

# Desain Pengendalian Power System Stabilizer Dengan Pole Placement Fuzzy Logic Control

*by Ir Tamaji*

---

**Submission date:** 21-Nov-2019 03:56PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1218570812

**File name:** SYSTEM\_STABILIZER\_DENGAN\_POLE\_PLACEMENT\_FUZZY\_LOGIC\_CONTROL.pdf (2.24M)

**Word count:** 205

**Character count:** 1166

# 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

**DESAIN PENGENDALIAN POWER SYSTEM STABILIZER  
DENGAN POLE PLACEMENT FUZZY LOGIC CONTROL****Tamaji<sup>1</sup>, Achmad Shoim<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika<sup>1,2</sup> 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

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

Untuk mendesain *controller* dari sistem tak linear ada beberapa metode antara lain *adaptive controller*, *robust control*, pelinearan 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:

$$\begin{aligned}
 \dot{\bar{X}} &= AX + Bu \\
 \begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{E}_q \\ \dot{E}_{fd} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & D_1 & 0 \\ 0 & 0 & B_1 & \frac{1}{T_0} \\ 0 & 0 & C_1 & \frac{1}{T_E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X} \\ E_q \\ E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_E}{T_E} (V_{ref} - V_T) \end{bmatrix} u_{ps}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Dengan

$$A_1 = \frac{(T_m - (x_q - \dot{x}_d) I_d I_q)}{M}; B_1 = \left( \frac{1}{T_{d0}} + \frac{(x_d - \dot{x}_d) I_d}{T_{d0} E_q} \right)$$

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

$$\begin{aligned}
 &\text{IF } \dots \dots P(t) \text{ adalah..} P^- \text{ AND..} Q(t) \text{ adalah..} Q^- \text{ AND..} X_e(t) \text{ adalah..} X_e^- \\
 &\text{THEN} \dots \dots \dot{x}(t) = A_1 x(t) + B u(t) \\
 &y(t) = C x(t)
 \end{aligned}$$

Rule 2

$$\begin{aligned}
 &\text{IF } \dots \dots P(t) \text{ adalah..} P^- \text{ AND..} Q(t) \text{ adalah..} Q^- \text{ AND..} X_e(t) \text{ adalah..} X_e^+ \\
 &\text{THEN} \dots \dots \dot{x}(t) = A_2 x(t) + B u(t) \\
 &y(t) = C x(t) \\
 &\dots \dots \\
 &\dots \dots \\
 &\dots \dots
 \end{aligned}$$

Rule 8

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

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  $M_1 = \frac{Q - Q^-}{Q^+ - Q^-}$ ;  $M_2 = \frac{Q^+ - Q}{Q^+ - Q^-}$ , dan

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

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

Jika didefinisikan

$$_i = \frac{h_i}{\sum_{j=1}^8 h_j}; i = 1, 2, \dots, 8 \quad (3)$$

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

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 {}_i A_i x + Bu \quad (4)$$

Dan keluaran

$$y = Cx \quad (5)$$

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

## 2.2 Desain Controller Model Fuzzy SMIB

Kompensasi terdistribusi parallel 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 controller* yang dikonstruksi melalui PDC adalah

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

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

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 h_i (A_i - BK_j C) x_i \quad (7)$$

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

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

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

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

Karakteristik polinomial pada matriks persamaan (10) adalah

$$\begin{aligned} & \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} \right)^4 + \left( \frac{B_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii}}{T_0} - A_{ii} B_{ii} - A_{ii} \frac{1}{T_E} \right)^2 \\ & \left( \frac{B_{ii} A_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii} A_{ii}}{T_0} + D_{ii} \frac{1}{T_0} \frac{K_E}{T_E} K_j \right) = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

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*

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  maka polinomial karakteristik adalah

$$(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)(\lambda - \lambda_3)(\lambda - \lambda_4) = 0$$

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

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} \right) \quad (10)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_4 + \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_4 + \lambda_3 \lambda_4 = \left( \frac{B_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii}}{T_0} - B_{ii} A_{ii} - \frac{A_{ii}}{T_E} \right) \quad (11)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_2 \lambda_4 + \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 + \lambda_1 \lambda_3 \lambda_4 = \left( A_{ii} B_{ii} \frac{1}{T_E} - A_{ii} \frac{C_{ii}}{T_0} + D_{ii} \frac{K_E}{T_E} K_j \frac{1}{T_0} \right) \quad (12)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 = 0 \quad (13)$$

Dari Persamaan (8), kita tahu bahwa salah satu nilai eigen atau kutub adalah nol. Misalkan kita memilih  $\lambda_4 = 0$  dan pengganti Persamaan (12), kita mendapatkan

$$\lambda_3 = \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} + \lambda_1 + \lambda_2 \right) \quad (14)$$

Subtitusi persamaan (15) dan (11) and  $\lambda_4 = 0$ , kita peroleh

$$\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2) \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} + \lambda_1 + \lambda_2 \right) = \left( \frac{B_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii}}{T_0} - B_{ii} A_{ii} - \frac{A_{ii}}{T_E} \right) \quad (15)$$

Kita dapat menulis persamaan (16), dalam bentuk sebagai kuadrat  $\lambda_1$ , kami memperoleh

$$\lambda_1^2 + \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} + \lambda_2 \right) \lambda_1 + \lambda_2^2 + \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} \right) \lambda_2 + \left( \frac{B_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii}}{T_0} - B_{ii} A_{ii} - \frac{A_{ii}}{T_E} \right) = 0$$

atau

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} + \lambda_2 \right) \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} + \lambda_2 \right)^2 - 4 \left( \lambda_2^2 + \left( B_{ii} + \frac{1}{T_E} A_{ii} \right) \lambda_2 + \left( \frac{B_{ii}}{T_E} - \frac{C_{ii}}{T_0} - B_{ii} A_{ii} - \frac{A_{ii}}{T_E} \right) \right)} \quad (16)$$

Misalkan diberikan  $\lambda_2 < 0$  Sistem stabil jika

$$B_{li} + \frac{1}{T_E} - A_{li} + \gamma_2 > 0 @ | \gamma_2 | < B_{li} + \frac{1}{T_E} - A_{li} \quad (17)$$

Oleh karena itu, kita bisa memilih  $\gamma_2$  seperti yang persamaan (17) yang memenuhi, dan

$\gamma_1, \gamma_3$  dapat dipilih sebagai persamaan (16) dan (14). *Output feedback gain* dapat diperoleh dari persamaan(18),

$$K_j = \left( \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 + A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} \right) \frac{T_0 T_E}{D_{li} K_E} \quad (18)$$

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)  
 $\gamma_0 = 0.2; T_m = 8; x_q = 1.2; \dot{x_d} = 1.8; M = 13; K_E = 20; T_E = 0.001; T_{d0} = 8; \gamma = 0.3; \gamma_1 = 0.2; E_q = 0.2$  dan  $E_{fd} = 0.1$ . Interval keanggotaan fuzzy adalah

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

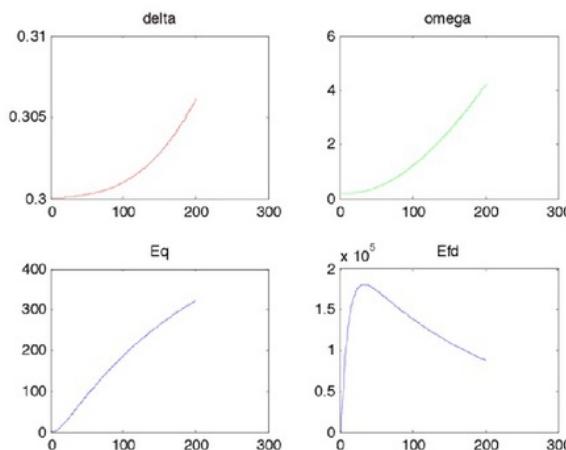
Dalam metode *pole placement*, kita memperoleh

$$\gamma_2 = \left( B_{li} + \frac{1}{T_E} - A_{li} \right); 0 < \gamma_2 < 1$$

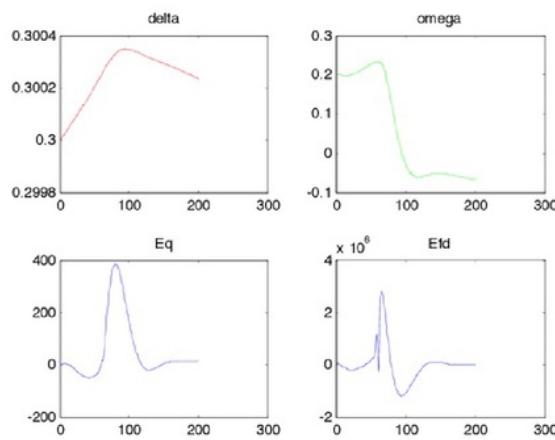
dan *output feedback gain*

$$K_{jpole} = \left( \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 + A_{li} \frac{C_{li}}{T_0} - A_{li} B_{li} \frac{1}{T_E} \right) \frac{T_0 T_E}{D_{li} K_E}$$

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  $\gamma = 0.2$ . 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.

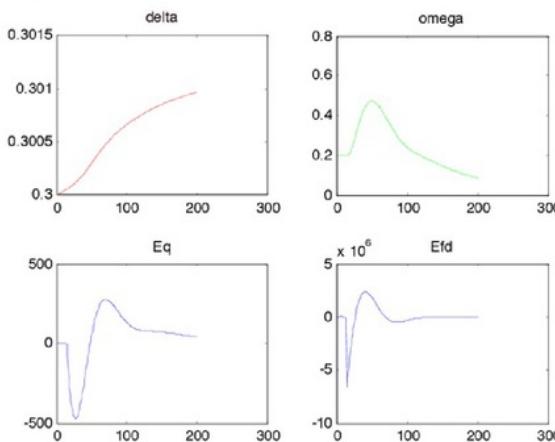


Gambar 1. SMIB Performance tanpa kontro



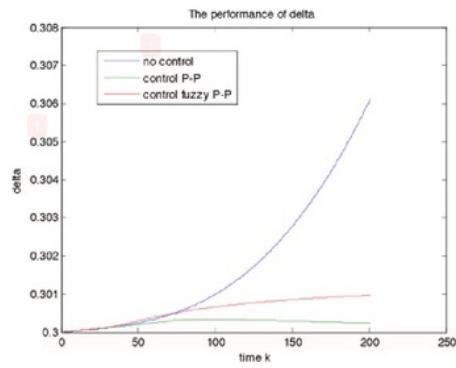
Gambar 2. SMIB Performance dengan kontrol Pole Placement

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*

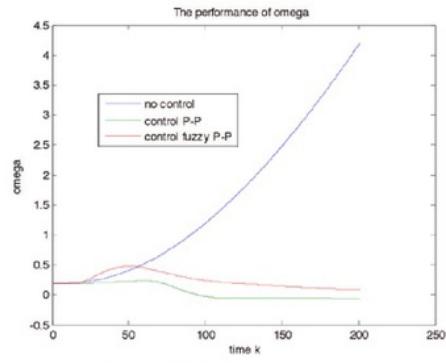


Gambar 3. SMIB Performance dengan fuzzy control Pole Placement

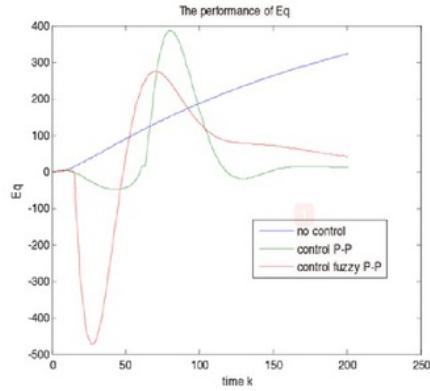
Gambar 4-7, mewakili *performance* , ,  $E_q$  dan  $E_{fd}$  untuk  $\zeta = 0.2$  semua simulasi. Tampaknya untuk, *output feedback fuzzy controller* oleh *Pole Placement* memiliki *performance* terbaik dibandingkan metode lain.

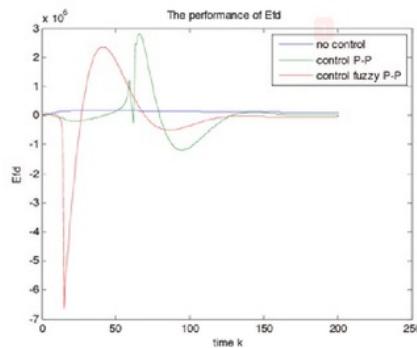


Gambar 4. The Performance of



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  $P, Q, Xe$
- (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, Elsivier  
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

---



MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

---

12%

★ Submitted to Sultan Agung Islamic University

Student Paper

---

Exclude quotes      Off  
Exclude bibliography      Off

---

Exclude matches      Off