

DESAIN PENGENDALIAN POWER SYSTEM STABILIZER DENGAN POLE PLACEMENT FUZZY LOGIC CONTROL

by Tamaji Tamaji

Submission date: 07-Feb-2019 12:14AM (UTC-0500)

Submission ID: 1074332640

File name: SYSTEM_STABILIZER_DENGAN_POLE_PLACEMENT_FUZZY_LOGIC_CONTROL.pdf (75.63K)

Word count: 2251

Character count: 11179

1
**DESAIN PENGENDALIAN POWER SYSTEM STABILIZER
DENGAN POLE PLACEMENT FUZZY LOGIC CONTROL**

1
Tamaji¹, Achmad Shoim²

1,2 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika

1,2 Jalan Sutorejo Prima Utara II/ 1 Surabaya 60113, Jawa Timur,

e-mail: tamajikayadi@gmail.com

Abstrak

Power system stabilizer (PSS) berguna untuk meredam osilasi elektro mekanik yang menyebabkan gangguan. Beberapa metode desain pengendalian PSS telah dilakukan antara lain adaptive control dan robust control selain itu logika fuzzy juga berperan dalam meningkatkan performansi PSS. Kestabilan dan pencapaian performansi dari kontrol sistem berdasarkan model fuzzy output feedback controller dapat diperoleh dengan menggunakan teknik kestabilan dengan metode pole placement. Selanjutnya dilakukan defuzzifikasi untuk mendapatkan performansi system. Pada paper ini akan dikaji pembentukan model fuzzy Takagi-Sugeno dengan metode pole placement dan dilakukan perbandingan performansi sistem untuk sistem tanpa kontrol, sistem dengan kontrol pole placement dan sistem kontrol fuzzy pole placement serta dikaji mana yang lebih baik.

Kata kunci : fuzzy Takagi-Sugeno, output feedback controller, PSS, pole placement

1. PENDAHULUAN

Pada sistem pembangkit listrik, *power system stabilizer (PSS)* berguna untuk meredam osilasi elektro mekanik yang menyebabkan gangguan. Beberapa gangguan pada sistem pembangkit disebabkan oleh beban yang bervariasi secara kontinu, perubahan *setting point* dan sebagainya. Beberapa metode desain pengendalian PSS telah dilakukan antara lain, *direct feedback linearization* (Tamaji, 2009; Yadaiah & Ramana, 2006), *adaptive control* dan *robust control* selain itu logika fuzzy juga berperan dalam meningkatkan performansi PSS (Peng zhao and O.P. Malik, 2009). Kestabilan dan pencapaian performansi dari kontrol sistem berdasarkan model fuzzy dapat diperoleh dengan menggunakan teknik metode *Pole Placement* (Tanaka & Wang, 2001 dalam Soliman).

Pada paper ini akan dikaji desain *controller* sistem pembangkit mesin tunggal dengan bus tak hingga (*single machine infinite bus-SMIB*). Model matematika dari sistem SMIB merupakan sistem tak linear (Soliman, 2009; Yadaiah & Ramana, 2006). Untuk mendesain PSS akan dibentuk model fuzzy T-S dengan metode *Pole Placement* dari SMIB, ditentukan kondisi agar sistem stabil, desain *output feedback* serta simulasi untuk menganalisa performansi PSS.

2. METODOLOGI

Secara garis besar makalah ini dilakukan model yaitu PSS *single machine*. Untuk model SMIB dilakukan pembentukan model sistem yang merupakan sistem tak linear dan membuat model fuzzy sistem dengan parameter fuzzifikasi P, Q, X_e , jenis fuzzy yang digunakan adalah Fuzzy T-S. Dalam menentukan *gain K* dengan metode yang akan digunakan yaitu metode kestabilan *Pole Placement*

2.1 Model Fuzzy SMIB

Sistem pembangkit SMIB merupakan system tak linear (Soliman, 2009; Yadaiah&Ramana, 2006) sebagai berikut

$$\begin{aligned} \dot{x} &= 0 \\ \dot{x} &= (T_m \ E_q I_q \ (x_q \ x_d) I_d I_q) / M \\ \dot{E}_q &= (E_q \ (x_q \ x_d) I_d + E_{fd}) / T_{d0} \\ \dot{E}_{fd} &= \frac{K_E}{T_E} (V_{ref} \ V_T + u_{pss}) - \frac{1}{T_E} E_{fd} \end{aligned} \tag{1}$$

Untuk mendesain *controller* dari sistem tak linear ada beberapa metode antara lain *adaptive controller*, *robust control*, pelinearannya secara langsung, *direct feedback linear* dan pembentukan dalam model fuzzy T-S. Dalam paper ini metode yang digunakan adalah metode pembentukan model fuzzy T-S. Sebelum dibentuk dalam sistem fuzzy terlebih dahulu dilakukan pengaturan sistem sehingga dapat diperoleh sistem ruang keadaan (*state space*) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + Bu \\ \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{E}_q \\ \dot{E}_{fd} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & D_1 & 0 \\ 0 & 0 & B_1 & \frac{1}{T_{d0}} \\ 0 & 0 & C_1 & \frac{1}{T_E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_q \\ x_d \\ E_q \\ E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_E}{T_E} \end{bmatrix} u_{pss} \end{aligned} \tag{2}$$

Dengan

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{(T_m \ (x_q \ x_d) I_d I_q)}{M}; B_1 = \left(\frac{1}{T_{d0}} + \frac{(x_d \ x_d) I_d}{T_{d0} E_q} \right); \\ C_1 &= \frac{K_E}{T_E E_q} (V_{ref} \ V_T); D_1 = \left[\left(\frac{P X_d}{E_q X_e M} \ \frac{V_d}{X_e M} \right) \right] \end{aligned}$$

Secara umum model fuzzy T-S adalah (Soliman, 2009, Tanaka, 2001). Pada kasus ini yang dibentuk dalam *variable fuzzy* adalah P, Q, X_e yaitu

$P \ [P \ P^*]; Q \ [Q \ Q^*]; X_e \ [X_e \ X_e^*];$ sehingga diperoleh:

Rule 1

IF $P(t)$..adalah.. P ..AND.. $Q(t)$..adalah.. Q AND.. $X_e(t)$..adalah.. X_e
 THEN $\dot{x}(t) = A_1 x(t) + B u(t)$
 $y(t) = C x(t)$

Rule 2

IF $P(t)$..adalah.. P ..AND.. $Q(t)$..adalah.. Q AND.. $X_e(t)$..adalah.. X_e^+
 THEN $\dot{x}(t) = A_2 x(t) + B u(t)$
 $y(t) = C x(t)$

.....

Rule 8

IF $P(t)$..adalah.. P^+ ..AND.. $Q(t)$..adalah.. Q^+ AND.. $X_e(t)$..adalah.. X_e^+
 THEN $\dot{x}(t) = A_8 x(t) + B u(t)$
 $y(t) = C x(t)$

Didefinisikan :

$$\text{fungsi keanggotaan } P \text{ adalah } L_1 = \frac{P \ P}{P^+ \ P}; L_2 = \frac{P^+ \ P}{P^+ \ P},$$

fungsi keanggotaan Q adalah $M_1 = \frac{Q}{Q^+} \frac{Q}{Q}$; $M_2 = \frac{Q^+}{Q^+} \frac{Q}{Q}$, dan

fungsi keanggotaan X_e adalah $N_1 = \frac{X_e}{X_e^+} \frac{X_e}{X_e}$; $N_2 = \frac{X_e^+}{X_e^+} \frac{X_e}{X_e}$.

Misalkan $h_1 = L_1 M_1 N_1$; $h_2 = L_1 M_1 N_2$; $h_3 = L_1 M_2 N_1$; $h_4 = L_1 M_2 N_2$
 $h_5 = L_2 M_1 N_1$; $h_6 = L_2 M_1 N_2$; $h_7 = L_2 M_2 N_1$; $h_8 = L_2 M_2 N_2$.

Jika didefinisikan

$$i = \frac{h_i}{\sum_{j=1}^8 h_j}; i = 1, 2, \dots, 8 \tag{3}$$

maka sistem ruang keadaan pada persamaan (4) dapat ditulis dalam model fuzzy

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 i A_i x + B u \tag{4}$$

Dan keluaran

$$y = C x \tag{5}$$

Selanjutnya, desain *controller* didasarkan pada model fuzzy pada persamaan (4) dan (5) yang dikenal dengan nama Kompensasi terdistribusi paralel (*Parallel Distributed Compensation-PDC*)

2.2 Desain Controller Model Fuzzy SMIB

Kompensasi terdistribusi paralel adalah prosedur desain *controller fuzzy* dari model fuzzy Takagi-Sugeno (Model fuzzy T-S). Ada beberapa desain *controller* antara lain *state feedback* yaitu $u = Fx$, dan *output feedback controller* yaitu $u = Fy$, dengan y adalah keluaran seperti persamaan (5). Pada paper ini desain *controller* yang digunakan adalah *output feedback controller*. *Output feedback fuzzy controller* yang dikonstruksi melalui PDC adalah

$$u = \sum_{j=1}^8 K_j y_j = \sum_{j=1}^8 K_j C x_j \tag{6}$$

Dengan dengan mensubstitusi persamaan (8) ke dalam persamaan (6) diperoleh

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 h_i (A_i x_i - B \sum_{j=1}^8 K_j C x_j)$$

Atau dapat ditulis menjadi

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 h_i (A_i - B K_j C_j) x_i \tag{7}$$

Desain *controller* adalah menentukan matriks K_j sehingga sistem pada persamaan (7) stabil. Sistem pada persamaan (7) akan stabil jika nilai eigen dari $h_i (A_i - B K_j C_j)$ mempunyai bagian *real negatif* atau terletak pada separuh kiri bidang kompleks.

Dalam makalah ini, sistem output $y =$, sehingga kita memiliki output persamaan

$y = [0 \ 1 \ 0 \ 0]x$ or matrix $C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ dan kita mendapatkan persamaan

$$A_i - B K_j C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_{ii} & D_{ii} & 0 \\ 0 & 0 & B_{ii} & \frac{1}{T_0} \\ 0 & \frac{K_E}{T_E} K_j & C_{ii} & \frac{1}{T_E} \end{bmatrix} \tag{8}$$

Karakteristik polinomial pada matriks persamaan (10) adalah

$$s^4 + \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} \right) s^3 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right) s = 0 \tag{9}$$

Pada sistem SMIB persamaan (9) adalah stabil jika K_j negatif. Di sini, kita akan menentukan *output feedback controller* menggunakan metode *Pole Placement*.

2.3 Metode Pole Placement

Sistem persamaan ruang keadaan pada persamaan (7) tidak dapat dikontrol maka kita tidak dapat menerapkan *toolbox* " tempat " di *Matlab* untuk menentukan *output feedback controller*, K_j . Dalam makalah ini, kita memecahkan analitis dan tidak simulasi berdasarkan pada solusi analitis. Misalkan, kita ingin kutub atau nilai *eigen*

s_1, s_2, s_3, s_4 maka polinomial karakteristik adalah

$$(s - s_1)(s - s_2)(s - s_3)(s - s_4) = 0$$

Persamaan (9) adalah polinomial karakteristik yang sama persamaan (2), oleh karena itu, harus memenuhi

$$s^4 + s^3 + s^2 + s = \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} \right) s^3 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right) s \tag{10}$$

$$s^4 + s^3 + s^2 + s = \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s^2 \tag{11}$$

$$s^4 + s^3 + s^2 + s = \left(A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{K_E}{T_E} K_j \frac{1}{T_0} \right) s^2 + \left(A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{K_E}{T_E} K_j \frac{1}{T_0} \right) s^2 + \left(A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{K_E}{T_E} K_j \frac{1}{T_0} \right) s^2 \tag{12}$$

$$s^4 + s^3 + s^2 + s = 0 \tag{13}$$

Dari Persamaan (8), kita tahu bahwa salah satu nilai *eigen* atau kutub adalah nol. Misalkan kita memilih $s_4 = 0$ dan pengganti Persamaan (12), kita mendapatkan

$$s^3 = \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + s_1 + s_2 \right) s^2 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right) \tag{14}$$

Substitusi persamaan (15) dan (11) and $s_4 = 0$, kita peroleh

$$s^3 + s^2 + s = \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + s_1 + s_2 \right) s^2 + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right) \tag{15}$$

Kita dapat menulis persamaan (16), dalam bentuk sebagai kuadrat s^2 , kami memperoleh

$$s^2 + \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + s_1 + s_2 \right) s + \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right) = 0$$

atau

$$s = \frac{1}{2} \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + s_1 + s_2 \right) \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + s_1 + s_2 \right)^2 - 4 \left(\frac{B_{li}}{T_E} \frac{C_{li}}{T_0} A_{li} B_{li} + A_{li} \frac{1}{T_E} \right) s + \left(\frac{B_{li} A_{li}}{T_E} \frac{C_{li} A_{li}}{T_0} + D_{li} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K \right)} \tag{16}$$

Misalkan diberikan $s_2 < 0$ Sistem stabil jika

$$B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} + \dots > 0 \text{ @ } | \dots | < B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} \tag{17}$$

Oleh karena itu, kita bisa memilih \dots seperti yang persamaan (17) yang memenuhi, dan \dots dapat dipilih sebagai persamaan (16) dan (14). *Output feedback gain* dapat diperoleh dari persamaan(18),

$$K_j = \left(\dots A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} \right) \frac{T_0 T_E}{D_{li} K_E} \tag{18}$$

dimana A_{li}, B_{li}, C_{li} parameter, yang berisi P, Q, X_e

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi ini kita mengambil beberapa parameter dari (Yadaiah & Ramana, 2006) $\dots = 0.2; T_m = 8; x_q = 1.2; x_d = 1.8; M = 13; K_E = 20; T_E = 0.001; T_{d0} = 8;$, dengan kondisi awal $\dots = 0.3; \dots = 0.2; E_q = 0.2$ dan $E_{fd} = 0.1$. Interval keanggotaan fuzzy adalah

$$P [0.2 \ 2] Q [0.2 \ 0.4] X_e [0.2 \ 2]$$

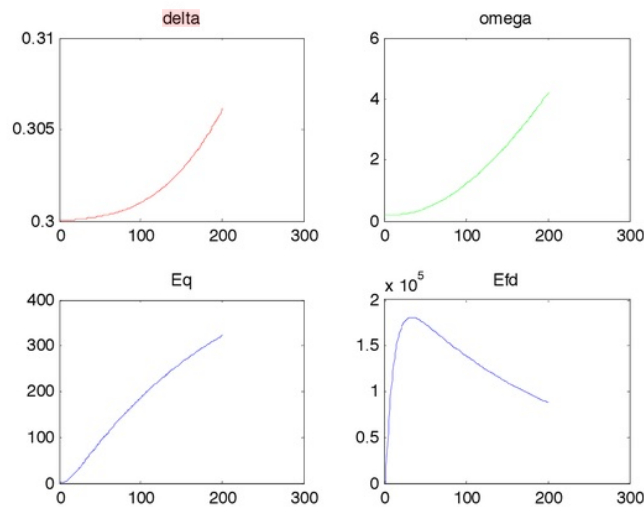
Dalam metode *pole placement*, kita memperoleh

$$\dots = \left(B_{li} + \frac{1}{T_E} A_{li} \right); 0 < \dots < 1$$

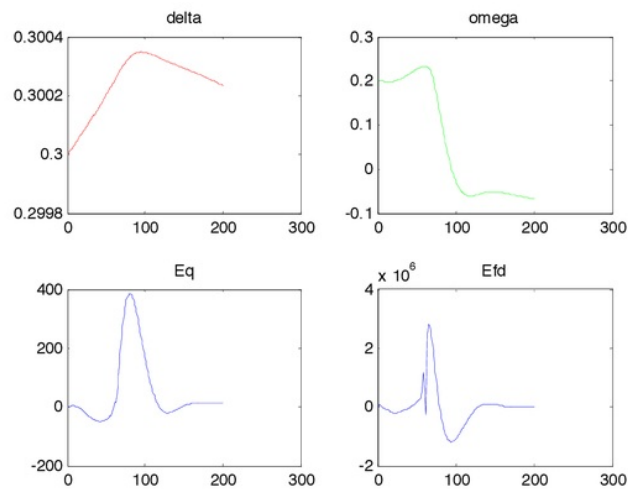
dan *output feedback gain*

$$K_{jpole} = \left(\dots + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} \ A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} \right) \frac{T_0 T_E}{D_{li} K_E}$$

Dalam makalah ini kami melakukan simulasi untuk membandingkan *performance fuzzy output feedback controller SMIB* dengan metode *pole placement*. Dari simulasi ini, kami juga menyajikan *performance* dari SMIB tanpa kontrol, dengan kontrol tanpa fuzzy, dan kontrol fuzzy. Gambar 1 - 7 adalah *performance SMIB* untuk $P = 1.8; Q = 0.2; X_e = 1.8$ dan $\dots = 0.2$. SMIB tanpa kontrol mewakili pada Gambar 1, sistem tidak stabil. Kami menerapkan *output feedback controller*, gambar 2 mewakili kinerja SMIB dengan kontrol tapi kami tidak menerapkan *fuzzy controller*.

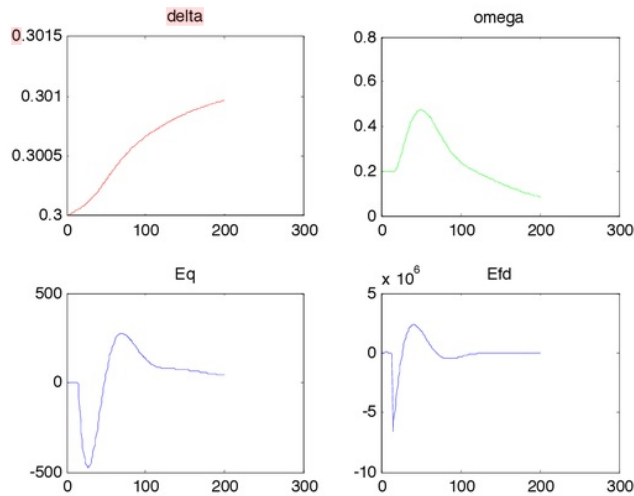


Gambar 1. SMIB Performance tanpa kontrol



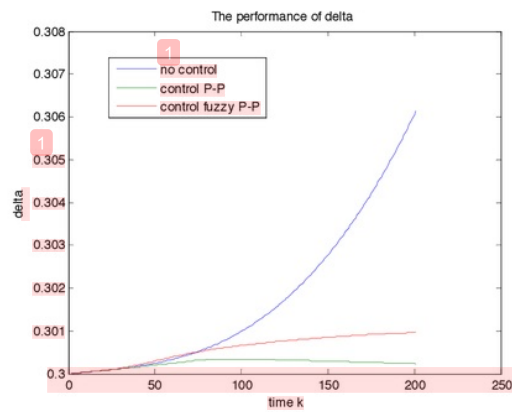
1
Gambar 2. SMIB Performance dengan kontrol Pole Placement

SMIB lebih stabil daripada tanpa kontroler, kita menggunakan metode Pole Placement untuk menentukan feedback gain. Dari Gambar 1 dan 2, kita tahu bahwa performance SMIB dengan metode Pole Placement lebih baik. Dalam simulasi terakhir, kami menerapkan hasil feedback fuzzy controller untuk SMIB, kami juga menggunakan Pole Placement untuk menentukan feedback gain, SMIB dengan output feedback fuzzy controller, gambar . 3 memiliki performance yang lebih baik dari output feedback

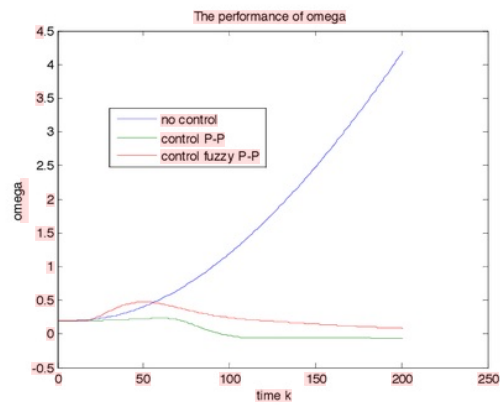


1
Gambar 3. SMIB Performance dengan fuzzy control Pole Placement

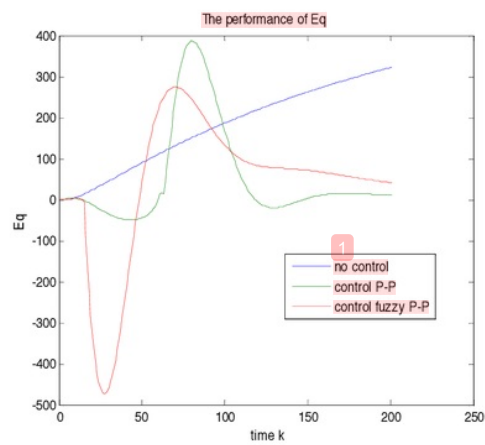
Gambar 4-7, mewakili performance δ , E_q dan E_{fd} untuk $\alpha = 0.2$ semua simulasi. Tampaknya untuk, output feedback fuzzy controller oleh Pole Placement memiliki performance terbaik dibandingkan metode lain.



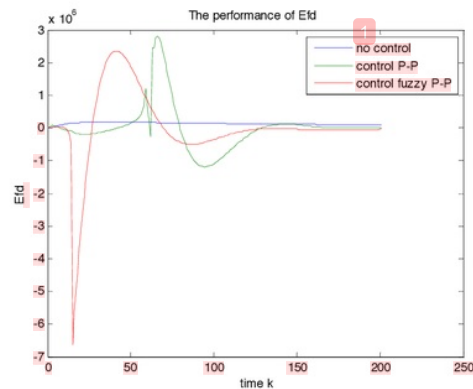
Gambar 4. The Performance of



Gambar 5. The Performance of



Gambar 6. The Performance of E_q



Gambar 7. The Performance of E_{fd}

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa

- (1) Model sistem fuzzy dapat digunakan untuk desain *controller* untuk sistem SMIB yang merupakan sistem tak linear
- (2) Nilai parameter fuzzy yang diambil adalah P, Q, X_e
- (3) *Output feedback fuzzy control* membuat SMIB lebih stabil daripada menggunakan kontrol tanpa fuzzy

DAFTAR PUSTAKA

- Peng zhao and O.P. Malik, 2009, *Design of an Adaptive PSS Based on Recurrent Adaptive Control Theory*
- Soliman, M, Elshafei, Bendary, F. and Mansour, W, 2009, *LMI static Output Feedback design of fuzzy power system stabilizers*, *Expert systems with Application* 36 pp. 6817-6825, Elsevier
- Tamaji, Musyafa, Darma A and Robandi, I, 2009, *Controller Design SMIB by Direct Feedback linearization*, presented in *Conference APTECS 2009, ITS, Surabaya, Indonesia*
- Tanaka, K. and Wang, H. O., 2001, *Fuzzy Control Systems Design and Analysis*, John Wiley & Sons, Inc
- Yadaiah, N, Ramana, N.Y., 2006, *Linearization of Multi machine Power System: modeling and Control*

DESAIN PENGENDALIAN POWER SYSTEM STABILIZER DENGAN POLE PLACEMENT FUZZY LOGIC CONTROL

ORIGINALITY REPORT

70%

SIMILARITY INDEX

69%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

8%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

jurnal.umk.ac.id

Internet Source

64%

2

Submitted to Universitas Muria Kudus

Student Paper

6%

3

Sunil Kumar Sunkara, R. Narne, P. C. Panda.

"Co-ordinated tuning of PSS with TCSC damping controller through advanced adaptive PSO for a multi-machine power system", 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, 2013

Publication

<1%

4

hypercomplex.xpsweb.com

Internet Source

<1%

5

F.A. Okou. "A robust adaptive voltage and speed regulator for multimachine power systems", Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2005

Publication

<1%

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

DESAIN PENGENDALIAN POWER SYSTEM STABILIZER DENGAN POLE PLACEMENT FUZZY LOGIC CONTROL

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8
