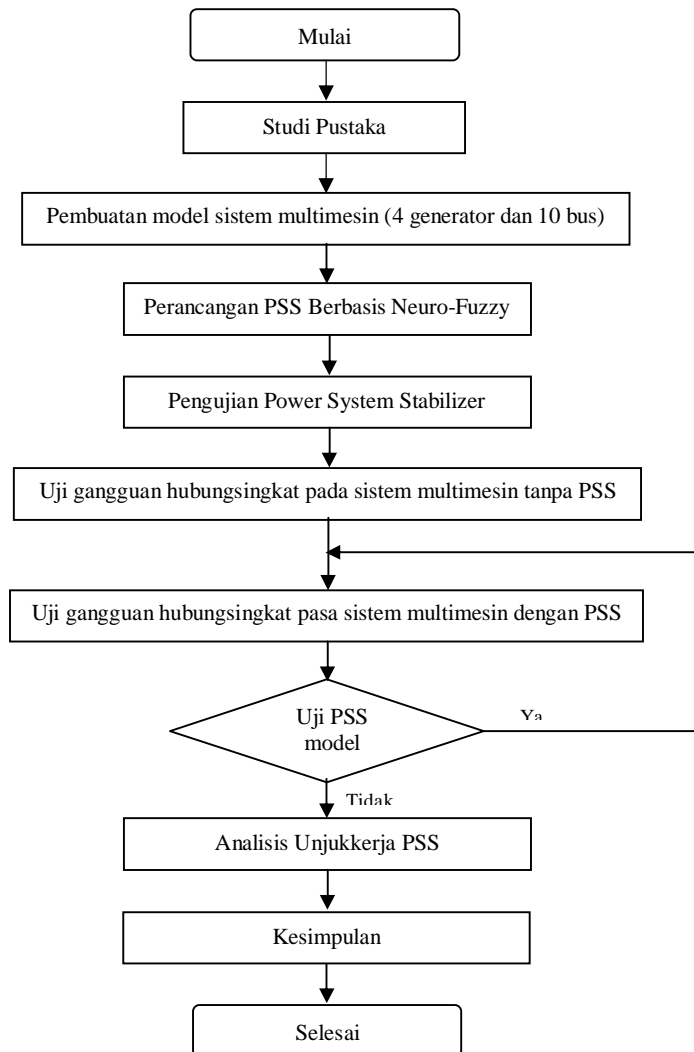
Perangkat-keras yang digunakan adalah satu unit *notebook* Toshiba dengan spesifikasi memori 2 GB dan processor intel core 2 duo.

#### 2. Perangkat-lunak (*software*)

- Metode neuro-fuzzy adaptif untuk merancang PSS.
- Matlab-Simulink untuk mengimplementasikan rancangan PSS dalam bentuk simulasi guna mengujinya pada kondisi hubung singkat pada sistem tenaga listrik multimesin.

### Jalan Penelitian

Penelitian ini berupa pengembangan model PSS dan melakukan pengujian model PSS tersebut dalam model rangkaian sistem tenaga listrik multimesin. Model PSS dan simulasinya dikembangkan dalam perangkat-lunak Matlab-Simulink. Langkah-langkah penelitian dirangkum dalam diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir langkah-langkah penelitian.

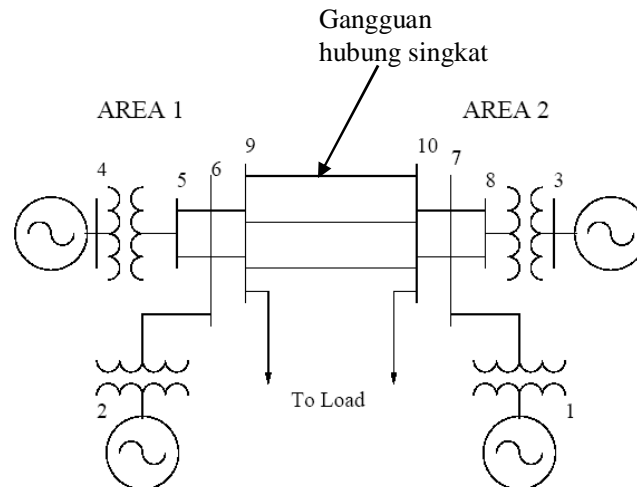
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Pemodelan Sistem Tenaga Multimesin*

Model sistem tenaga listrik multimesin yang digunakan adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari dua area dengan jumlah generator adalah 4 unit dan jumlah busnya adalah 10 buah, seperti terlihat pada Gambar 5. Sistem multimesin terdiri dari dua area yang saling terhubung oleh saluran transmisi sepanjang 220 km. Tegangan nominal sistem yang digunakan adalah 230 kV. Masing-masing area mempunyai dua buah generator sinkron dengan kapasitas yang sama yaitu 900MVA pada tegangan 20 kV. Setiap generator pada kedua area tersebut ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , dan  $M_4$ ) terhubung dengan transformator daya ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , dan  $T_4$ ). Keempat generator

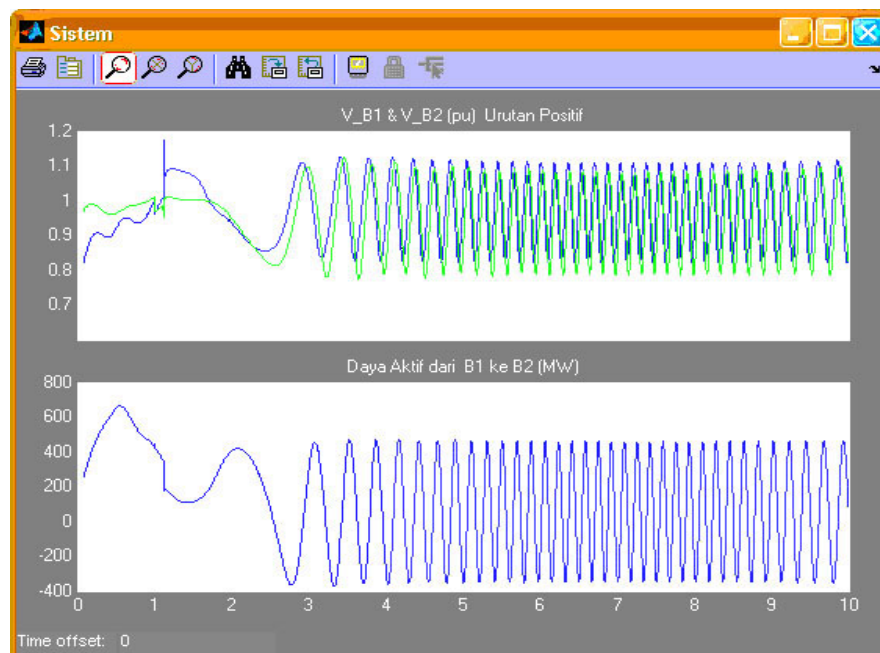
mempunyai parameter yang identik, kecuali inersianya ( $H$ ) yaitu untuk generator pada area 1 sebesar 6,5 detik dan untuk generator di area 2 sebesar 6,175 detik.

Setiap generator mampu menghasilkan daya aktif sebesar 700 MW. Beban generator diasumsikan sebagai beban dengan besar impedans yang konstan. Beban pada area 1 sebesar 967 MW ( $L_1$ ) dan pada area 2 sebesar 1767 MW ( $L_2$ ). Pada kondisi ini terlihat bahwa area 1 mempunyai kelebihan daya, sedang pada area 2 sebaliknya yaitu kekurangan daya, oleh karenanya seperti terlihat pada Gambar 6 ada daya sejumlah 413 MW yang ditransfer dari area 1 ke area 2. Guna memperbaiki profil tegangan pada masing-masing area maka dipasang dua buah kapasitor daya ( $C_1$  dan  $C_2$ ) masing-masing dengan kapasitas 187 MVAR guna memperbaiki faktor dayanya.



Gambar 5. Sistem multimesin standar IEEE untuk 4 generator 10 bus yang diberi gangguan pada saluran transmisinya.

Sumber: Robandi & Kharisma, 2008



Gambar 6. Profil tegangan pada masing-masing bus dan aliran daya aktif pada saat gangguan fase ke tanah untuk kondisi tanpa PSS.

Diagram rangkaian sistem tenaga listrik multimesin pada Gambar 5 berdasarkan data-data di atas diimplementasikan dalam perangkat lunak Matlab-Simulink guna dilakukan simulasi sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan pada saluran transmisi.

#### *Unjukkerja PSS pada Gangguan Satu Fase ke Tanah*

Guna menguji unjukkerja PSS dalam menangani masalah stabilitas dinamik sistem tenaga listrik khusus sistem multimesin, maka dalam penelitian ini dilakukan uji sistem



terhadap gangguan hubung singkat satu fase ke tanah. Uji gangguan satu fase ke tanah dilakukan pertama sekali karena pada kenyataannya dalam sistem tenaga listrik khususnya saluran transmisi daya listrik, bahwa gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan satu fase ke tanah. Dengan demikian PSS yang dirancang pertama-tama harus diuji kemampuannya dalam menstabilkan sistem tenaga listrik pada saat terjadi gangguan satu fase ke tanah tersebut.

Sebagaimana terlihat pada Gambar 5, gangguan hubung singkat satu fase ke tanah disimulasikan terjadi pada saluran transmisi antara *feeder* 9 dan *feeder* 10. Adanya gangguan tersebut berakibat seluruh generator yang terinterkoneksi dengannya mengalami gangguan stabilitas. Di sinilah peran penting PSS akan diuji, apakah mampu dengan segera membawa sistem kepada keadaan stabil atautah tidak.

Pada Gambar 6 ditunjukkan profil tegangan pada masing-masing bus dan aliran daya aktif pada saat gangguan fase ke tanah untuk kondisi tanpa PSS. Terlihat bahwa tegangan pada bus B1 dan bus B2 mengalami keadaan peralihan dari saat terjadi gangguan hubung singkat fase ke tanah pada detik ke-1 hingga 2 detik kemudian, dan setelahnya mengalami osilasi (suatu keadaan yang tidak diinginkan).

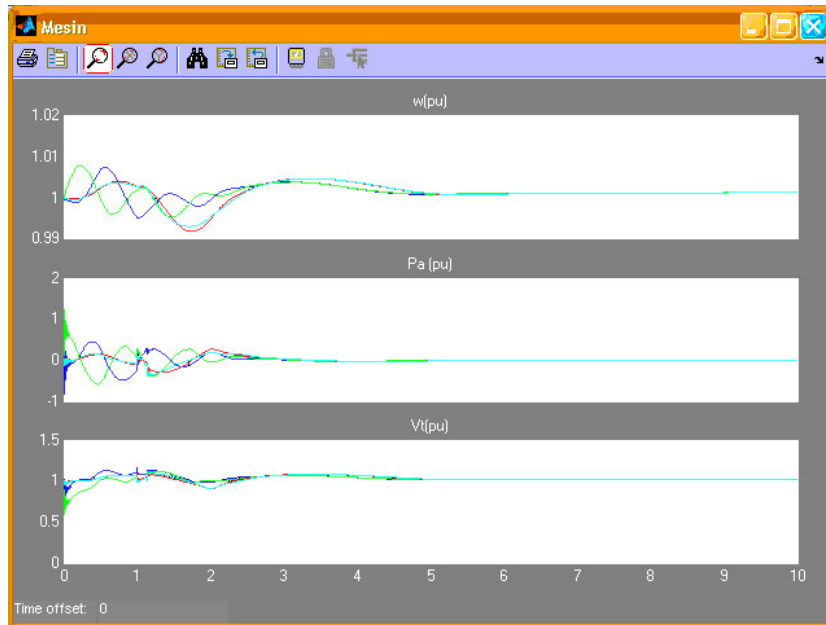
Keadaan ini hampir sama dengan transfer daya dari bus B1 ke bus B2, di mana terdapat masa peralihan selama 2 detik dan setelahnya mengalami osilasi. Dalam hal ini tugas PSS dalam memperbaiki profil tegangan dan daya adalah membuat keadaan yang mengalami masa peralihan menjadi lebih dari waktu 2 detik dan setelahnya sistem harus menjadi stabil kepada keadaan yang diinginkan. Waktu 2 detik ini masih tergolong tinggi karena amplitudo tegangan sistem yang besar yaitu 230 kV.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa PSS hasil rancangan menggunakan metode neuro-fuzzy memberikan hasil yang sangat baik, yang ditandai dengan pencapaian kestabilan sistem multimesin. Terlihat bahwa tegangan bus B<sub>1</sub> maupun bus B<sub>2</sub> praktis mengalami kestabilan pada detik ke-5 setelah sebelumnya mengalami keadaan peralihan akibat adanya gangguan fase ke tanah pada saluran transmisi. Keadaan yang hampir sama juga terjadi pada grafik transfer daya dari area 1 ke area 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa walaupun sempat mengalami *overshoot* pada detik ke-0,5 dan *undershoot* pada detik ke 1,2 akibat gangguan hubung singkat fase ke tanah maka sistem mengalami kestabilan daya pada detik ke-5. Keadaan ini diharapkan berguna memperbaiki unjukkerja sistem tenaga listrik.

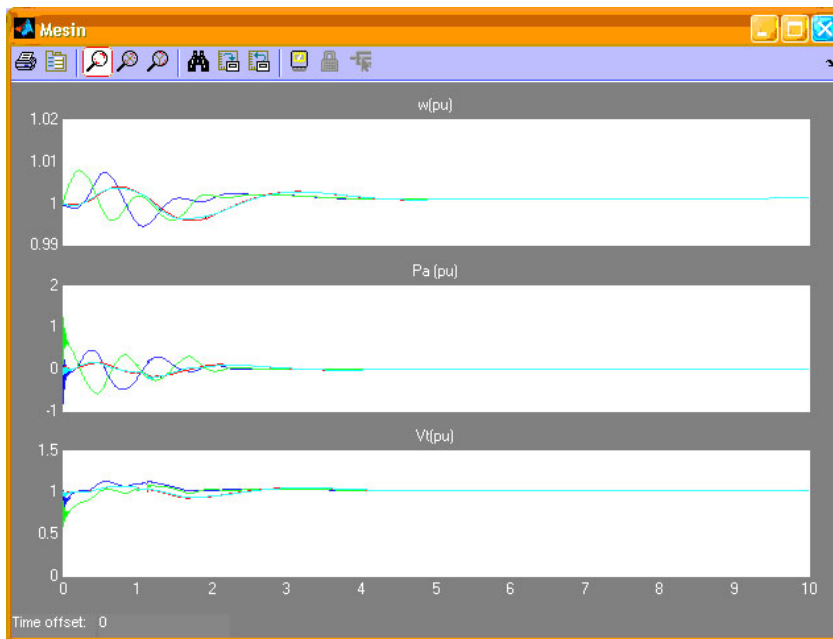


Gambar 7. Profil tegangan pada masing-masing bus dan aliran daya aktif pada saat gangguan fase ke tanah untuk kondisi dengan PSS neuro-fuzzy hasil rancangan.





Gambar 8. Grafik kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal ( $V_t$ ) untuk kondisi dengan PSS Delta  $w$ .



Gambar 9. Grafik kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal ( $V_t$ ) untuk kondisi dengan PSS neuro-fuzzy hasil rancangan.

Selanjutnya pada Gambar 8 ditunjukkan Grafik kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal ( $V_t$ ) untuk kondisi sistem tenaga listrik dengan PSS Delta  $w$ . Pada Gambar tersebut terlihat bahwa untuk variabel-variabel kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal ( $V_t$ ) juga mengalami

kestabilan pada detik ke-5, dan sempat mengalami osilasi hingga detik ke-3 akibat gangguan fase ke tanah pada saluran transmisi. Unjukkerja PSS Delta  $w$  ini masih belum memuaskan, dimana waktu osilasi dan waktu mulai mengalami stabil sebaiknya dapat lebih kecil, sehingga mengurangi resiko kerusakan

terutama pada generator yang terhubung dengan sistem multimesin.

Keunggulan PSS hasil rancangan menggunakan metode neuro-fuzzy dalam mengatasi masalah stabilitas transien sistem diperlihatkan pada Gambar 9. Terlihat bahwa untuk variabel-variabel kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal ( $V_t$ ) juga mengalami kestabilan yang sangat signifikan pada detik ke-3, walaupun sempat mengalami osilasi hingga detik ke-2 akibat gangguan satu fase ke tanah pada saluran transmisi. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan unjukkerja PSS Delta  $w$  sebagaimana terlihat pada Gambar 8.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa PSS hasil rancangan menggunakan metode neuro-fuzzy memberikan unjukkerja yang sangat baik dibanding PSS konvensional yaitu PSS Delta  $w$ . Hasil ini terlihat dari pengujian PSS dengan memberikan hasil yang relatif baik dalam meredam osilasi variabel-variabel sistem tenaga listrik di antaranya profil tegangan sistem, profil transfer daya listrik, kecepatan sudut putaran mesin ( $w$ ), perubahan daya mesin ( $P_a$ ), dan tegangan terminal mesin ( $V_t$ ). Meskipun PSS Delta  $w$  mampu memberikan kestabilan sistem dengan meredam osilasi pada detik ke-5, tetapi PSS hasil rancangan menggunakan metode neuro-fuzzy memberikan hasil yang lebih baik yaitu mampu meredam osilasi dalam waktu yang lebih singkat yaitu 3 detik, dan selanjutnya sistem mengalami keadaan stabil sesuai yang diinginkan. PSS hasil rancangan juga memiliki kemampuan lebih baik dibanding PSS Delta  $w$  dalam meredam osilasi sistem, ditunjukkan dengan amplitudo osilasi yang relatif lebih rendah.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) KEMENDIKNAS RI yang telah memberikan dukungan dana melalui Program Penelitian Hibah Bersaing guna terselenggaranya penelitian ini. Semoga kerjasama yang baik ini dapat berlanjut terus.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2005). UNITROL Stand-alone Power System Stabilizer, Static Excitation Systems, *Voltage Regulators and Synchronizing Equipment*, ABB Switzerland Ltd. CH-5300 Turgi / Switzerland.
- Bandal, V., Bandyopadhyay, B., & Kulkarni, A.M. (2006). Design of Power System Stabilizer using Power Rate Reaching Law based Sliding Mode Control Technique, *IEEE Xplore*.
- Bevrani, H., & Hiyama, T. (2006). Stability and Voltage Regulation Enhancement Using an Optimal Gain Vector, *Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Canada. 6pp. doi: 10.1109/PES.2006.1708999.
- Chetty, M. (2002). A Fuzzy Logic Based Discrete Mode Power System Stabilizer, *Asian Journal of Control*, 4, 3, 327-332.
- Grainger, J.J., & Stevenson, W.D.Jr. (1994). *Power System Analysis*, Singapore: McGraw-Hill.
- Hakim, E.A., Soeprijanto, A., Mauridhi, H.P., 2007, PSS design based on PD and PI Fuzzy Controller by Particle Swarm Optimization, *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Bandung.
- Harmas, N.M., Abdelaziz, M., & Hamidi-Cherif, A. (2007). Observer Based Intelligent Power System Stabilizer, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 6(10), 1057-1063.
- Heniche, A., Kamwa, I., & Grondin, R. (2005). Torsional-mode identification for turbogenerators with application to PSS tuning, *Proceeding os International Conference on Power Systems Transients, Montreal*, Paper No. IPST05 - 222.
- Jang, J.S.R., 1993, "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, 23, 665-685, June.
- Jyothsna, T.R., & Vaisakh, K. (2009). Multi-objective Evolutionary Programming Based Design of PSS, SVC, and TCSC for Transient Stability Improvement, *Proceedings of World Academy of*

- Science: Engineering & Technology*; 39, 859-863..
- Lerm, A.A.P., & Silva, A.S.E. (2003). PSS tuning via Hopf Bifurcation sensitivity analysis, *IEEE Bologna Power Tech Conference*, Bologna, Italy.
- Mahabuba, A., & Khan, M.A. (2008). Optimal Location of Power System Stabilizers in a Multimachine Power System Using Relative Gain Array (RGA) and Genetic Algorithm (GA). *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 2(1), 19-27.
- Mithulananthan, N., & Cafizares, C.A. (2004). Effect of Static Load Models on Hopf Bifurcation Point and Critical Modes of Power Systems, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, 9, 4, 69-76.
- Ram, B., & Vishwakarma, D.N. (1995). *Power System Protection and Switchgear*, New Delhi: McGraw-Hill.
- Robandi, I. & Kharisma, B. (2008). Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1, 682-689.
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*, Singapore: McGraw-Hill.

---

PENULIS:

Agus Jamal ✉, Ramadoni Syahputra

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta.

✉Email: [ajamal\\_me@yahoo.co.id](mailto:ajamal_me@yahoo.co.id)