

# DESIGN POWER SYSTEM STABILIZER MENGUNAKAN FUZZY LOGIC

Ivo Salvador Soares Miranda,<sup>1</sup> I Made Mataram<sup>1</sup>, I Nyoman Setiawan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2014

Email: [mirandaivo77@yahoo.com](mailto:mirandaivo77@yahoo.com)

## Abstrak

*Stabilitas merupakan kemampuan sistem untuk menjaga kondisi operasi seimbang dan kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Penerapan power system stabilizer pada sistem tenaga mampu memberikan sinyal respon yang cepat atas berbagai kondisi gangguan dan mengupayakan tidak meluasnya jangkauan gangguan. Dalam mendesign power system stabilizer menggunakan robust fuzzy logic, menggunakan satu sinyal input yaitu kecepatan deviasi rotor. Hasil simulasinya dibandingkan dengan metode fuzzy logic dan konvensional. Studi simulasi menunjukkan, design power system stabilizer menggunakan robust fuzzy logic memiliki nilai sinyal peak time dan settling time relatif kecil dibandingkan dengan metode fuzzy logic dan konvensional.*

**Keywords-** Fuzzy Logic, PID, Power System Stabilizer, Robust Control

## 1. PENDAHULUAN

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan stabil bila seluruh variable keadaannya stabil baik tegangan bus, sudut generator, atau frekwensi sistem. Bila sistem menjadi tidak stabil, maka kestabilan tersebut bisa dimanifestasikan melalui cara-cara berbeda tergantung pada sifat dari sistem, kondisi operasi, serta pada sifat dan lokasi yang memulai gangguan. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik pada setiap saat akan selalu terjadi perubahan beban dalam sistem. Perubahan tersebut mengharuskan setiap pembangkit menyesuaikan daya keluarannya melalui kendali governor maupun eksitasi mengikuti perubahan beban dalam sistem. Karena apabila terjadi fluktuasi beban maka eksitasi sebagai pengendali akan berfungsi mengontrol keluaran generator seperti tegangan maupun faktor daya dengan cara mengatur kembali besaran-besaran input guna mencapai titik keseimbangan baru. Bila arus eksitasi naik maka daya reaktif yang disalurkan akan berkurang, jika arus eksitasi yang diberikan terlalu kecil, aliran daya reaktif akan berbalik dari sistem menuju ke generator sehingga generator menyerap daya reaktif dari sistem. Keadaan ini sangat berbahaya

karena akan menyebabkan pemanasan yang berlebihan pada stator[1][2].

Salah satu masalah stabilitas yang paling penting yang timbul dari interkoneksi sistem tenaga listrik yang berskala besar adalah osilasi frekwensi rendah dari sistem yang telah terinterkoneksi. Osilasi disebabkan oleh karena tidak cukupnya torsi redaman dalam unit generator sinkron. Hal ini juga diketahui bahwa keseluruhan sistem tenaga dapat ditingkatkan dengan menerapkan sinyal kendali tambahan pada loop pengendali eksitasi generator yang sering dikenal dengan *power system stabilizer*[1][2]. Fuzzy kontrol tampaknya yang menjadi lebih tepat karena ketahanan dan beban komputasi yang lebih rendah. *Fuzzy logic controller* dapat dengan mudah dibangun oleh mikrokomputer yang sederhana. Sinyal stabilitas tambahan ditentukan dengan menggunakan keanggotaan fuzzy.

Makalah ini menyajikan suatu stabilisator system tenaga listrik dengan *fuzzy logic controller* untuk memperbaiki setiap perubahan kapasitas beban dalam system dengan mengatur governor dan eksitasi pada generator. Sinyal kontrol diberikan untuk

jumlah titik dari unit AVR dan akan memberikan torsi redaman yang cukup untuk unit generator sinkron.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, pada setiap saat akan selalu terjadi perubahan kapasitas dan letak beban dalam system. Perubahan tersebut mengharuskan setiap pembangkit menyesuaikan daya keluarannya melalui kendali governor maupun eksitasi mengikuti perubahan beban sistem. Jika hal ini tidak dilakukan, maka akan menyebabkan keseimbangan daya pada sistem terganggu dan efisiensi pengoperasian sistem menurun sehingga kinerja sistem memburuk.

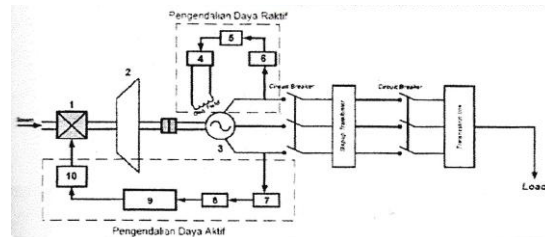
Kecepatan pembangkit memberi reaksi terhadap perubahan yang terjadi dalam sistem menjadi factor penentu kestabilan sistem. Kestabilan mesin pembangkit sangat tergantung pada kemampuan sistem kendalinya. Sistem kendali yang andal jika mampu mengendalikan mesin tetap beroperasi normal mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi dalam sistem. Jika semua mesin tetap beroperasi dalam kondisi dalam kondisi normal meskipun ada gangguan, maka sistem tersebut akan benar-benar stabil.

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari unit-unit pembangkit yang terhubung dengan saluran untuk melayani beban. Sistem tenaga listrik yang memiliki banyak mesin biasanya menyalurkan daya ke beban melalui saluran interkoneksi, tujuannya adalah untuk menjaga kontinuitas dan ketersediaan tenaga listrik terhadap kebutuhan beban yang terus meningkat. Semakin berkembang sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan lemahnya performansi ketika mengalami gangguan. Salah satu efek gangguan adalah osilasi elektromekanik yang jika tidak diredam dengan baik maka system akan terganggu dan dapat keluar dari area kestabilannya sehingga mengakibatkan pengaruh yang lebih buruk seperti pemadaman total (*black out*).

### B. Pengendalian Sistem Tenaga Listrik

Pengendalian sistem tenaga listrik dewasa ini berkembang sangat pesat baik dalam ilmu dan teknologi maupun dalam dunia industry. Perkembangan ini dirasakan pula pihak pemasok daya listrik dalam mengatur suplainya ke beban. Hal ini terlihat dengan penggunaan peralatan kontrol baik disisi pembangkitan, saluran transmisi dan sisi beban. Peralatan kontrol untuk pembangkitan

biasanya digunakan untuk mengatur suplai daya aktif dan reaktif. Perubahan beban yang terjadi sangat berpengaruh terhadap perubahan frekuensi dan tegangan. Naik turunnya frekuensi tergantung perubahan daya aktif, demikian halnya dengan tegangan tergantung pada perubahan daya reaktif.



Gambar 1. Skematik pengendalian daya aktif dan daya reaktif (Hadi Saadat, 1999).

Keterangan:

1. Katup
2. Turbin
3. Generator
4. Sistem eksitasi
5. Automatic Voltage Regulator (AVR)
6. Sensor Tegangan
7. Sensor Frekuensi
8. Load Frequency Control
9. governor

### C. Konsep Dasar PSS

Sistem daya secara umum dapat digambarkan sebagai sebuah persamaan aljabar dan persamaan diferensial non-linear sebagai berikut:

$$d \frac{x}{dt} = f(x, z) \quad [1]$$

$$y = h(x, z) \quad [2]$$

$$0 = y(y, z) \quad [3]$$

Dimana:

$x$  = variabel keadaan

$y$  = injeksi daya aktif dan reaktif

$z$  = besaran tegangan dan sudut rotor

Analisis dapat dilakukan dengan melinearkan system persamaan disekitar titik operasi:

$$x = x(0) + \Delta x \quad [4]$$

$$y = y(0) + \Delta y \quad [5]$$

$$z = z(0) + \Delta z \quad [6]$$

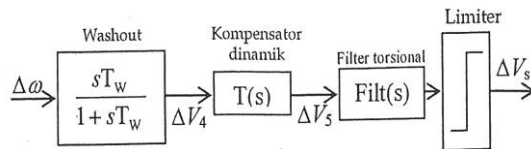
sehingga diperoleh persamaan state space berikut:

$$\Delta x = A \Delta x \quad [7]$$

Dimana  $\Delta x$  = variabel sistem berdimensi  $n \times 1$   
 $A$  = matriks sistem.

#### D. Penelaan PSS

Diagram blok PSS terdiri dari rangkaian washout, kompensator dinamik, filter torsional dan limiter.

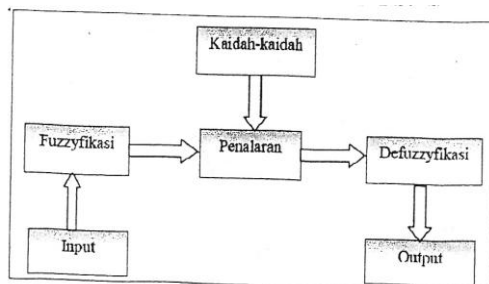


Gambar 2. Diagram Blok PSS

#### E. Cara Kerja Fuzzy Logic

Dalam sistem kontrol logika fuzzy terdapat beberapa tahapan operasional yang meliputi:

1. Fuzzifikasi  
 Fuzzifikasi adalah suatu proses pengubahan nilai tegas/ real yang ada ke dalam fungsi keanggotaan.
2. Penalaran (*Inference Machine*).  
 Merupakan proses implikasi menalar nilai masukan guna penentuan nilai keluaran sebagai bentuk pengambilan keputusan. Salah satu model penalaran yang banyak dipakai adalah penalaran max-min.
3. Aturan dasar (*Rule Based*).  
 Merupakan suatu bentuk aturan relasi/implikasi "Jika-Maka" atau "If Then" seperti pada pernyataan berikut: "Jika" XA dan "Jika" Y=B "Maka" Z'=C.
4. Defuzzifikasi  
 Merupakan proses pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas (crisp). Proses ini merupakan kebalikan dan proses fuzzifikasi.



Gambar 3. Proses Fuzzy Inference (Agus Naba, 2009).

Pada proses dimulai dan inputan data, kemudian data tersebut di fuzzikan (pengubahan nilai tegas/real kedalam fungsi keanggotaan), kemudian proses menalar nilai masukan guna penentuan nilai keluaran sebagai bentuk pengambilan keputusan. Kemudian nilai tersebut harus berdasarkan kaidah-kaidah rule yang ada. Kemudian tahap akhir adalah defuzzifikasi, pemetaan himpunan fuzzy kedalam himpunan tegas, yang akhirnya menghasilkan suatu keluaran.

#### 3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam usulan tugas akhir ini merupakan data sekunder yang bersumber dari paper oleh Gupta dan Jain yang berjudul *Comparative Analysis of Fuzzy Power System Stabilizer Using Different Membership Function* dan paper "Design of Robust Fuzzy Logic Power System Stabilizer" oleh S. A. Taher, and A. Shemshadi, 2007 beserta library dalam Simulink Matlab Versi 7.6.0.324 (R2008a). Service Pack 1. License Number 161051. Launch date February, 10,2008.

Metode yang digunakan dalam analisis hasil penelitian ini adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan objek pengontrolan.
2. Menentukan input atau output pengontrolan.
3. Membuat blok diagram.
4. Menentukan fungsi keanggotaan dari masing-masing input.
5. Menentukan fungsi keanggotaan dan output yang diinginkan.
6. Menentukan Rule Base dari semua input.
7. Pemodelan power system stabilizer menggunakan fuzzy logic controller dalam simulink matlab.
8. Melakukan simulasi.
9. Melakukan analisis terhadap respon keluaran yang dihasilkan dengan cara memperhatikan dan menganalisa parameter respon sebagai berikut:
  - a. Waktu puncak (*peak time*) ( $T_n$ ) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai amplitudo tertinggi untuk pertama kali.
  - b. Waktu penetapan (*settling time*) ( $T_a$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai harga akhir yang nilainya konstan atau hampir konstan dengan toleransi sekitar 2% sampai 5% dan nilai akhir.

- c. Lewatan (*overshoot*) ( $M_e$ ) adalah harga puncak dan kurva respon yang melewati nilai input. Jika harga keadaan tunak (*steady state*) respon melebihi nilai input maka digunakan persentase overshoot maksimum dengan persamaan:

$$M_p = \text{frekuensi-lewatan (overshoot)}$$

Dimana: frekuensi = 50 Hz

- d. Frekuensi dalam keadaan tunak (*Steady State*) adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai dari respon masuk dalam keadaan *Steady State* sampai waktu tak terbatas.

Waktu puncak (*peak time*), Waktu penetapan (*settling time*), maupun Lewatan (*overshoot*) sangat penting dalam mendesign *power system stabilizers* karena :

1. Untuk memperbaiki stabilitas pada pembangkit yang terhubung langsung dengan *distributed generation* (pembangkit tersebar) yaitu diharapkan adanya kenaikan nilai frekuensi osilasi.
2. Untuk mengetahui kerja tanggap perubahan kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan perubahan tegangan terminal ( $\Delta V_t$ ) generator pada saat beban puncak ketika pembangkit sedang beroperasi sehingga dapat mencapai kondisi *steady-state* dengan waktu yang lebih cepat.
3. Untuk mengetahui dan memperbaiki waktu tanggap pada saat terjadi gangguan.
4. Untuk mengetahui waktu yang diperlukan sampai terbentuknya output yang diinginkan.
5. Untuk mengetahui besarnya lonjakan respons output dibandingkan dengan kondisi stabil.

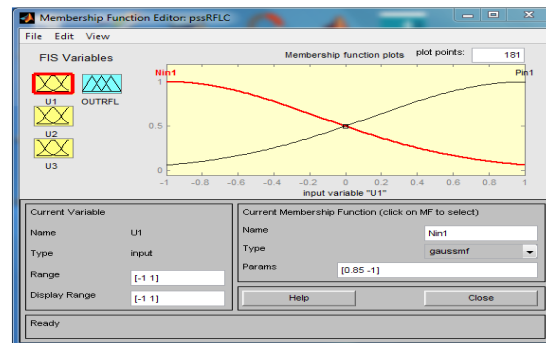
#### 4. PEMBAHASAN

##### A. Menentukan Input dari *Robust Fuzzy Power System Stabilizer*

Langkah pertama yang dilakukan dalam mendesain suatu *Robust fuzzy logic control PSS* adalah menentukan *input fuzzy logic* tersebut. *Input fuzzy logic control* yang dibangun memiliki 3 *input* dan 1 *output*. *Input 1* ( $U_1$ ) berupa deviasi kecepatan rotor, *input 2* ( $U_2$ ) berupa selisih deviasi kecepatan rotor dan deviasi kecepatan rotor dengan delay (0.9 s) dan *input 3* ( $U_3$ ) berupa selisih deviasi waktu delay 0.9 s dengan delay dua kalinya. Sedangkan *output* berupa sinyal kontrol yang nantinya akan diumpankan ke blok eksiter.

##### B. Menentukan *membership function Robust Fuzzy Power System Stabilizer*

Jenis *membership function* yang dipergunakan yaitu *gauss* dengan range -1 sampai 1. *Input 1*, *input 2* dan *input 3* masing-masing menggunakan 2 *membership function* yaitu  $P_{in}$  dan  $N_{in}$ . *Output* menggunakan 2 kuantitas yaitu *Positive* ( $P_{out}$ ) dan *Negative* ( $N_{out}$ ). *Membership function* untuk *input 1* (deviasi kecepatan rotor) yang ditunjukkan pada:



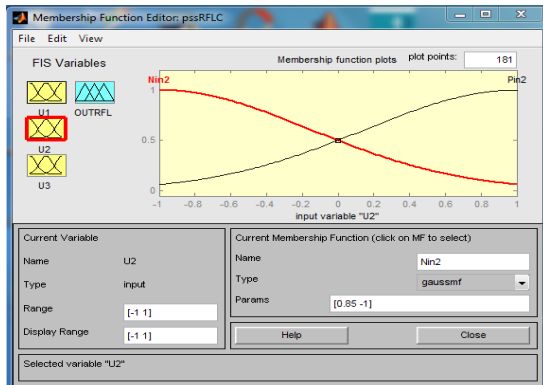
Gambar 4. Membership function input 1 ( $U_1$ )

Tabel 1. Membership function input 1 ( $U_1$ )

No	Variabel Linguistik	Parameter
1	Positive ( $P_{in1}$ )	-1,0.85,1
2	Negative ( $N_{in1}$ )	-1, 0.85,-1

Untuk *input 2 fuzzy logic control* yaitu selisih deviasi kecepatan rotor dan deviasi kecepatan rotor dengan delay (0.9 s),

membership function untuk input 2 ditunjukkan pada:

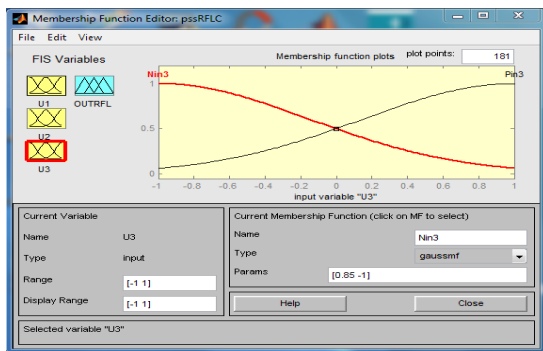


Gambar 5. Membership function input 2 (U2)

Tabel 2. Membership function input 2 (U2)

No	Variabel Linguistik	Parameter
1	Positive ( $P_{in2}$ )	-1, 0.85, 1
2	Negative ( $N_{in2}$ )	-1, 0.85, -1

Untuk input 3 fuzzy logic control yaitu selisih deviasi waktu delay 0.9 s dengan delay dua kalinya, membership function untuk input 3 ditunjukkan pada gambar dibawah :

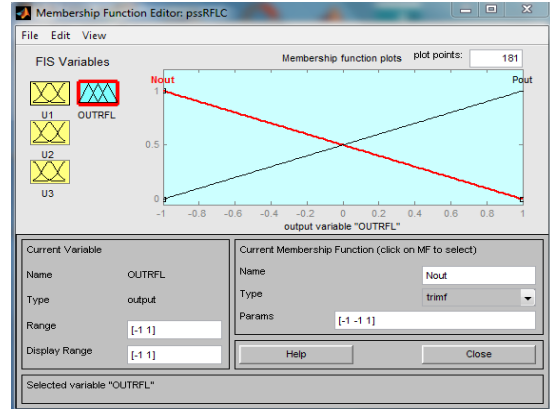


Gambar 6. Membership function input 3 (U3)

Tabel 3. Membership function input3 (U3)

No	Variabel Linguistik	Parameter
1	Positive ( $P_{in3}$ )	-1, 0.85, 1
2	Negative ( $N_{in3}$ )	-1, 0.85, -1

Untuk bagian output pada fuzzy logic control tersebut, membership function yang dipergunakan yaitu :



Gambar 7. Membership function output fuzzy logic control

Tabel 4. Membership function output (output power system stabilizer)

No	Variabel Linguistik	Parameter
1	Positive ( $P_{out}$ )	-1, -0.666, -0.333
2	Negative ( $N_{out}$ )	-0.666, -0.333, 0

### C. Penentuan 6 Rule Base

Setelah proses fuzzifikasi input dan output, tahap selanjutnya adalah menentukan rule base yang menunjukkan hubungan antara parameter input dan parameter output yang dinamakan interfacing. Rule base untuk Robust fuzzy power system stabilizer dapat dilihat pada tabel:

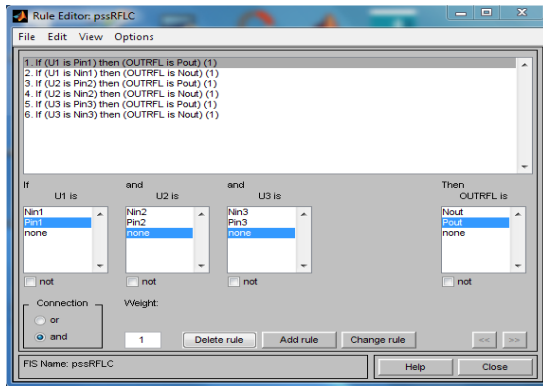
Tabel 5. Penentuan 6 rule base

Input	U1		U2		U3	
	P	N	P	N	P	N
Output	P	N	P	N	P	N

Pada proses interfacing ini hubungan antara kedua variabel input dan variabel output dapat diatur yaitu dengan menghubungkan kedua variabel input dan variabel output menjadi IF-THEN seperti berikut ini:

1. If (U1 is Pin1) then (outFLC is Pout)
2. If (U1 is Nin1) then (outFLC is Nout)
3. If (U2 is Pin2) then (outFLC is Pout)
4. If (U2 is Nin2) then (outFLC is Nout)
5. If (U3 is Pin3) then (outFLC is Pout)
6. If (U3 is Nin3) then (outFLC is Nout)

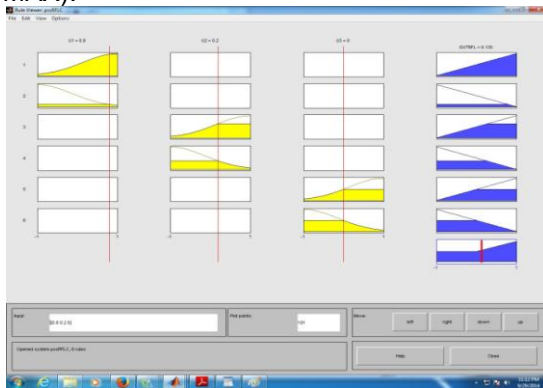
Rule base power system stabilizer menggunakan robust fuzzy logic control dapat dilihat pada:



Gambar 8. Rule base

#### D. Fuzzy Inference 2 Fungsi Keanggotaan

Dari gambar dapat dilihat, dengan diasumsikan bahwa input 1 berupa deviasi kecepatan angular rotor (U1) sebesar 0.8 pu, input 2 (U2) sebesar 0.2 pu dan input 3 sebesar 0, memiliki korelasi terhadap rule base, kemudian keluaran masing-masing aturan tersebut akan mengimplikasikan berupa irisan (fungsi MIN) dari keanggotaan input. Kemudian hasil implikasi tersebut akan diagregasi yaitu berupa gabungan (fungsi MAX).



Gambar 9. Proses Implikasi dan Agregasi Fungsi Keanggotaan

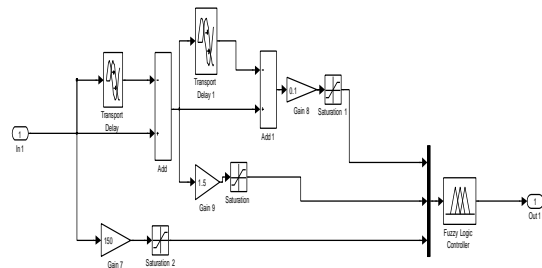
#### E. Defuzzifikasi Fungsi Keanggotaan

Masukan defuzzifikasi adalah sebuah fuzzy set yaitu hasil dari proses agregasi dan keluarannya adalah sebuah bilangan tunggal untuk diisikan ke sebuah variabel keluaran FIS. Metode yang digunakan adalah metode CoA (Centre of Area). Keluaran proses

implikasi dan agregasi menjadi input pada Defuzzifikasi sehingga menghasilkan output nilai fuzzy yaitu 0.135.

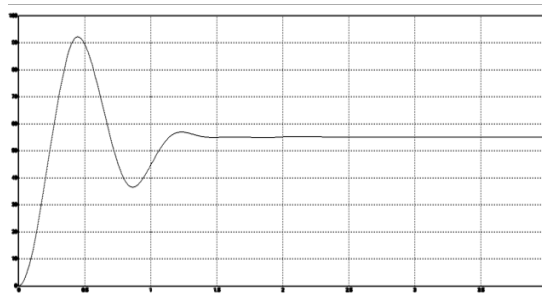
#### F. Simulasi Robust fuzzy power system stabilizer

Simulasi dilakukan dengan memasukkan nilai variabel model matematis yaitu berupa parameter eksiter, voltage transducer, field circuit, rotor inersia, konstanta redaman dan beban (step torsi mekanik). Simulasi dilakukan dalam dua kondisi yaitu dengan  $K_5$  yang bernilai negatif dan  $K_5$  yang bernilai positive. Pada gambar merupakan gambar power system stabilizer yang sudah dimasukan nilai variabel input sesuai dengan data diatas.



Gambar 10. Desain Robust fuzzy power system stabilizer

Hasil simulasi berupa sinyal posisi sudut rotor dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 11. Posisi sudut rotor Robust fuzzy power system stabilizer  $K_5$  negatif

Parameter respon posisi sudut rotor pada single machine infinite bus dapat dilihat dari karakteristik yang ditunjukkan pada gambar antara lain:

- Waktu puncak (peak time) ( $T_p$ ) : 0.44 detik
- Maksimum posisi sudut rotor : 92.1 derajat
- Waktu penetapan (settling time) ( $T_s$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh

sistem untuk mencapai harga akhir yang nilainya konstan yaitu 2 detik.

- d. Lewatan (*overshoot*) ( $M_p$ ) adalah perbandingan nilai puncak maksimum dengan nilai akhir yang dinyatakan dalam bentuk

$$\% \text{ overshoot} = \frac{C_{\text{max}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{akhir}}} 100\%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ overshoot} &= \frac{92.1 - 55.08}{55.08} 100\% \\ &= 67\% \end{aligned}$$

## 5. KESIMPULAN

- a. Input dari robust fuzzy logic adalah hanya satu sinyal yaitu kecepatan deviasi rotor.
- b. Input dari robust fuzzy logic terdiri dari 3 input.
- c. Maksimum posisi sudut rotor adalah 92.1 derajat namun memiliki respon yang sangat cepat sehingga dalam waktu 2 detik sistem kembali stabil (*settling time*), serta memiliki waktu puncak (*peak time*) 0.44 detik

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Imam Robandi, 2008 *Modern Power System Analysis, Design, Analisis & Solusi Kontrol Tenaga Listrik*.
- [2]. Hadi Saadat, *Power System Analysis, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Electrical Engineering Series*.
- [3]. S. A. Taher, and A. Shemshadi, 2007 "*Design of Robust Fuzzy Logic Power System Stabilizer*".
- [4]. Gupta.N., dan Sanjay K., 2010, *Comparative Analysis of Fuzzy Power System Stabilizer Using Different Membership Function*, IEEE page 262-267.
- [5]. Jenica Ileana Corcau, EleonorStoenescu, 2007 "Fuzzy logic controller as a power system stabilizer", Issue 3, Volume 1,.
- [7]. K.R.SudhadanK.Harinadha Reddy, 2005-2009 JATIT "A Fuzzy Controller for Enhancement of Power System Stability with Facts Device".
- [8]. C. K. Sambariya, R. Gupta, dan A. K.Sharma, 2005-2009 JATIT "*Fuzzy Applications to Sngle Machine Power System Stabilizers*".