

# Desain *Power System Stabilizer* Berbasis Fuzzy dan *Particle Swarm Optimization*

Tamaji

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Widya Kartika  
Surabaya

email : [tamajikayadi@gmail.com](mailto:tamajikayadi@gmail.com)

**Abstract**— One important factor to produce a qualified electricity is the stability of the system. An unstable system resulted an undamped oscillation of system, and the stable system can damp the oscillation quickly. Therefore, it is necessary to apply a stability device to a power system and it is called a Power System Stabilizer (PSS). One of stability design is a feedback control design. Here, in this research, the state feedback control are designed for Single Machine Infinite Bus (SMIB) . The SMIB model is non linear therefore the feedback control can't be designed directly. Some researchers do linearize the system before design the feedback control. In this research, a nonlinear model of SMIB is build in a state space form. Subsequently, a fuzzification Takagi-Sugeno is applied. The state feedback controls are applied to design the control of SMIB fuzzy system, a state feedback gain is determined using method Routh Hurwitz. The determining the parameter of state feedback gain influence the performance of SMIB. Therefore, it is important to determine the suitable parameter such that the SMIB has the optimal performance. The Particle Swarm Optimization (PSO) is applied to optimize the performance of SMIB. In these research, it is compared the performance of SMIB by applying between Routh Hurwitz, fuzzy Routh Hurwitz, *PSO fuzzy Routh Hurwitz* for state feedback control. The simulation result show that Performance of SMIB using The *PSO Fuzzy Routh Hurwitz state feedback* can improve the performance of SMIB, but the performance of  $E_{fd}$  become oscillate and this method influence by the chosen parameter.

**Keywords:** stability, PSS, fuzzy controller, Routh Hurwitz, PSO

**Abstrak**--- Salah satu faktor penting dalam menghasilkan listrik yang berkualitas adalah kestabilan sistem. Sistem yang tidak stabil akan menghasilkan osilasi yang tidak teredam dan desain kontrol dapat digunakan untuk meredam osilasi dengan cepat. Oleh karena itu diperlukan *Power System Stabilizer* (PSS) untuk desain kontrol sistem pembangkit. Salah satu desain kontrol untuk menstabilkan sistem adalah desain kontrol. Pada penelitian ini, *state feedback control* didesain untuk diterapkan pada *Single Machine Infinite Bus* (SMIB). Model matematika dari Sistem SMIB merupakan model yang tak linear oleh karena itu control feedback tidak dapat diterapkan secara langsung. Beberapa peneliti telah melakukan pelinearan pada sistem sebelum dilakukan desain *feedback control*. Pada penelitian ini telah dilakukan pembentukan tak linier model *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) dalam bentuk *state space* (ruang keadaan), diterapkan fuzzifikasi Takagi-Sugeno sehingga terbentuk model *fuzzy controller*, penentuan *state feedback gain* dengan menggunakan metode *Routh Hurwitz* pada model sistem. *State feedback gain* tersebut memuat parameter yang mempengaruhi performansi SMIB. Oleh karena itu pada penelitian ini juga dilakukan optimasi parameter yang termuat pada *feedback gain* dengan menggunakan *Partikel Swarm Optimisation* (PSO) untuk penerapan optimasi performansi SMIB. Pada penelitian ini

dihasilkan perbandingan performansi SMIB setelah dilakukan kontrol baik *state feedback* dengan menggunakan *Routh Hurwitz*, *fuzzy Routh Hurwitz*, *PSO Routh Hurwitz* dan *PSO fuzzy Routh Hurwitz* untuk *state feedback control*. Desain control dengan metode *PSO Fuzzy Routh Hurwitz state feedback* dapat memperbaiki performansi SMIB meskipun performansi  $E_{fd}$  terjadi osilasi dan sangat tergantung pada pemilihan parameter.

**Kata Kunci :** kestabilan, PSS, *fuzzy controller*, *Routh Hurwitz*, PSO

## I. 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, 2007), *adaptive control* dan *robust control* selain itu logika fuzzy juga berperan dalam meningkatkan performansi PSS (Ermanu A. Hakim, Adi Soeprijanto, Mauridhi H.P,2007). Kestabilan dan pencapaian performansi dari kontrol sistem berdasarkan model fuzzy dapat diperoleh dengan menggunakan teknik metode *Pole Placement* (Tanaka & Wang, 2001). Pada paper ini akan dikaji desain kontroler sistem pembangkit mesin tunggal dengan bus tak hingga (*single machine infinite bus*-SMIB). Model matematika dari sistem SMIB merupakan sistem tak linear (Tamaji & Imam Robandi, 2017; Soliman, 2010; Yadaiah & Ramana, 2007). Untuk mendesain PSS akan dibentuk model fuzzy T-S dengan metode *Routh Hurwitz* dari SMIB, ditentukan kondisi agar sistem stabil, desain *state feedback* serta simulasi menggunakan PSS untuk menganalisa performansi SMIB.

## II. 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<sub>e</sub>, jenis fuzzy yang digunakan adalah Fuzzy T-S. Dalam menentukan *gain* F dengan metode yang akan digunakan yaitu metode kestabilan *Routh Herwitz* serta optimasi menggunakan PSO

**2.1 Pemodelan Sistem SMIB**

Sistem SMIB terdiri dari beberapa model untuk tak Inier yaitu dinamika sinkronisasi pembangkit (Soleman, 2009)

$$\begin{aligned} \dot{\delta} &= \omega\omega_0 \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{M}(T_m - (E'_q I_q + (x'_d - x'_q)I_d I_q)) \\ \dot{E}'_q &= \frac{1}{T_{d0}} [(-E'_q + (x'_d - x'_q)I_d) + E_{fd}] \\ \dot{E}'_{fd} &= -\frac{1}{T_E} E_{fd} + \frac{K_E}{T_E} [V_{ref} - V_T + U_{pss}] \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan

- $\delta$  : Sudut rotor,
- $\omega$  : Kecepatan sudut,
- $E'_q$  : Tegangan generator
- $E'_{fd}$  : Tegangan medan generator

Maka model SMIB pada persamaan (1) dapat dituliskan dalam bentuk ruang keadaan (*state space*)

$$\begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \dot{\omega} \\ \dot{E}'_q \\ \dot{E}'_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & -D_1 & 0 \\ 0 & 0 & -B_1 & \frac{1}{T_0} \\ 0 & 0 & C_1 & -\frac{1}{T_E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \\ E'_q \\ E'_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_E}{T_E} \end{bmatrix} u_{pss} \quad (2)$$

Dengan

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{M\omega} \left( T_m - (x'_d - x'_q)K_2 \left( \left( Q + \frac{V_s^2}{x'_{d\alpha}} \right) \frac{x'_{d\epsilon}}{E'_q} - E'_q \right) K_1 \frac{Px'_{d\epsilon}}{E'_q} \right); \\ B_1 &= -\frac{1}{T_{d0}} + \frac{1}{T_{d0}E'_q} (x'_d - x'_q)K_2 \left( \left( Q + \frac{V_s^2}{x'_{d\alpha}} \right) \frac{x'_{d\epsilon}}{E'_q} - E'_q \right); \\ C_1 &= \frac{K_E}{T_E E'_q} (V_{ref} - V_T) \\ D_1 &= \frac{Px'_{d\epsilon}}{E'_q X_e M} - \frac{V_d}{X_e M} \end{aligned}$$

Dan  $K_1; K_2$  memuat parameter fuzzy  $X_e$ .

Secara umum persamaan 3.5. dapat ditulis menjadi

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3)$$

dengan

$$X = \begin{bmatrix} \delta & \omega & E'_q & E'_{fd} \end{bmatrix}^T;$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & -D_1 & 0 \\ 0 & 0 & -B_1 & \frac{1}{2.3T_0} \\ 0 & 0 & C_1 & -\frac{1}{2.3T_E} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_E}{T_E} \end{bmatrix}$$

Misalkan *ouput* yang diperoleh adalah  $y = \omega$

Maka persamaan *ouput* dapat dituliskan menjadi  $y = CX$  (4)

Dengan  $C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ .

Sistem SMIB merupakan sistem tak linear sehingga beberapa desain kontroler tidak dapat langsung diterapkan, tetapi perlu dilakukan pelinearan terlebih dahulu. Pada penelitian ini model tidak dilinierkan tetapi dilakukan pendekatan dengan menggunakan fuzzy sehingga sistem akan menjadi *piecewise linear*. Desain kontroler diterapkan pada sistem setelah dilakukan fuzzifikasi.

**2.2 Desain Kontrol**

Perkembangan desain kontrol dari sistem dinamik berkembang sangat cepat antara lain metode *feedback control*, PID, SMC, H-infinity dan lain-lain. Pada disertasi ini dibatasi pada pembahasan desain kontrol dengan membentuk *feedback controller* yaitu *state feedback control* Misalkan diberikan sistem

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

dengan

*output* atau keluaran

$$y = Cx$$

Desain kontrol dengan menggunakan *state feedback control* dilakukan dengan cara memberikan variabel kontrol  $u = -Fx$ , dengan  $F$  merupakan *state feedback gain*. Persamaan (3) dapat dituliskan menjadi

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax - BFx \\ \text{atau} \\ \dot{x} &= (A - BF)x \end{aligned} \quad (5)$$

Sehingga desain kontrol dengan menggunakan *state feedback gain*, berarti menentukan *feedback gain*,  $F$  sehingga sistem (5) stabil.

**2.3 Model SMIB Fuzzy Takagi Sugeno**

Pada kasus ini yang dibentuk Fuzzy Takagi Sugeno dalam variabel fuzzy adalah *active power*, *reactive power* dan *tie-line reactance*, yaitu  $P, Q, X_e$ .

Misalkan masing-masing variabel fuzzy berada dalam interval

$$P \in [P^- \ P^+]; Q \in [Q^- \ Q^+]; X_e \in [X_e^- \ X_e^+]$$

sehingga diperoleh 8 kemungkinan keadaan variable fuzzy yaitu  $P^-, Q^-, X_e^-, P^-, Q^-, X_e^+, P^-, Q^+, X_e^-, P^-, Q^+, X_e^+, P^+, Q^-, X_e^-, P^+, Q^-, X_e^+, P^+, Q^+, X_e^-, P^+, Q^+, X_e^+$  dan diperoleh 8 aturan fuzzy sebagai berikut:

Model aturan ke 1

*IF*  $P(t)$  is  $P^-$  *AND*  $Q(t)$  is  $Q^-$  *AND*  $X_e(t)$  is  $X_e^-$

*THEN*  $\dot{x}(t) = A_1x(t) + Bu(t)$

$y(t) = Cx(t)$

Model aturan ke 2

*IF*  $P(t)$  is  $P^-$  *AND*  $Q(t)$  is  $Q^-$  *AND*  $X_e(t)$  is  $X_e^+$

*THEN*  $\dot{x}(t) = A_2x(t) + Bu(t)$

$y(t) = Cx(t)$

.....

Model aturan ke 8

*IF*  $P(t)$  is  $P^+$  *AND*  $Q(t)$  is  $Q^+$  *AND*  $X_e(t)$  is  $X_e^+$

*THEN*  $\dot{x}(t) = A_8x(t) + Bu(t)$

$y(t) = Cx(t)$

Didefinisikan fungsi keanggotaan  $P$  adalah

$$L_1 = \frac{P - P^-}{P^+ - P^-}; L_2 = \frac{P^+ - P}{P^+ - P^-}$$

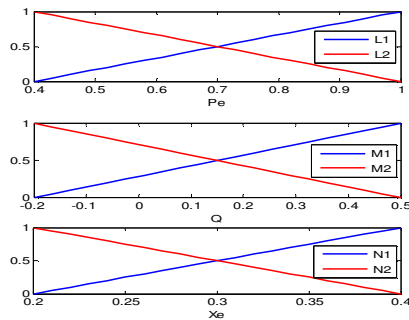
Sedangkan fungsi keanggotaan  $Q$  adalah

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

dan fungsi keanggotaan  $X_e$  adalah

$$N_1 = \frac{X_e - X_e^-}{X_e^+ - X_e^-}; N_2 = \frac{X_e^+ - X_e}{X_e^+ - X_e^-}$$

Fungsi keanggotaan dari  $P, Q, X_e$  dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 1. Fungsi keanggotaan dari  $P, Q, X_e$

Misalkan

$$h_1 = L_1M_1N_1; h_2 = L_1M_1N_2; h_3 = L_1M_2N_1; h_4 = L_1M_2N_2$$

$$h_5 = L_2M_1N_1; h_6 = L_2M_1N_2; h_7 = L_2M_2N_1; h_8 = L_2M_2N_2$$

Jika didefinisikan

$$\xi_i = \frac{h_i}{\sum_{j=1}^8 h_j}; i = 1, 2, \dots, 8 \tag{6}$$

maka sistem ruang keadaan pada persamaan (5) dapat ditulis dalam model fuzzy

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^8 \xi_i (A_i x_i + Bu) \tag{7}$$

Dan keluaran

$$y = Cx_i \tag{8}$$

Selanjutnya, desain kontroler didasarkan pada model fuzzy pada persamaan (7) dan (8) yang dikenal dengan nama kompensasi terdistribusi paralel (*Parallel Distributed Compensation-PDC*)

### 2.4 Kestabilan

Analisa kestabilan sistem dinamik linear dapat dilakukan dengan cara membentuk tabel *Routh Hurwitz* yang didasarkan pada persamaan karakteristik sistem tanpa perlu mengetahui nilai eigen ( $\lambda$ ) matriks  $A$ . Misalkan

$$\det(\lambda I - A) = a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + a_2 \lambda^{n-2} + a_3 \lambda^{n-3} + \dots + a_{n-1} \lambda + a_n$$

maka dapat dibentuk Tabel *Routh Hurwitz* sebagai berikut

Tabel 1. Tabel *Routh Hurwitz*

$a_0$	$a_2$	$a_4$	. . .	0
$a_1$	$a_3$	. . .	$a_n$	0
$b_1$	$b_2$	$b_3$		0
$c_1$	$c_2$	$c_3$		0
$d_1$		0		
$e_1$		0		
$f_1$				

$$\text{dengan } b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}; b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1};$$

$$b_3 = \frac{a_1 a_6 - a_0 a_7}{a_1} \dots$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}; c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1}; c_3 = \frac{b_1 a_7 - a_1 b_4}{b_1} \dots$$

$$d_1 = \frac{c_1 b_2 - b_1 c_2}{c_1}; d_2 = \frac{c_1 b_3 - b_1 c_3}{c_1} \dots$$

$$e_1 = \frac{d_1 c_2 - c_1 d_2}{d_1}$$

$$f_1 = \frac{e_1 d_2 - d_1 e_2}{e_1} \text{ dan seterusnya.}$$

Sistem dikatakan stabil jika kolom pertama dari tabel *Routh Hurwitz* mempunyai tanda yang sama [Ogata, 2010].

Pada metode *Routh Hurwitz* diberikan *feedback gain*

$$F_j = (F_{1j} \quad F_{2j} \quad F_{3j} \quad F_{4j}) \text{ dengan}$$

$$F_{1j} = -\left(\omega_0 D_{li} \frac{K_E}{T_E T_0}\right)$$

$$F_{3j} = \tau;$$

$$F_{4j} = \alpha_R \left( A_{li} - B_{li} - \frac{1}{T_E} \right) \frac{T_E}{K_E}; \tau, \alpha_R$$

sebagai parameter ditentukan. dan

$$\gamma = B_{li} - A_{li} + \eta; \eta = \frac{1}{T_E} + \frac{K_E}{T_E} F_{4j};$$

$$F_{2j} = \alpha_R \left( -A_{li} B_{li} \eta + \frac{1}{T_0} A_{li} \left( -C_{li} + \frac{K_E}{T_E} \tau \right) - \gamma B_{li} \eta + \right.$$

$$\left. \frac{1}{T_0} \gamma \left( -C_{li} + \frac{K_E}{T_E} \tau \right) + A_{li} \gamma^2 \right) \frac{T_0 T_E}{D_{li} K_E}$$

### 2.5 Particle Swarm Optimization

Metode PSO diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhard pada tahun 1995. PSO terinspirasi oleh kegiatan atau pola dari sekelompok burung saat mencari makanan. Sejumlah ilmuwan telah melakukan simulasi komputer dari berbagai penafsiran terhadap gerakan organisme seperti kawanan burung maupun ikan yang sedang mencari makan (Nedjah, 2006). PSO merupakan teknik optimisasi yang berbasis pada populasi dan PSO diawali dengan menyebarkan sekelompok populasi partikel pada suatu ruang permasalahan. Partikel-partikel yang disebar ini kemudian disebut sebagai *swarm*. Partikel ini menyimpan informasi tentang keberadaannya dan potensi nilai yang dihasilkan dengan keberadaan tersebut.

Partikel akan memberikan informasi satu sama lain, sehingga dari informasi yang diperoleh ini akan diketahui partikel mana yang menempati lokasi dengan hasil paling optimal pada suatu pergerakan. Dari informasi yang diperoleh ini partikel lain kemudian akan bergerak menuju lokasi tersebut berdasarkan suatu fungsi gerak yang disebut *velocity* (Nedjah, 2006). Sebuah partikel yang bergerak akan belajar dari pengalaman partikel yang terdahulu, setiap partikel akan selalu mengatur posisi diri sendiri berdasarkan pada pengalaman dari partikel sekitar. Informasi ini akan terus disebar, karena partikel-partikel ini akan terus bergerak untuk mendapatkan posisi dengan nilai fungsi hasil yang paling optimum. Sehingga pada akhirnya tidak akan diperoleh hasil yang lebih optimum lagi, meskipun partikel tetap bergerak.



Gambar 2. Pola dari sekelompok burung saat mencari makanan. (Nedjah, 2006).

Konsep matematika pada proses pencarian penyelesaian optimal berdasar PSO adalah

Persamaan *updating* kecepatan

$$v_i^{k+1} = \phi^k v_i^k + \alpha_1 (\gamma_{1i} (p_i - x_i^k)) + \alpha_2 (\gamma_{2i} (G - x_i^k)) \quad (9)$$

Persamaan *updating* posisi

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1}$$

2.58

Dengan  $i$  : indeks partikel

$k$  : waktu diskrit

$v$  : kecepatan partikel

$x$  : posisi partikel

$p$  : posisi terbaik oleh partikel

$G$  : posisi terbaik oleh populasi

$\gamma_{1,2}$  : bilangan random besarnya antara 0 dan 1

$\alpha_{1,2}$  : konstanta percepatan

$\phi$  : fungsi inersia (proses *training* untuk menurunkan kecepatan)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

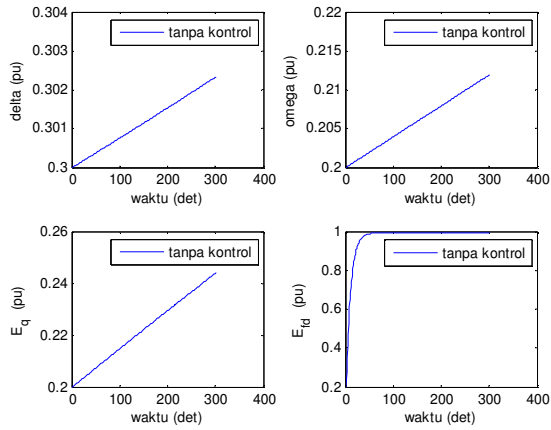
Pada bab ini dibahas tentang performansi SMIB sebagai hasil simulasi penerapan *state feedback control* dan penerapan optimasi PSO pada masing-masing metode desain kontrol. Pada penelitian ini dilakukan simulasi performansi sistem SMIB setelah dilakukan desain kontroler yang berupa *state feedback controller* pada kontroler tersebut ditentukan dengan menggunakan metode *Routh Hurwitz*. Simulasi pada penelitian ini nilai parameter diambil dari Yadaidah, [Yadaidah, 2007], yaitu

$$\omega_0 = 0.377; T_m = 8; x_q = 1.7; x_d = 1.8; M = 13; K_E = 0.0001;$$

$$T_E = 0.001; T_{d0} = 8; \text{ dengan kondisi awal}$$

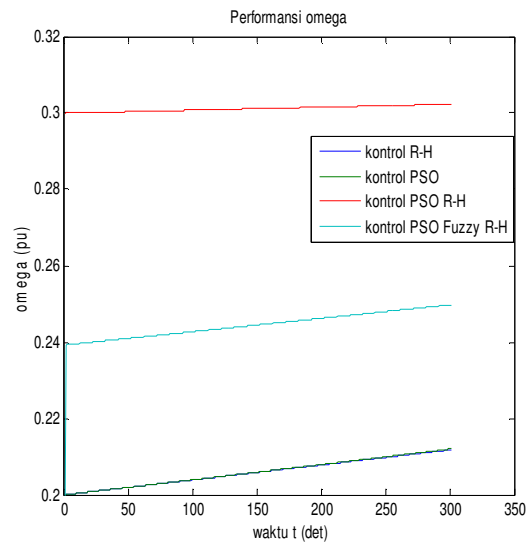
$$\delta(0) = 0.3; \omega(0) = 0.2; E_q(0) = 0.2 \text{ dan } E_{fd}(0) = 0.2.$$

Berdasarkan parameter-parameter tersebut, untuk sistem tanpa kontrol ( $U_{ps} = 0$ ), perilaku dinamik SMIB tanpa kontrol digambarkan pada gambar 3.

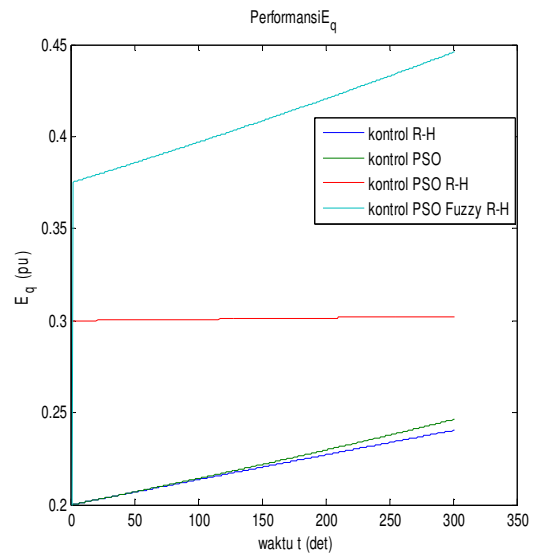


Gambar 3. Performansi SMIB tanpa kontrol

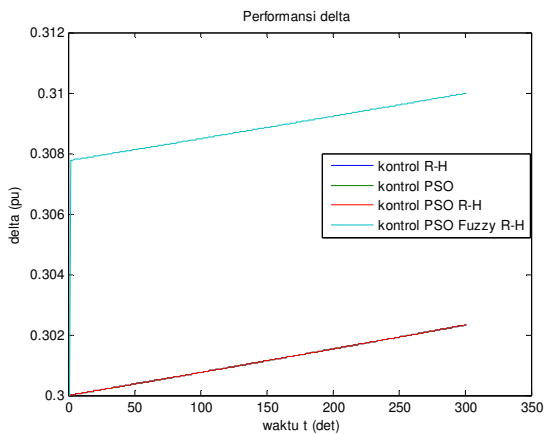
Pada gambar 3. tampak bahwa  $\delta, \omega, E_q$  divergen,  $\delta$  menuju 0.3023 ;  $\omega$  menuju 0.2118,  $E_q$  menuju 0.2437 sedangkan pada  $E_{fd}$  menuju 0.9930 pada waktu 50. Hal ini sesuai dengan nilai eigen dari sistem sebelum dikontrol yaitu  $[0 \ 2.1335 \ 5.4407 \ -999.99964]$ . Untuk memperbaiki performansi tersebut akan dilakukan desain kontrol. Simulasi selanjutnya optimasi PSO diterapkan pada desain kontrol *Routh Hurwitz state feedback* yang dikenal dengan nama *Fuzzy Routh Hurwitz state feedback control*. Hasil simulasi desain kontrol dengan metode *PSO Fuzzy Routh Hurwitz* disajikan pada gambar 4. a-d. dan 5.a-d



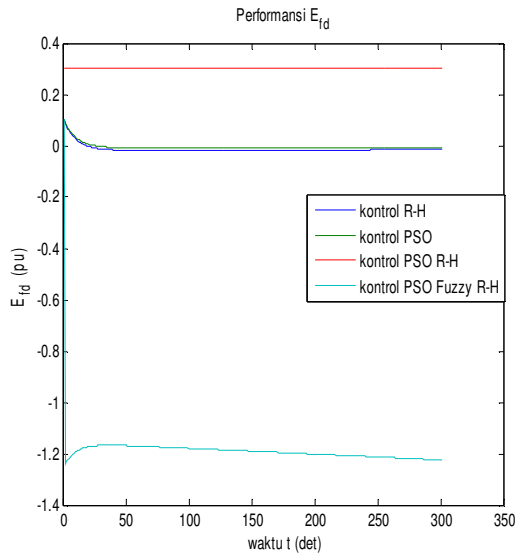
b. Performansi  $\omega$  dengan PSO pada Routh Hurwitz



c. Performansi  $E_q$  dengan PSO pada Routh Hurwitz

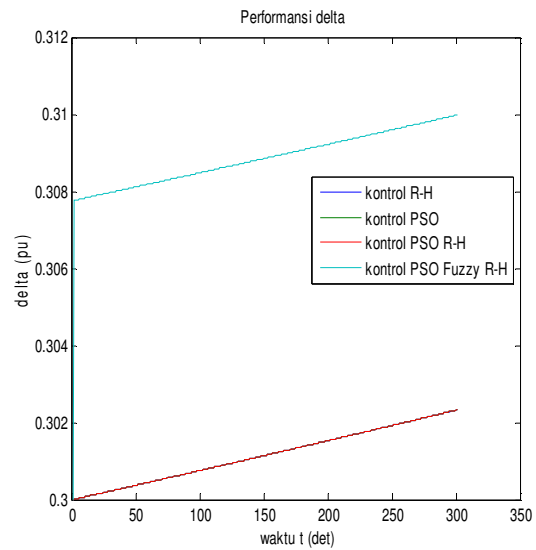


a. Performansi  $\delta$  dengan PSO pada Routh Hurwitz



d. Performansi  $E_{fd}$  dengan PSO pada Routh Hurwitz

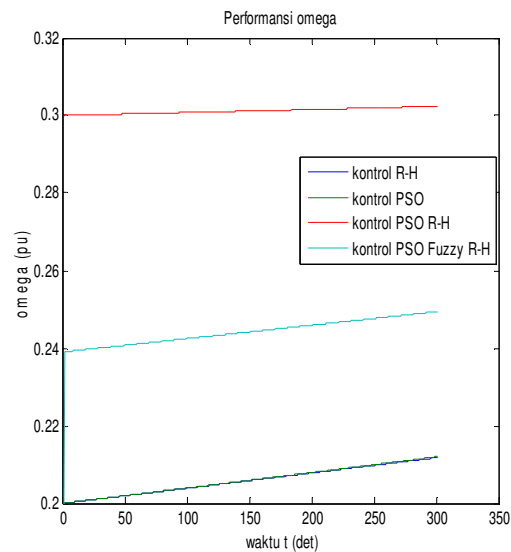
Gambar 4a-d. Performansi SMIB state feedback control dengan PSO Routh Hurwitz dengan fuzzy untuk  $P = 0.8; Q = 0.3; X_e = 0.3$  dan  $\tau, \alpha_R \in [0.000001 \ 0.0001]$



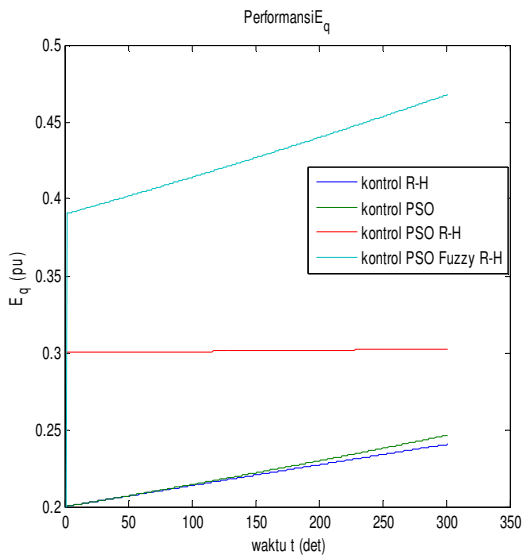
a. Performansi  $\delta$  dengan PSO Fuzzy Routh Hurwitz

Pada gambar 4.a-d. tampak bahwa metode Routh Hurwitz, PSO, dan PSO Routh Hurwitz mengakibatkan variabel  $\delta$  secara linear menuju 0.3024, sedangkan metode PSO Fuzzy Routh Hurwitz menyebabkan variabel  $\delta$  menuju 0.308 dalam waktu singkat dan selanjutnya menuju 0.31. Variabel  $\omega$  menuju 0.212 dengan menggunakan metode Routh Hurwitz dan PSO, metode PSO Routh Hurwitz mengakibatkan kenaikan nilai  $\omega$  menjadi 0.3 dalam waktu singkat dan tetap disekitar 0.3, sedangkan metode PSO Fuzzy Routh Hurwitz menyebabkan  $\omega$  menuju 0.24 dalam waktu singkat dan selanjutnya menuju 0.25. Performansi variabel  $E_q$  dan  $E_{fd}$  untuk metode Routh Hurwitz dan PSO adalah hampir sama, masing-masing menuju 0.248 dan 0, metode PSO Routh Hurwitz menyebabkan  $E_q$  dan  $E_{fd}$  stabil disekitar 0.3, sedangkan metode PSO Fuzzy Routh Hurwitz menyebabkan variabel  $E_q$  menuju 0.37 dalam waktu singkat dan selanjutnya menuju 0.45, variabel  $E_{fd}$  menuju -1.2 dalam waktu singkat dan tetap disekitar -1.2.

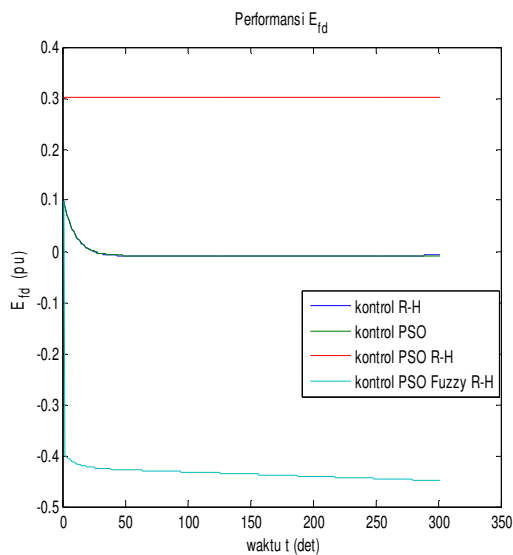
Selain itu juga dilakukan simulasi untuk interval parameter optimasi. Hasil simulasi untuk parameter ini disajikan pada gambar 5.a-d.



b. Performansi  $\omega$  dengan PSO Fuzzy Routh Hurwitz



c. Performansi  $E_q$  dengan PSO Fuzzy Routh Hurwitz



d. Performansi  $E_{fd}$  dengan PSO Fuzzy Routh Hurwitz

Gambar 5 .a-d. Performansi SMIB state feedback control dengan PSO Routh Hurwitz dengan fuzzy untuk  $P = 0.8; Q = 0.3; X_e = 0.3$  dan

$$\tau, \alpha_r \in [0.00001 \ 0.01]$$

Pada simulasi dengan interval parameter fuzzy  $\tau, \alpha_r \in [0.00001 \ 0.01]$ , berarti memperbesar nilai parameter feedback gain. Dari hasil simulasi pada gambar 5.a-d. tampak bahwa performansi SMIB hampir sama dengan simulasi sebelumnya (gambar 4.a-d), hanya nilai variabel  $E_{fd}$  menuju nilai yang lebih kecil yaitu -0.4 dalam waktu

singkat dan selanjutnya menuju 0.452 untuk metode PSO Fuzzy Routh Hurwitz. Jadi dengan menaikkan interval parameter optimasi menyebabkan performansi SMIB menjadi lebih baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pada pembahasan bab 3 dapat disimpulkan bahwa

1. State feedback control dapat digunakan desain kestabilan untuk sistem SMIB.
2. State Feedback control menghasilkan performansi  $\delta$  dan  $\omega$  yaitu naik secara linear.
3. Sedangkan untuk variabel  $E_q'$  dan  $E_{fd}'$  desain kontrol fuzzy Routh Hurwitz state feedback menyebabkan perubahan performansi dengan adanya perubahan parameter feedback gain.
4. PSO Routh Hurwitz state feedback control dapat memperbaiki performansi SMIB pada variabel  $E_{fd}$
5. SMIB dengan menggunakan metode PSO Fuzzy Routh Hurwitz state feedback control menyebabkan performansi  $E_{fd}$  stabil tergantung pada pemilihan parameter optimasi.

REFERENSI

[1] Tamaji, Musyafa, A., Darma, A. and Robandi, I., (2009), "Controller Design SMIB by Direct Feedback Linearization", Proceedings of National Seminar on Technology, Science and Arts, pp. 2007-2010.

[2] Yadaiah, N., Ramana, N. Y., (2007), "Linearization of multimachine Power System: Modeling and Control", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 29, pp. 297-311.

[3] Ermanu A. Hakim, Adi Soeprijanto, Mauridhi H.P., (2007), "PSS Design Based on PD and PI Fuzzy Controller by Particle Swarm Optimization", Proceedings of International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), ITB Indonesia,

[4] Tanaka, K. and Wang, H. O., (2001), Fuzzy Control Systems Design and Analysis, John Wiley and Sons.Inc.

[5] Tamaji and Imam Robandi, (2017), "Routh Hurwitz and Pole Placement Fuzzy Logic Control for Power System Stability Improvement", International Review of Automatic Control (IREACO), Vol 10, No 1, pp. 40-48.

[6] Soliman, M., Elshafei, A.L., Bendary, F., Mansour, W., (2010), "Robust decentralized PID based power system stabilizer design using an ILM approach", Electrical Power System Research Vol 80 (12) 1488-1497,

- [7] Soliman, M, Elshafei, Bendary,F. and Mansour, W., (2009), “ *LMI static Output Feedback Design of Fuzzy Power Ssystem Stabilizers*”, *Expert systems with Application* 36 pp. 6817-6825, Elsiwier.
- [8] Ogata, K. (2010), *Modern Control Engineering*, Prentice Hall.
- [9] Nadjah,N.and Mourelle, L.M.,2006),*Swarm Intellegent System*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.