

# PENGEMBANGAN SISTEM EKSITASI BERBASIS LOGIKA KABUR

Toto Sukisno  
toto\_sukisno@uny.ac.id  
Jurusan Teknik Elektro FT UNY

## **ABSTRAK**

*The aim of this paper was to develop the regulation method by using fuzzy logic on excitation system of generator. The principle of fuzzy logic controller design on excitation system is to emulate conventional PSS in giving of control signal to synchronous machine system by analyzing tendency of variation a state variable of system to machine with qualitative method at various critical condition. Design of fuzzy logic controller in excitation system of synchronous machine which connected infinite bus is be implemented by using Matlab/Simulink software.*

*Keywords: excitation system, fuzzy logic*

## **A. Pendahuluan**

Perkembangan yang pesat dalam bidang ketenagalistrikan sebagai akibat dari tuntutan konsumen (*demand*) yang semakin meningkat menimbulkan konsekuensi tersendiri bagi penyedia jasa ketenagalistrikan. Salah satu dampak yang muncul seiring dengan eskalasi permintaan tersebut adalah meluasnya topologi jaringan yang berujung pada kompleksitas pengelolaan jaringan, dengan demikian pencapaian tujuan dari pelaku bisnis ketenagalistrikan untuk menjaga kontinuitas layanan dan memelihara kualitas kelistrikan menjadi semakin tidak mudah. Selain itu, ketidakteraturan permintaan beban yang setiap saat berubah mengakibatkan kinerja sistem tenaga listrik mendekati batas aman, sehingga pengendalian operasi sistem tenaga listrik sebagai salah satu elemen penting dalam pengelolaan jaringan yang bertujuan untuk memenuhi pembangkitan dan kebutuhan beban juga bertambah kompleks dan rumit (*sophisticated*).

Salah satu yang menjadi indikator kualitas pada sistem tenaga listrik adalah kestabilan frekuensi dan tegangan. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami suatu perubahan beban, sedangkan ketidakstabilan sistem tenaga listrik berarti kehilangan sinkronisasi sistem sehingga sistem tidak lagi mampu bekerja normal setelah mengalami perubahan beban. Perubahan beban pada sistem tenaga listrik yang terjadi secara terus menerus menimbulkan ayunan di sekitar titik kerja sistem tenaga, bahkan pada sistem tenaga listrik terinterkoneksi yang terdiri lebih dari satu unit pembangkit ayunan tersebut akan mudah

terjadi, oleh karena itu permasalahan kestabilan menjadi persoalan yang semakin mendesak dan dominan. Persoalan kestabilan sistem tenaga listrik telah dibahas secara luas. Beberapa sumbangan penting telah diperoleh, tidak hanya dalam segi analisis dan penjelasan fenomena dinamis, tetapi juga dalam usaha perbaikan kestabilan sistem transmisi. Diantara teknik-teknik tersebut, pengendalian generator dan lebih khusus lagi pengendalian eksitasi dan governor merupakan pilihan yang paling banyak dipakai dalam industri tenaga listrik meskipun pilihan yang terakhir mempunyai reaksi yang lebih lambat dibanding pengendalian eksitasi sehingga sebagian besar mengabaikannya. Akan tetapi pengendalian yang tepat dari sistem governor akan membantu dalam sistem peredaman osilasi dan perbaikan kestabilan peralihan.

Penggunaan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) sebagai salah satu piranti yang digunakan untuk mengatasi permasalahan ketidakstabilan tegangan pada kondisi tertentu akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Kondisi tersebut akan menjadi semakin bertambah bila pada AVR terdapat penguat yang mengakibatkan ayunan menjadi semakin besar.

Salah satu penyelesaian dari permasalahan tersebut adalah dengan memasang PSS (*Power System Stabilizer*) yang ditambahkan pada AVR. Pemasangan PSS bertujuan untuk menginjeksikan sinyal yang dapat mengkompensasi redaman negatif. Melalui penalaan parameter-parameter PSS pada harga tertentu akan dihasilkan torsi redaman positif guna memperbaiki kestabilan dinamis. Model penalaan ini memiliki kelemahan jika digunakan pada sistem yang memiliki pola pembebanan dinamis karena untuk mempertahankan sistem agar tetap stabil maka perlu dilakukan penalaan ulang yang memperhitungkan kelakuan parameter dan model sistem. Dengan kata lain, metode penalaan tersebut kurang efisien sehingga perlu dikembangkan metode pengendalian sinyal tambahan pada eksitasi secara otomatis.

Dalam penelitian ini akan diajukan salah satu metode untuk mengendalikan sinyal tambahan pada eksitasi secara otomatis melalui pemanfaatan konsep logika kabur berdasarkan perubahan keluaran dan masukan yang mempengaruhi sehingga sehingga sistem dapat adaptif terhadap perubahan.

## **B. LANDASAN TEORI**

### **1. Prinsip dasar kestabilan generator sinkron**

Sebuah generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik membutuhkan masukan yakni torsi mekanik dari penggerak mula (*prime mover*) yang digunakan untuk memutar rotor generator sinkron dan fluksi magnetik dari belitan rangkain medan. Belitan rangkaian medan ini umumnya terletak di rotor generator sinkron. Putaran rangkaian medan yang dihasilkan oleh torsi mekanik akan memotong belitan konduktor pada stator sehingga menimbulkan tegangan di ujung-ujung belitan stator. Besar tegangan yang dibangkitkan sebanding dengan kecepatan putar rotor dan besar nilai fluksi. Menurut hukum Faraday, besar tegangan induksi elektromagnetik (emf) pada belitan stator adalah:

$$e_{emf} = B \times L \times i \times \omega \text{ atau}$$

$$e = c \times n_s \times \Phi \dots\dots\dots(1)$$

dimana:  $n_s = 120 \frac{f}{p}$

$$f = \frac{n_s P}{120} \dots\dots\dots(2)$$

Tegangan pada belitan stator adalah simetris, yaitu:

$$V_{ta} = V \angle 0^\circ$$

$$V_{tb} = V \angle 120^\circ \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{tc} = V \angle -120^\circ$$

Setiap generator memiliki sumbu direct (d) dan sumbu quadrature (q). Dalam analisa kestabilan dinamik sistem tenaga, variabel-variabel seperti tegangan, arus, sudut daya dinyatakan dalam referensi kedua sumbu tersebut, dimana sumbu referensi diambil sumbu khayal yang senantiasa berputar. Dengan adanya sumbu semacam ini, besaran-besaran seperti tegangan, arus, sudut daya dihitung terhadap sumbu referensi bersama.

Secara matematis, transformasi sistem sumbu abc ke sistem sumbu dqo dinyatakan:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \text{ atau } i_{dqo} = K i_{abc} \text{ atau } i_{abc} = K^{-1} i_{dqo} \dots\dots\dots(4)$$

Bila generator sinkron dibebani akan ada rangkaian tertutup sehingga mengalir arus dari generator ke beban. Arus ini akan menimbulkan torsi elektrik ( $T_e$ ) yang melawan torsi mekanik ( $T_m$ ). Pada kondisi tunak, torsi elektrik sama dengan torsi mekanik dan generator akan berputar pada kecepatan tetap (kecepatan sinkron). Kondisi seperti ini tidak selalu dicapai karena beban akan berubah setiap saat dan seandainya dicapai waktunya hanya

sesaat. Dengan demikian kondisi yang sering terjadi adalah ketidakseimbangan torsi yang akan menimbulkan perlambatan atau percepatan yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$T_m - T_e = M \frac{d\omega}{dt} + D\omega$$

$$\Delta T_m - \Delta T_e = M \frac{d\omega}{dt} + D\Delta\omega$$

$$\Delta T_m - \Delta T_e = (Ms + D)\Delta\omega \dots\dots\dots(5)$$

Bila beban berubah, akan terjadi perubahan sudut daya rotor  $\Delta\delta$  dan perubahan kecepatan rotor  $\Delta\omega$ . Perubahan sudut daya rotor akan menimbulkan perubahan torsi sinkronisasi  $\Delta T_s$  dan mempunyai fasa yang sama dan besarnya sebanding dengan perubahan torsi elektrik  $\Delta T_e$ , yaitu:

$$\Delta T_s = K_1 \Delta\delta \dots\dots\dots(6)$$

$K_1$  merupakan koefisien torsi sinkronisasi. Substitusi persamaan (5) ke dalam persamaan (4) akan diperoleh:

$$\Delta T_m - \Delta T_s = M \frac{d\omega}{dt} + D\Delta\omega \text{ atau}$$

$$\Delta T_m - K_1 \Delta\delta = M \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + D \frac{d\Delta\delta}{dt}$$

$$\Delta T_m - K_1 \Delta\delta - M \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} - D \frac{d\Delta\delta}{dt} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Transformasi Laplace dari persamaan (6) menghasilkan:

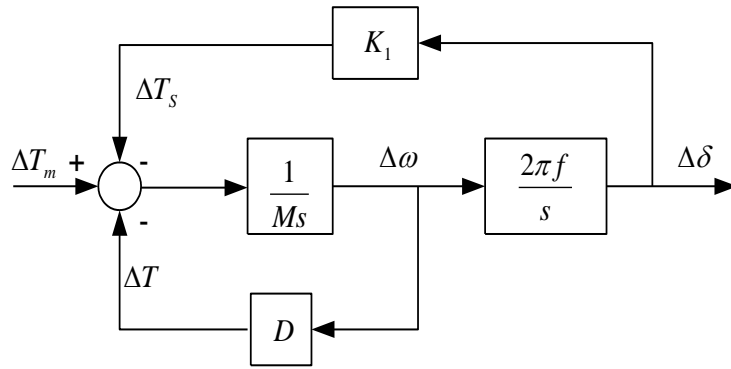
$$\Delta T_m - K_1 \Delta\delta - M\Delta\delta s^2 - D\Delta\delta s = 0 \dots\dots\dots(8)$$

Berdasarkan persamaan (7), proses gerak dari generator sinkron dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Fungsi transfer dari blok diagram tersebut adalah:

$$\frac{\Delta\delta}{\Delta T_m} = \frac{2\pi f}{Ms^2 + Ds + 2\pi f K_1}$$

$$Ms^2 + Ds + 2\pi f K_1 = 0$$

$$s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{2\pi f K_1}{M} = 0 \dots\dots\dots(9)$$



Gambar 1. Blok diagram proses gerak generator sinkron

Frekuensi natural ( $\omega_n$ ) yang merupakan frekuensi dimana redaman ( $D$ ) = 0 (tidak ada redaman), dapat dihitung dengan persamaan:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2\pi f K_1}{M}} \dots\dots\dots (10)$$

Jika  $D > 0$ , maka frekuensi teredam adalah:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi} \dots\dots\dots (11)$$

dimana:  $\xi = \frac{1}{2} \frac{D}{\sqrt{2\pi f M K_1}} \dots\dots\dots (12)$

Blok diagram proses gerak generator menunjukkan bahwa: komponen torsi sinkron di titik penjumlahan adalah sefasa dengan torsi sudut  $\Delta\delta$ , dimana koefisien torsi sinkron adalah  $K_1$ .

Komponen torsi redaman di titik penjumlahan adalah sefasa dengan kecepatan sudut mesin  $\Delta\omega$ , dimana koefisien redaman adalah  $D$ , yang secara matematis dinyatakan:

$$\Delta T_D = D \cdot \Delta\omega \dots\dots\dots (13)$$

Berdasarkan persamaan (6) dan (13), terlihat bahwa  $T_S$  sefasa dengan  $\Delta\delta$  dan  $T_D$  sefasa dengan  $\Delta\omega$  serta  $T_D$  mendahului  $T_S$  sebesar  $90^\circ$ .

Nilai koefisien torsi sinkronisasi dan torsi redaman harus berharga positif, dan seandainya berharga negatif akan menimbulkan umpan balik positif sehingga akan mengakibatkan timbulnya osilasi yang bertambah besar sehingga sistem tidak stabil. Bila harga  $K_1$  negatif maka sudut daya mesin sinkron akan berosilasi positif dan negatif serta tidak berhenti pada sudut daya tertentu, dan jika  $D$  berharga negatif atau kecil sekali maka mesin akan berosilasi terus menerus sehingga sistem tidak stabil.

Keberadaan konsep torsi sinkronisasi dan torsi redaman akan mempermudah proses analisa kestabilan sebuah mesin karena setiap umpan balik lingkaran tertutup selalu menghasilkan torsi sinkronisasi dan torsi redaman tertentu. Jumlah total nilai koefisien sinkronisasi dan torsi redaman dari setiap lingkaran tertutup dapat bernilai positif atau negatif. Berdasarkan kedua nilai tersebut dan dengan memanfaatkan metode sistem kontrol, kestabilan suatu mesin dapat dianalisa dan dirancang sesuai yang diinginkan.

Permasalahan dinamika juga dapat dituliskan dalam daya, yaitu beban sebagai daya elektrik ( $P_e$ ) yang akan melawan daya mekanis ( $P_m$ ). Pada kondisi stabil persamaan gerak generator sinkron dapat dituliskan sebagai:

$$P_m - P_e = M \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots(14)$$

dimana:  $P_m$  = daya mekanik,  $P_e$  = daya elektrik,  $M$  = inersia generator dan  $\omega = 2\pi f =$  kecepatan sudut. Persamaan (14) menunjukkan bahwa, jika:

$$P_m > P_e \rightarrow \frac{d\omega}{dt} > 0, \text{ maka } \omega \text{ (f) akan naik.}$$

$$P_m < P_e \rightarrow \frac{d\omega}{dt} < 0, \text{ maka } \omega \text{ (f) akan turun.}$$

$$P_m = P_e \rightarrow \frac{d\omega}{dt} = 0, \text{ maka } \omega \text{ (f) akan konstan.}$$

Energi listrik  $P_e$  yang dihubungkan dengan beban akan selalu berubah setiap saat sesuai dengan permintaan konsumen yang tidak dapat dikontrol sehingga kondisi dimana  $P_m = P_e$  tidak mungkin dapat dipenuhi. Dengan demikian  $P_m$  harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu mengikuti dan memenuhi perubahan  $P_e$ . Kondisi tersebut akan menimbulkan terjadinya osilasi sehingga diperlukan sistem pengendali yang dapat meredam osilasi.

Pada sebuah sistem mesin tunggal dengan bus tak terhingga dan  $V_t$  dan  $f$  konstan setiap saat, emf yang dibangkitkan oleh fluks rotor adalah:

$$E_f = \omega L_{af} \cdot I_f \dots\dots\dots(15)$$

dimana:  $V_t$  adalah tegangan terminal generator.

Hubungan antara  $E_f$  dan  $V_t$  yang ditunjukkan pada gambar (4) dapat dituliskan sebagai:

$$E_f = V_t + I_a \cdot X_s \dots\dots\dots(16)$$

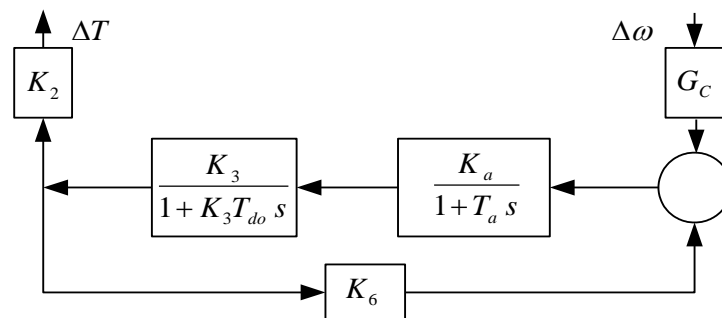
Tegangan  $V_t$  dijaga konstan setiap saat dan terhubung dengan bus tak terhingga, jika  $n \gg ns$ , akan mengakibatkan  $E_f$  mendahului  $V_t$  dengan sudut daya yang besar sekali dan  $I_a$  akan naik yang akhirnya menyebabkan generator trip. Jika  $ns > n$  akan menyebabkan  $E_f$  tertinggal dari  $V_t$ , padahal perubahan daya yang diinginkan adalah sedikit mungkin, oleh karenanya  $I_a$  akan naik sehingga tercapai kondisi seperti semula. Masalah utama yang diperhatikan adalah seberapa besar perbedaan tegangan tersebut diinginkan dan berapa lama waktu kejadiannya. Dengan memperhatikan persamaan (9) terlihat bahwa ada dua indeks kestabilan yang harus diperhatikan dari sistem, yaitu:  $\delta$  (sudut daya) dan  $n$  (putaran), dengan perubahan kecepatan sudut:

$$\Delta\omega = \frac{d\delta}{dt}$$

$$\Delta\omega = \int \Delta\omega \cdot dt \dots\dots\dots(17)$$

## 2. PSS (Power System Stabilizer)

PSS merupakan penstabil tambahan yang disuntikkan pada AVR dengan masukan sinyal deviasi daya nyata yang bekerja dengan masukan perubahan kecepatan sudut rotor mesin ( $\Delta\omega$ ). Konfigurasi penambahan rangkaian PSS ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi penambahan rangkaian PSS pada mesin sinkron

Torsi redaman harus sefasa dengan  $\Delta\omega$  sehingga fasa total loop pada gambar di atas harus sama dengan kecepatan sudut ( $\Delta\omega$ ). PSS dirancang dengan tiga komponen pokok meliputi:

- Blok reset filter
- Kompensator
- Penguatan

Fungsi alih PSS secara umum berbentuk:

$$G_C(S) = K_E \frac{T_{re} s}{1 + T_{re} s} \frac{1 + T_{Ld} s}{1 + T_{Lg} s}$$

dimana:

$K_E$  : penguatan yang dapat diatur

$\frac{1 + T_{Ld} s}{1 + T_{Lg} s}$  : komponen lead kompensator ( $T_{Lg}$ ) ditentukan ( $T_{Ld}$ ) diatur.

$\frac{T_{re} s}{1 + T_{re} s}$  : komponen reset.

Perolehan nilai redaman yang diinginkan dilakukan melalui penalaan parameter PSS ( $K_E$  dan  $T_{Ld}$ ) pada nilai tertentu untuk kondisi operasi tertentu. PSS dengan masukan sinyal ( $\Delta\omega$ ) yang dipasang untuk sebuah mesin pada sistem mesin tunggal, sinyal kontrol yang diperoleh PSS adalah:

$$U_C = G_C(s)\Delta\omega$$

dimana:

$U_C$  : sinyal kontrol dari PSS ke sistem melalui AVR

$U_C$  : perubahan kecepatan sudut mesin

$G_C(s)$  : fungsi alih PSS

Torsi yang dihasilkan setelah melalui rangkaian eksitasi berbentuk:

$$\Delta T_D = K_2 G_n(s) G_C(s) \Delta\omega$$

dimana:

$\Delta T_D(s)$  : torsi redaman

$G_n(s)$  : fungsi alih sistem eksitasi

Guna mendapatkan torsi yang sefasa dengan  $\Delta\omega$  maka:

$$\angle G_n(s) + \angle G_C(s) = 0$$

Dengan demikian, jika:

$$\angle G_n(s) = \gamma \text{ maka } \angle G_C(s) = -\gamma \text{ dan } \angle G_C(s) = \angle \frac{1 + T_{Ld} s}{1 + T_{Lg} s} = -\gamma$$

dengan  $s = \tau + j\omega$ , sehingga  $T_{Ld}$  ditala pada nilai  $s = \tau + j\omega$ , menggunakan bentuk:



$$T_{Ld} = \frac{\tan(\gamma + \phi_2)}{\omega - \tau \cdot \tan(\gamma + \phi_2)} \text{ dengan } \phi_2 = \tan^{-1} \frac{\omega T_{Lg}}{1 + \tau T_{Lg}}$$

Penguatan PSS diperoleh berdasarkan persamaan:

$$K_E = \frac{D_E}{(K_2 |G_n(s)| \circ |G_C(s)|)}$$

dimana:

$$D_E = 2 \cdot \omega_n \cdot M \cdot \xi_n$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\omega_o K_1}{M}}$$

$\xi_n$  = faktor redaman yang diharapkan

$M$  = momen inerti mesin

$\omega_n$  = frekuensi natural mesin

$\omega_o$  = frekuensi nominal

Permasalahan yang muncul adalah jika terjadi perubahan beban, karena parameter-parameter tersebut di atas harus di tala ulang dengan menggunakan persamaan-persamaan tersebut. Metode tersebut di anggap kurang efektif sebab pada kondisi nyata perubahan kondisi operasi berlangsung setiap saat. Oleh karena itu perlu dicari metode pengendalian yang adaptif terhadap kondisi operasi. Salah satu metode yang adaptif terhadap kondisi operasi adalah metode yang memanfaatkan algoritma pengaturan berbasis lohika kabur.

### 3. Pengaturan dengan Logika Kabur

Rancangan pengaturan dengan metode konvensional menghadapi permasalahan penurunan model matematik dalam mendeskripsikan sistem sehingga memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai proses fisis dinamika sistem beserta variabel-variabel yang terlibat. Metode tidak selalu mudah terlebih lagi jika sistem sangat kompleks dan rumit.

Rancangan pengaturan dengan logika kabur meliputi pemodelan sistem secara kabur yang menyangkut hubungan masukan dan keluaran dan sekaligus mengumpulkan banyak parameter sistem secara bersama-sama. Pengaturan berbasis logika kabur memberikan model perancangan baru yang sangat berguna bagi sistem yang kompleks tanpa perancang mengetahui data kuantitatif tentang hubungan masukan dan keluaran seperti yang diperlukan dalam metode konvensional. Metode pengaturan dengan logika kabur merupakan metode pengaturan yang menyamakan cara berpikir manusia dengan

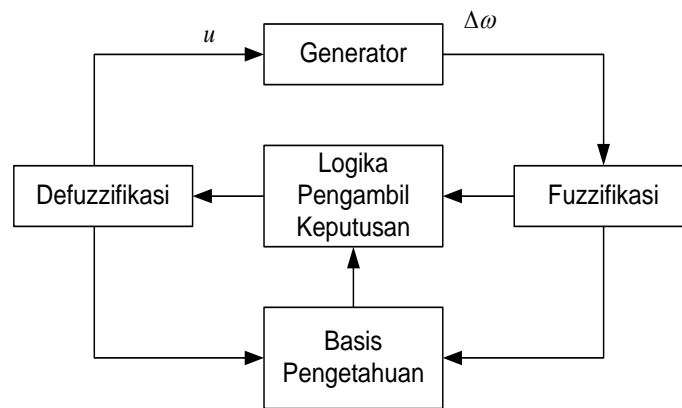
melibatkan ketidakpastian pada sistem fisik. Pengendali kabur membuat keputusan sebagai sinyal atur berdasarkan masukan dan keluaran yang telah terjadi dalam bentuk variabel linguistik dengan menggunakan aturan yang dijabarkan secara umum dalam bentuk:

**Jika e dan de, maka u**

Dengan :

- e : kesalahan keluaran sistem
- de : perubahan kesalahan keluaran sistem
- u : sinyal atur pengendali kabur

Aturan yang disusun pada sistem pengendali kabur bersifat bebas asalkan menjamin konsekuensi logis dari hubungan antar variabel yang terlibat. Dalam penelitian ini keluaran pengendali kabur merupakan masukan bagi sistem, dimana variabel perubahan kecepatan sudut rotor mesin ( $\Delta\omega$ ) dan delta perubahan kecepatan sudut ( $d\Delta\omega$ ) dipilih sebagai masukan pengendali kabur yang keluarannya ( $u$ ) merupakan masukan bagi sistem melalui AVR. Konfigurasi pengendali dengan logika kabur dapat digambarkan seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi sistem pengendali eksitasi generator dengan logika kabur

### C. SISTEM EKSITASI DENGAN LOGIKA KABUR

Pada prinsipnya dasar penurunan kaidah atur adalah penentuan sinyal atur ( $u$ ) sedemikianrupa sehingga trayektori sistem lup tertutup menuju pada keadaan yang diinginkan ( $\Delta\omega = 0$ ). Prinsip di atas dapat dinyatakan dalam bentuk:

- Jika galat  $e[k]$  dan perubahan galat  $de[k]$  adalah nol maka aksi atur dijaga tetap.
- Jika galat  $e[k]$  positif dan perubahan galat  $de[k]$  adalah nol maka aksi atur positif.

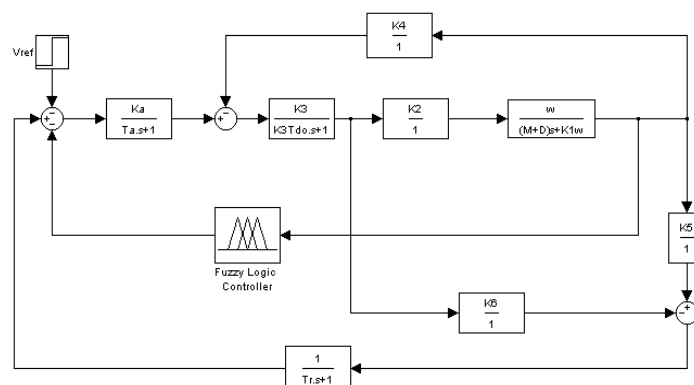
- Jika galat  $e[k]$  negatif dan perubahan galat  $d\Delta\omega[k]$  adalah nol maka aksi atur negatif.
- Jika galat  $e[k]$  nol dan perubahan galat  $d\Delta\omega[k]$  adalah positif maka aksi atur positif.
- Jika galat  $e[k]$  nol dan perubahan galat  $d\Delta\omega[k]$  adalah negatif maka aksi atur negatif.

Dalam bentuk tabel, kaidah tersebut diatas dapat disajikan seperti dalam tabel 1.

Tabel 1. Kaidah atur PSS dengan logika kabur

Kaidah	$\Delta\omega [k]$	$d\Delta\omega[k]$	Sinyal atur $u[k]$
1	Pos	Nol	Pos
2	Nol	Neg	Neg
3	Neg	Nol	Neg
4	Nol	Pos	Pos
5	Nol	Nol	Nol

Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab/simulink, penerapan logika kabur dalam sistem eksitasi dapat didesain seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Desain sistem eksitasi dengan logika kabur menggunakan Matlab/simulink

#### D. KESIMPULAN

Penambahan PSS pada generator sinkron diperlukan untuk mempertahankan kondisi sinkron pada saat generator memikul beban puncak. Akan tetapi PSS dengan model konvensional memerlukan penalaan secara berulang-ulang sesuai dengan kondisi beban pada sistem. Penerapan logika kabur sebagai pengendali untuk menggantikan PSS konvensional memungkinkan kinerja sistem menjadi lebih handal dan memiliki akurasi

yang lebih baik. Berikut ini penulis mengajukan saran-saran yang kiranya bermanfaat untuk penelitian lebih lanjut:

1. Desain pengendali logika kabur pada sistem eksitasi diimplementasikan secara real time.
2. Dapat dicoba untuk melakukan kombinasi dengan pengendali governor yang sama-sama menggunakan logika kabur.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Da Ruan. (1996). *Fuzzy Logic Foundations and Industrial Applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Padiyar, KR. (1996). *Power System Dynamics Stability and Control*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Saadat, Hadi. (1999). *Power System Analysis*. Singapore: MC Graw-Hill Co.
- Teqsim Int. (2000). *Power System Blockset For Use With Simulink*. User Guide Version 2
- Yu, Yao-nan. (1983). *Electric Power System Dynamics*. New York: Academic Press.