

## PERBAIKAN STABILITAS DINAMIK MENGGUNAKAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) BERBASIS ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MULTIMESIN Improvement Dynamic Stability using the Power System Stabilizer (PSS) Based On Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) of the Multimechine System

Imam Takharruby<sup>1</sup>, I.Made Ginarsa<sup>2</sup>, Agung Budi Muljono<sup>3</sup><sup>1</sup>

### ABSTRAK

*Sistem multimesin merupakan sistem interkoneksi yang berinteraksi antara mesin yang satu dengan mesin yang lain, sistem ini rentan terjadi adanya gangguan karena sistem yang melibatkan banyak pembangkit, sehingga dilakukan suatu perbaikan kestabilan tegangan dan frekuensi dengan menambahkan sebuah piranti kontrol seperti PSS. PSS merupakan perangkat yang memberi redaman tambahan saat terjadi osilasi frekuensi dan daya yang langsung terhubung dengan peralatan sistem eksitasi dan regulator tegangan pada pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan kestabilan sistem dalam menentukan respon perubahan kecepatan sudut rotor dengan sistem PSS dan ANFIS. Didapatkan hasil dengan waktu kstabilan dari ANFIS yang lebih baik dibandingkan dengan PSS konvensional dengan waktu persentase rata-rata pada perubahan kecepatan sudut rotor mencapai 17,97% dengan persentase perbaikan overshoot rata-rata sebesar 10,72%.*

**Kata Kunci:** PSS, Stabilitas Dinamik, Sistem Multimesin, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Sistem

### ABSTRACT

*Multimachine system is a system that interacts interconnection between one machine to another machine, the system is susceptible to interference because the system involves a lot of plants, so do the voltage and frequency stability improved by adding a control device such as PSS. PSS is a device that provides additional damping occurs when the oscillation frequency and power are directly connected with the equipment and the excitation system voltage regulator on the generator. This research aims to simulate the stability of the system in determining the response of the degree rotor speed changes by looking at the comparison of systems using the PSS and PSS using ANFIS. Stability time obtained from ANFIS faster than the conventional PSS with an average percentage of time the rotor angular velocity change reaches 17.97 % with the percentage overshoot make up an average of 10.72 % .*

**Keywords:** PSS, Dynamic stability, multimachine system, nuero-fuzzy adaptive inference system

### PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan jumlah konsumen pengguna listrik sekarang ini menyebabkan bertambahnya juga sistem pembangkitan yang diikuti dengan banyak pembuatan pembangkit-pembangkit sistem tenaga listrik yang baru guna untuk memenuhi serta mengimbangi jumlah konsumen pengguna listrik untuk kelancaran hidup, Dengan pembangunan pembangkit baru untuk memenuhi pengguna listrik diperlukan juga adanya sistem pengendalian yang mantab yang sangat dibutuhkan oleh pembangkit supaya rentan dari gangguan, baik gangguan yang berupa gangguan seperti hubung singkat maupun pelepasan beban secara mendadak yang dapat menyebabkan

pemadaman secara langsung dan dalam jangka waktu yang lama, untuk itu diperlukan pengontrolan sistem stabilizer atau PSS pada pembangkit guna untuk menstabilkan sistem tenaga listrik agar tidak terjadi gangguan serta untuk menanggulangi sistem yang terdapat gangguan dengan cepat sehingga pemadaman sistem cepat kembali pada kondisi operasi stabil yang baru.

Selain dengan adanya PSS banyak juga jenis-jenis penanggulangan gangguan yang digunakan untuk membandingkan waktu perbaikan sistem yang menggunakan PSS dengan sistem yang menggunakan penambahan ANFIS seperti pada penelitian kali ini guna membuat sistem menjadi semakin cepat dalam mengatasi gangguan sehingga dapat kembali ke dalam posisi

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

operasi awalnya atau kondisi kestabilan yang baru.

**Stabilitas Sistem Tenaga Listrik.** Sistem tenaga listrik yang besar umumnya merupakan sistem tenaga multimesin yang terhubung ke infinite bus. Semakin berkembangnya suatu sistem tenaga listrik maka semakin rentan juga terhadap terjadinya gangguan, terutama gangguan hubung singkat. Salah satu akibat gangguan hubung singkat adalah terjadinya osilasi daya yang akan menyebabkan sistem keluar dari area kestabilannya dan dapat mengakibatkan dampak yang lebih buruk lagi seperti terjadinya pemadamna total.

Berdasarkan data dari Westinghouse probabilitas terjadinya gangguan hubung singkat untuk berbagai tipe gangguan yaitu untuk gangguan tiga fase sebesar 5%, gangguan dua fase ke tanah sebesar 10%, gangguan fase ke fase sebesar 15% dan gangguan satu fase ke tanah sebesar 70%.

Pada dasarnya, stabilitas sistem tenaga listrik terbagi dalam stabilitas transien dan stabilitas steady state. Stabilitas transien berhubungan dengan gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba, seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban. Sedangkan stabilitas steady state berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada kondisi operating point-nya setelah terjadi gangguan kecil seperti perubahan daya atau perubahan beban secara perlahan.

Stabilitas steady state juga disebut stabilitas dinamik. Perubahan kecil pada beban akan mengakibatkan perubahan kecepatan sudut pada rotor dan tegangan terminal generator. Kecepatan sudut akan berayun di sekitar kecepatan sinkron dan tegangan terminal generator konvergen di sekitar tegangan nominalnya.

Pada sistem multimesin, suatu sistem dikatakan stabil secara dinamik apabila setelah gangguan (perubahan) selisih sudut rotor menuju pada nilai tertentu yang berhingga. Bila ada selisih sudut rotor generator semakin lama semakin membesar maka sistem tidak stabil. Dikarenakan perubahan beban pada studi kestabilan dinamik relatif kecil maka model sistem tenaga listrik yang dipakai dalam studi ini adalah model linier atau model non-linier yang dilinierkan. Perubahan beban yang kecil pada sistem tenaga listrik adalah suatu hal yang tidak dapat dihindari dan selalu terjadi. Oleh

karena itu perlu dirancang suatu pengontrolan yang dapat menjaga sistem tenaga listrik stabil, yang lazim disebut Power System Stabilizer (PSS).

**Power System Stabilizer.** Power System Stabilizer (PSS) pada dasarnya berfungsi sebagai untuk memperluas batas stabilitas dengan memodulasi eksitasi generator untuk menghasilkan redaman osilasi rotor motor sinkron. Osilasi tersebut biasanya terjadi dalam rentang frekuensi sekitar 0,2 sampai 3,0 Hz dan dapat mengganggu kemampuan sistem dalam mentransmisikan daya listrik. Guna meredam osilasi tersebut, PSS harus mampu menghasilkan komponen torsi elektrik sesuai dengan perubahan kecepatan rotor generator.

Pada dasarnya implementasi PSS secara rinci itu berbeda-beda antara satu sistem dengan sistem lainnya, tergantung pada sinyal masukan yang diberikan. Akan tetapi, untuk setiap sinyal masukan yang diberikan, fungsi alih PSS harus dapat mengkompensasi gain dan fase sistem eksitasi generator. Untuk sistem tenaga listrik yang kompleks (sistem multimesin), penggunaan PSS sangat diperlukan karena semakin kompleks sistem maka semakin rentan terhadap gangguan.

Dengan implementasi PSS berarti mengatur karakteristik frekuensi dan gain untuk menghasilkan redaman osilasi sistem yang diinginkan dalam rentang frekuensi 0,2 sampai 3,0 Hz. Fungsi alih PSS secara umum dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$G_p(s) = K_s \frac{T_\omega s(1+sT_1)(1+sT_3)}{(1+sT_\omega s)(1+sT_2)(1+sT_4)} \dots\dots\dots(1)$$

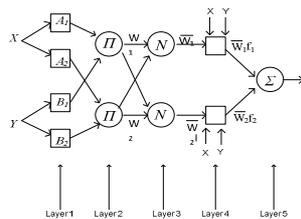
Dengan KS mempresentasikan gain stabilizer dan Gf(s) mempresentasikan kombinasi fungsi alih tapis torsional (jika diperlukan) dan sinyal masukan transducer. Karakteristik frekuensi diatur dengan memvariasikan konstanta waktu  $T_\omega, T_1, T_2, T_3$  dan  $T_4$ .

**Metode Neuro Fuzzy Adaptif.** Metode neuro-fuzzy yang sangat populer sering dikenal dengan sebutan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan jaringan adaptif berbasis pada sistem inferensi logika fuzzy. Dengan adanya implementasi sistem inferensi logika fuzzy pada jaringan adaptif maka sifat-sifat jaringan adaptif dapat digunakan untuk mengadaptasi sistem inferensi tersebut, dalam hal ini tergabung dua metode untuk mendapatkan hasil yang

diinginkan yaitu metode adaptif yang biasa dipakai pada sistem jaringan neural artifisial dan fuzifikasi yang biasa dipakai pada pengendali fuzzy. Dua metode ini dalam pemakaiannya menggunakan dua sumber informasi yang berbeda yakni metode numerik dan metode fuzifikasi menggunakan data linguistik. Kedua jenis informasi inilah yang bisa didapatkan dalam sistem kendali, sehingga diharapkan dapat dibuat sistem kendali yang optimal.

Parameter ANFIS dipisahkan menjadi dua yaitu parameter premis dan parameter konsekuensi. Proses adaptasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan parameter-parameter tersebut agar terbentuk suatu jaringan adaptif yang mempresentasikan sistem inferensi yang diinginkan. Proses pencarian parameter premis dan parameter konsekuensi sering dikenal dengan proses pembelajaran atau proses pelatihan. Proses pelatihan untuk ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini yaitu hibrid (gabungan propagasi balik dan *least square estimation*, LSE).

Arsitektur ANFIS tergantung pada jenis sistem inferensi yang akan diimplementasikan, sebagai contoh sistem inferensi logika fuzzy orde pertama tipe Sugeno dengan dua masukan dan dua aturan sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Jika x adalah A1 dan y adalah B1 maka  $f_1 = p_1x + q_1x + r_1$   
 Jika x adalah A2 dan y adalah B2 maka  $f_2 = p_2x + q_2x + r_2$ .



Gambar 1 struktur ANFIS

Sesuai dengan namanya jaringan adaptif merupakan suatu struktur jaringan yang terdiri dari sejumlah simpul yang terhubung melalui penghubung secara langsung (directional link). Tiap simpul menggambarkan sebuah unit proses, dan penghubung antara simpul menentukan hubungan kausal antara simpul yang saling berhubungan. Simpul-simpul tersebut dibentuk dalam struktur jaringan ANFIS yang terdiri dari lima lapis (layer). Fungsi dari setiap lapis tersebut adalah sebagai berikut:

Lapis 1: Pada lapisan berikut mentransmisi-kan secara langsung input yang masuk, setiap node pada lapis ini adalah node adaptif dengan fungsi node:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \text{ untuk } i = 1, 2, \text{ atau } O_{1,i} = \mu_{B_i}(y), \text{ untuk } i = 3, 4 \dots \dots \dots (2)$$

Node-node layer ini berperan sebagai *membership function* untuk menyatakan istilah linguistik dari variabel masukan.

Lapis 2 : Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul tetap yang diberi tanda  $\Pi$ , dimana keluarnya memiliki persamaan sebagai berikut:

$$O_{2,i} = W_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i = 1, 2, \dots \dots \dots (3)$$

Tiap keluaran simpul memiliki kekuatan tembakan dari suatu aturan. Secara umum, biasanya operator yang dipakai adalah operator *fuzzy AND*.

Lapis 3 : Setiap simpul pada layer ini adalah adaptif node dengan fungsi node adalah sebagai berikut:

$$O_{3,i} = W_i f_i \dots \dots \dots (4)$$

Dimana  $W_i$  merupakan hasil output dari layer 2, sedangkan  $f_i$  merupakan nilai konsekuensi.

Lapis 4 : Pada layer ini setiap simpul pada layer ini merupakan *fixed node*, hasil dari penjumlahan seluruh output dari layer 2 dan hasil penjumlahan dari layer 3. Penjumlahan dari layer 3

$$O_{4,i} = \sum_i W_i f_i \dots \dots \dots (5)$$

Penjumlahan dari layer 2

$$O_{4,i} = \sum_i W_i \dots \dots \dots (6)$$

Lapis 5 : Pada layer ini merupakan *fixed node*, pada layer ini disebut berat ternormalisasi

$$O_{5,i} = \frac{\sum_i W_i f_i}{\sum_i W_i} \dots \dots \dots (7)$$

Pada saat *permise parameters* ditemukan, keluaran yang terjadi akan merupakan kombinasi linier dari *consequent parameters*, yaitu:

$$Y = \frac{W_1}{W_1 + W_2} Y_1 + \frac{W_2}{W_1 + W_2} Y_2 \dots \dots \dots (8)$$

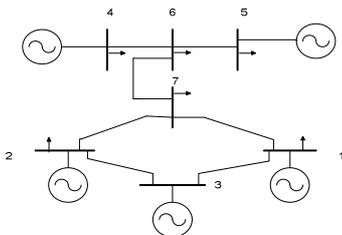
$$= \overline{W}_1 (C_{11} X_1 + C_{12} X_2 + C_{10}) + \overline{W}_2 (C_{21} X_1 + C_{22} X_2 + C_{20})$$

$$= (\overline{W_1 X_1})C_{11} + (\overline{W_1 X_2})C_{12} + \overline{W_1}C_{10} + (\overline{W_2 X_1})C_{21} + (\overline{W_2 X_2})C_{22} + \overline{W_2}C_{20}$$

adalah linier terhadap parameter  $C_{ij}$  ( $i=1,2$  dan  $j=0,1,2$ ).

**METODELOGI PENELITIAN**

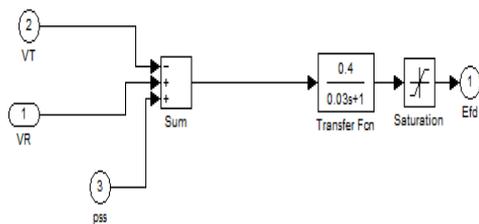
Penelitian ini dilakukan dalam bentuk simulasi dengan mendesain penggunaan PSS (power system stabilizer) ke dalam metode ANFIS (adaptive neuro fuzzy inference system) dengan membandingkan hasil keluaran sistem PSS dengan ANFIS dalam bentuk grafik dengan bentuk saluran sistem tenaga yang terdiri dari 5 generator dengan 7 bus, penelitian ini dilakukan dengan memberikan gangguan pada genrator 1 dengan swing bus pada bus 4 dengan bentuk sebagai berikut.



Gambar 2 sistem tenaga listrik model (soprijanto,dkk,2000)

**Pelaksanaan penelitian.** Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut

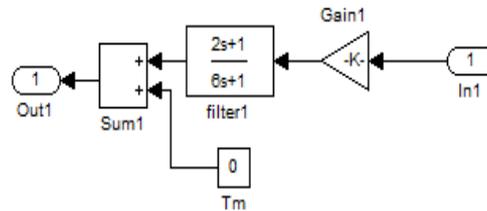
1. Membuat model dari sistem tenaga listrik tanpa control



Gambar 3 simulink kecepatan rotor tanpa Kontrol

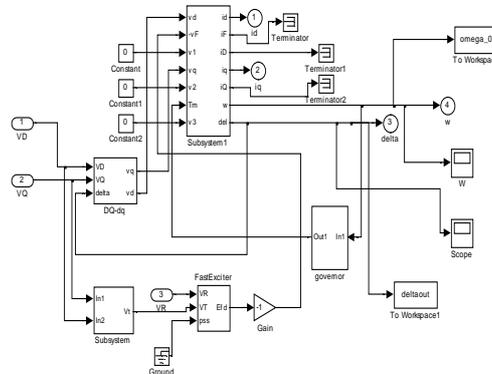
2. Model Governor. Ketika beban elektrik generator tiba - tiba meningkat, energi listrik yang diperlukan akan melebihi daya mekanik yang diinputkan. Kekurangan daya ini diatasi oleh energi kinetik yang tersimpan pada sistem yang berputar. Pengurangan energi kinetik menyebabkan kecepatan turbin dan frekuensi pada sistem menurun.

Perubahan kecepatan akan disensor oleh *governor* yang akan bekerja untuk mengatur katup masukan pada turbin sehingga daya mekanik yang dikeluarkan oleh turbin akan berubah. Sistem ini akan membawa kecepatan generator berada pada kondisi *steady state* yang baru. Pemodelan *governor* ditunjukkan pada berikut.



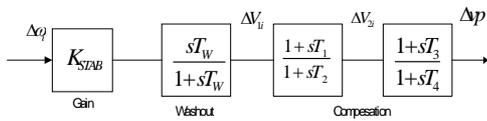
Gambar 4 Blok Diagram Model Governor Turbin Uap

3. Model Eksiter. Terdapat banyak tipe eksiter. Sistem eksiter modern menggunakan sumber listrik AC yang dilewatkan pada *rectifiersolid state* seperti SCR. Tegangan keluaran dari eksiter merupakan suatu fungsi yang nonlinier. Hal ini disebabkan oleh adanya efek saturasi pada rangkaian medan. Oleh karena itu, tidak ada hubungan yang sederhana antara tegangan terminal dan tegangan medan pada eksiter. Terdapat banyak model dengan berbagai derajat kepuasan yang telah dikembangkan dan tersedia pada publikasi IEEE. Pemodelan eksiter modern yang paling umum digunakan adalah pemodelan linier yang menggunakan *time* konstan dan mengabaikan saturasi atau sifat nonlinier lainnya.



Gambar 5 Blok Diagram Sistem Eksiter IEEE tipe STI

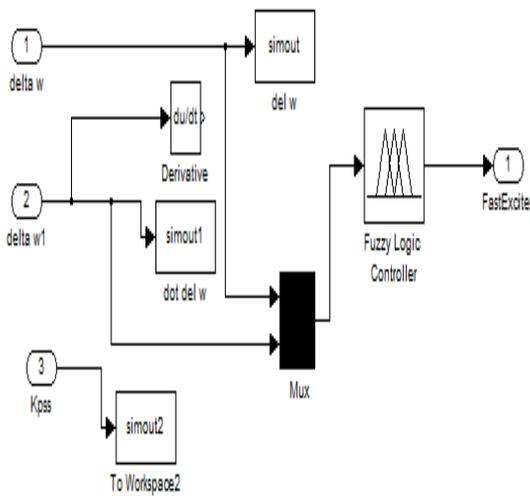
4. Model PSS. Model PSS yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 6 Blok Diagram Simulink PSS

Pada model PSS ini diatur masukan setiap parameter dengan nilai yang sesuai untuk mendapatkan bentuk keluaran yang baik, dari mengatur nilai parameter untuk *gain*, *washout* dan *compensation* dengan nilai yang telah ditentukan.

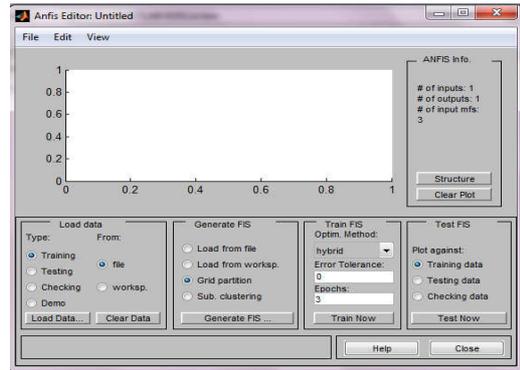
5. Model ANFIS. Model ANFIS yang digunakan pada penelitian ini dengan mengikutsertakan FLC sebagai tempat penanaman pada logika kontrol fuzzy sebagai berikut ditunjukkan pada gambar 7 blok Diagram Simulink model ANFIS



Gambar 7 menunjukkan simulasi

Pemasangan ANFIS pada sistem multimesin sebagai perbandingan setelah pemasangan simulasi PSS konvensional yang menggunakan pelatihan ANFIS pada ANFIS editor dalam *software matlab* dengan inputan berupa data dari hasil simulasi pemasangan PSS dan ANFIS.

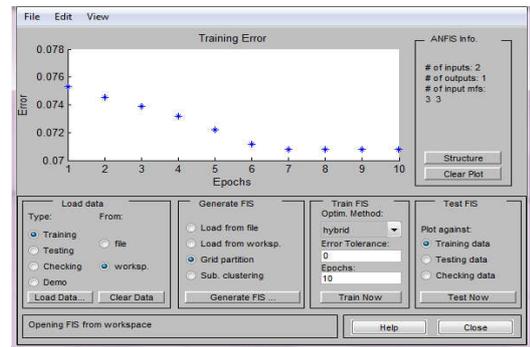
**Langkah-langkah training ANFIS.** Dalam penelitian ini pelatihan ANFIS yang digunakan adalah dengan melatih ANFIS pada “ANFIS editor” dari matlab dengan langkah sebagai berikut:



Gambar 8 Bentuk awal ANFIS editor

Gambar 8 adalah learning untuk *me-load data*. Data yang di jadikan sarana *training* ANFIS adalah gabungan antara masukan dengan keluaran. Dari kombinasi-kombinasi yang dapat dibentuk menjadi matriks dengan jumlah kolom sebanyak tiga kolom yang menggambarkan dua masukan dan satu keluaran. Kombinasi matriks ini didapat pada *command window* dengan “*train\_data*” yang telah tersimpan pada matlab dengan bentuk *m.file*. kembali ke ANFIS editor, pada isian *load data*, klik tombol *worksp*, yang artinya kita akan memanggil data dari *workspace command window*. Klik *load data*, maka kita akan diminta mengisi variabelnya, ketik: *train\_data*, lalu OK.

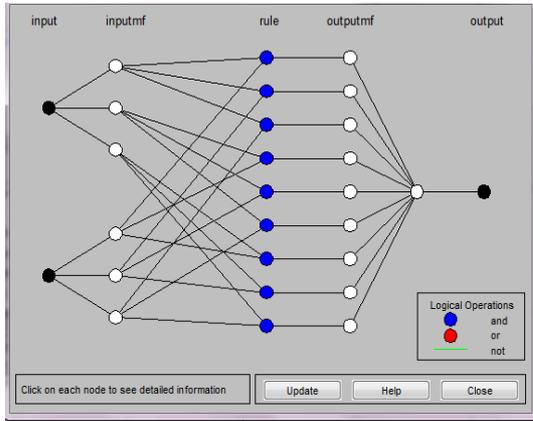
Pada isian *Generate FIS*, pilih tombol *ratio load from file*, karena kita akan memanggil FIS hasil kreasi kita sebelumnya. Klik *load*, dan arahkan ke file *fis*. Berikutnya pada isian *train FIS*, klik *train now* dengan *epoch* yang digunakan misalnya 10.



Gambar 9 Bentuk hasil ANFIS editor dengan pemasukan *Tran\_data*

Kemudian kita dapat membuat FIS secara otomatis. Pada isian *Generate FIS*, pilih *grid partition*, yang dilanjutkan dengan mengklik *Generate FIS*, akan muncul jendela isian tentang tipe fungsi keanggotaan. Pilih

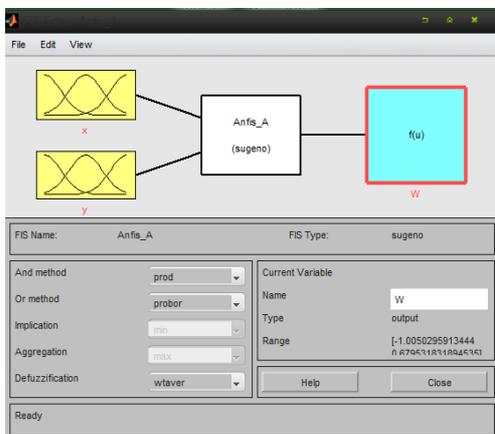
trimf dengan masing-masing 3 fungsi yang ada pada isian *number of MFs* berisi 3 3. Klik OK. Pada ANFIS info jika kita klik *Structure*, maka akan muncul informasi *neuron* pada ANFIS yang baru kita *Generate FIS*.



Gambar 10 Bentuk struktur dari ANFIS editor 2 input 1 output

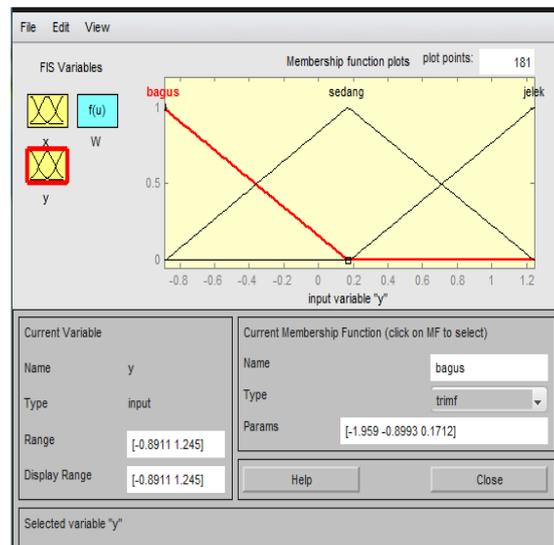
Untuk menyimpan dapat dilakukan dengan mengklik: *file – export*. Ada dua pilihan yang tersedia, yaitu *to workspace* dan *to file*. Setelah diklik *to file*, beri nama, *file fuzzy* akan tersimpan dengan ekstensi “fis”.

Pada Gambar 10 bentuk struktur dari ANFIS di atas, parameter input yang diberikan adalah input x dan y, untuk inputmf dengan type trimf kemudian double klik pada input x dengan memberikan nama misalnya baik, sedang dan buruk, dengan *range* (-0,1) sampai (0,06) sedangkan untuk inputmf kemudian double klik pada input y diberi nama bagus, sedang dan jelek dengan *range* (-0,8) sampai (1,2) yang terlihat pada *membership function* dengan outputmf konstan dengan memberi nama output W.



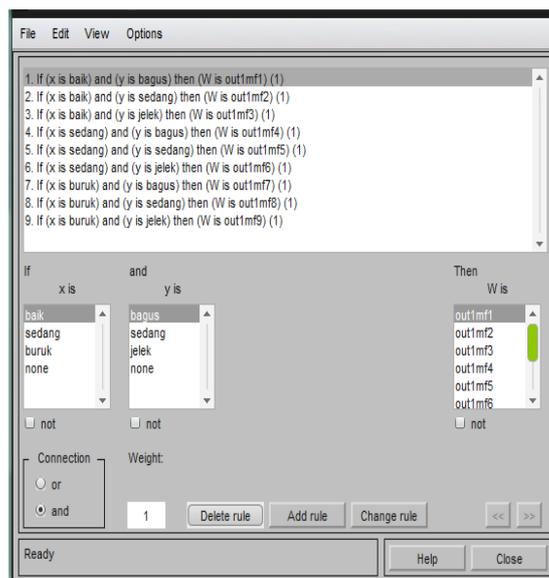
Gambar 11 Bentuk ANFIS editor type Sugeno

Dengan mengganti input 1 menjadi sebagai x, input 2 menjadi y dan output menjadi W pada isian *Name di Current Variable* seperti Gambar 12 ,kemudian double klik pada input variabel (y) maka akan memunculkan *membership function* editor, kemudian mengganti nama yang sesuai misalnya bagus, sedang dan jelek seperti pada gambar di bawah ini. Lakukan hal yang sama untuk input variabel (x) dengan nama misalnya baik, sedang dan buruk.



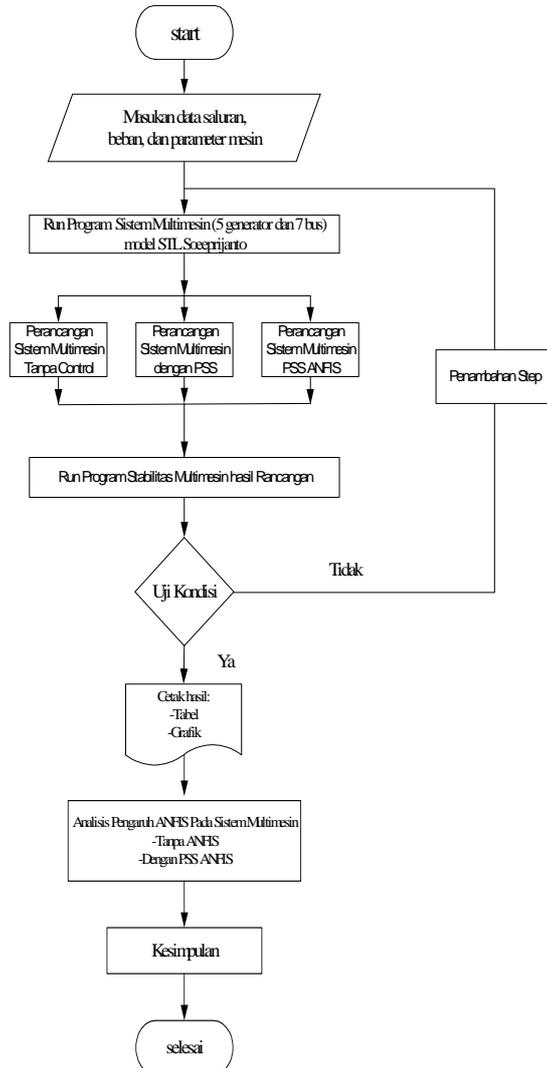
Gambar 12 Bentuk Membership Function ANFIS

Dengan mengklik pada bagian rule, maka akan muncul logika dengan input rule 3 sebagai berikut.



Gambar 13. Bentuk Rule Logika ANFIS editor

**Diagram alir penelitian**

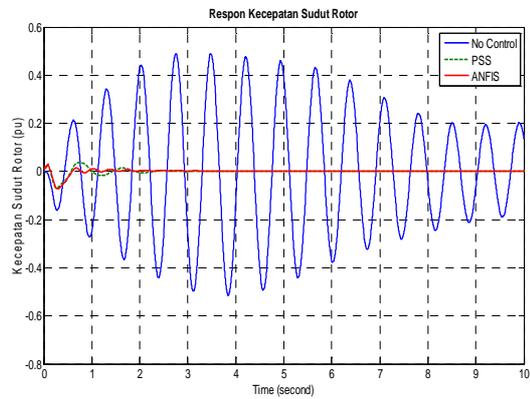


Gambar 14 Diagram alir penelitian

**HASIL DAN ANALISA**

Setelah melakukan simulasi maka didapatkan hasil dari simulasi dan dapat di analisa dalam bentuk grafik perbandingan perubahan kecepatan sudut rotor antara sistem yang menggunakan PSS dengan sistem menggunakan ANFIS dengan memberikan tambah input step sebgasai inialisasi gangguan yang di tempatkan pada generator 1 dengan variasi nilai antara 0,15, 0,2, 0,3, 0,45 dan 0,65 pu, maka untuk hasilnya dapat ditunjukkan dalam perbaikan dari ke dua sistem sebagai berikut.

Step penambahan beban sebesar 0,15 pu didapatkan perbandingan kecepatan sudut rotor pada grafik berikut.



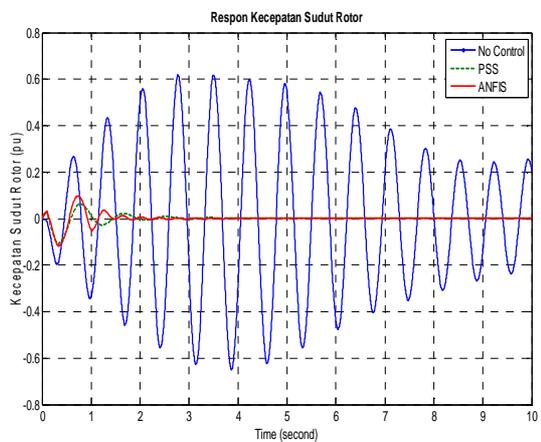
Gambar 15 Grafik kecepatan sudut rotor dengan input step 0,15 pu

Tabel 1. Data kecepatan sudut rotor

Jenis metode	Kecepatan sudut rotor	
	Overshoot (pu)	Settlingtime (s)
Tanpa control	-0,5156	Diatas 10
PSS	-0,0685	5,5
PSS ANFIS	-0,0722	5,2

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontrol PSS ANFIS lebih baik dalam meredam osilasi dengan waktu yang lebih cepat mencapai kestabilan dibandingkan dengan sistem yang dikontrol PSS dan sistem tanpa kontrol.

Input step penambahan beban sebesar 0,2 pu didapatkan perbandingan kecepatan sudut rotor pada grafik berikut.



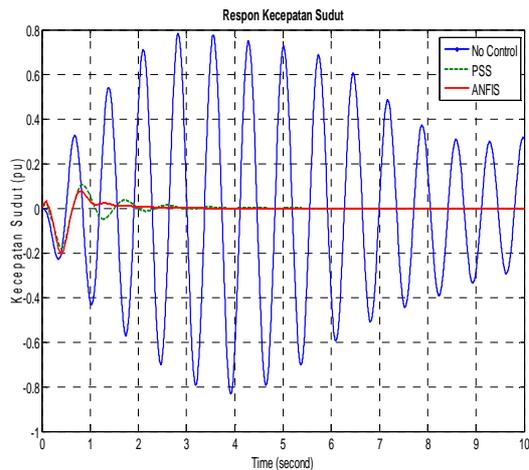
Gambar 16 Grafik kecepatan sudut rotor dengan input step 0,2 pu

Tabel 2 perbandingan respon terhadap input step penambahan beban 0,2 pu pada generator 1

Jenis metode	Kecepatan sudut rotor	
	Overshoot (pu)	Settlingtime (s)
Tanpa control	-0,6509	Diatas 10
PSS	-0,1068	5,5
PSS ANFIS	-0,1181	5,1

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontrol ANFIS lebih baik dalam meredam osilasi dengan waktu yang lebih cepat mencapai kestabilan dibandingkan dengan sistem yang dikontrol PSS dan sistem tanpa kontrol.

Input step penambahan beban sebesar 0,3 pu didapatkan perbandingan kecepatan sudut rotor pada grafik berikut.



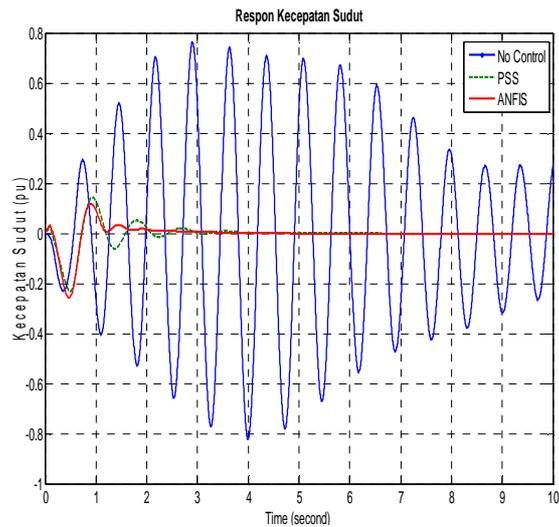
Gambar 17 Grafik kecepatan sudut rotor dengan input step 0,3 pu

Tabel 3 perbandingan respon terhadap input step penambahan beban 0,3 pu pada generator 1

Jenis metode	Kecepatan sudut rotor	
	Overshoot (pu)	Settlingtime(s)
Tanpa control	-0,8297	Diatas 10
PSS	-0,1801	5,6
PSS ANFIS	-0,2036	4,6

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontrol ANFIS lebih baik dalam meredam osilasi dengan waktu yang lebih cepat mencapai kestabilan dibandingkan dengan sistem yang dikontrol PSS dan sistem tanpa kontrol.

Step penambahan beban sebesar 0,45 pu didapatkan perbandingan kecepatan sudut rotor pada grafik berikut.



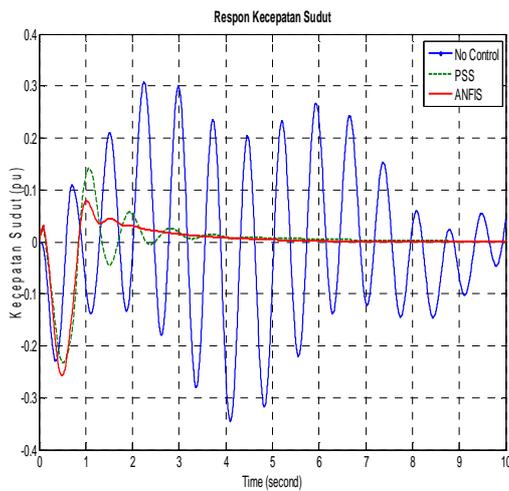
Gambar 18 Grafik kecepatan sudut rotor dengan input step 0,45 pu

Tabel 4 perbandingan respon terhadap input step penambahan beban 0,45 pu pada generator 1

Jenis metode	Kecepatan sudut rotor	
	Overshoot (pu)	Settlingtime(s)
Tanpa control	-0,8216	Diatas 10
PSS	-0,2310	5,8
PSS ANFIS	-0,2554	4,4

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontrol ANFIS lebih baik dalam meredam osilasi dengan waktu yang lebih cepat mencapai kestabilan dibandingkan dengan sistem yang dikontrol PSS dan sistem tanpa kontrol.

Step penambahan beban sebesar 0,65 pu didapatkan perbandingan kecepatan sudut rotor pada grafik berikut.



Gambar 19 Grafik kecepatan sudut rotor dengan input step 0,65 pu

Tabel 5 perbandingan respon terhadap input step penambahan beban 0,65 pu pada generator 1

Jenis metode	Kecepatan sudut rotor	
	Overshoot (pu)	Settlingtime(s)
Tanpa control	-0,3461	Diatas 10
PSS	-0,2328	6
PSS ANFIS	-0,2578	4

Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontrol ANFIS lebih baik dalam meredam osilasi dengan waktu yang lebih cepat mencapai kestabilan dibandingkan dengan sistem yang dikontrol PSS dan sistem tanpa kontrol.

Dengan mengubah-ubah nilai fungsi input step sebagai penambahan beban pada Generator 1 dengan variasi nilai step gangguan yang dilakukan kemudian melakukan simulasi pada bahasan 3.1.1 dan 3.1.2 maka didapatkan rangkuman data hasil perubahan kecepatan sudut rotor dengan pembacaan data respon perbaikan perbandingan untuk kondisi pembeban selanjutnya dapat ditampilkan pada tabel 6 berikut.

Berdasarkan Tabel 6 diketahui pemasangan ANFIS akan berdampak pada pengurangan penyimpangan respon gelombang yang lazim disebut *Overshoot*. Semakin besar perubahan beban yang diberikan, maka *Overshoot* respon kecepatan sudut semakin besar, nilai *Overshoot* sistem dapat di kurangi dengan menambah redaman, dalam penelitian ini redaman diberikan oleh perangkat PSS. Penurunan nilai *Overshoot*

dengan pemakaian PSS rata-rata sebesar 10,72% angka ini merupakan perbaikan atas *Overshoot* pemasangan ANFIS dengan pemasangan PSS sebesar (-0,6922) menjadi (-0,6252) pu.

Tabel 6 Rangkuman data hasil simulasi kecepatan sudut rotor untuk berbagai kondisi gangguan pembebanan pada generator 1

step	Kecepatan Sudut Rotor					
	Overshoot (pu)			Settling time (s)		
	pss	anfis	%	pss	anfis	%
0,15	-0,069	-0,072	5,4	5,5	5,2	5,4
0,2	-0,107	-0,118	10,58	5,5	5,1	7,3
0,3	-0,180	-0,204	13,04	5,6	4,6	17,86
0,45	-0,231	-0,255	10,56	5,8	4,4	24,14
0,65	-0,233	-0,258	10,74	6	4	33,3
Rerata	-0,625	-0,692	10,72	4,73	3,88	17,97
Max	-0,233	-0,258	13,04	6	5,2	33,3
Min	-0,069	-0,072	5,4	5,5	4	5,4

Selain perubahan nilai *overshoot*, tabel 6 juga memuat penurunan nilai *settling time*. *Settling time* adalah waktu yang diperlukan sistem untuk menjadi stabil dengan perubahan beban yang diatur. Didapatkan nilai yang signifikan mengenai pengaruh pemasangan ANFIS terhadap *settling time* rata-rata sebesar 17,97%.

### KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan dengan menarik point-point penting dari penelitian

1. Respon perbaikan perubahan kecepatan sudut rotor yang diperoleh dengan memberikan gangguan berupa input step dengan nilai variasi 0,15, 0,2, 0,3, 0,45 dan 0,65 pu, rata-rata *overshoot* omega ( $\omega$ ) sebesar 10,72 % dengan perubahan kecepatan sudut rotor pada *settling time* mencapai waktu rata-rata sebesar 17,97%.
2. Penggunaan dengan desain ANFIS hasil yang diperoleh lebih baik dalam meredam osilasi dibandingkan dengan PSS dengan memberikan gangguan pada input step di generator 1 dalam memperbaiki respon dengan rata-rata *overshoot* dari (-0,6922)<sup>o</sup> pumenjadi (-0.6252)<sup>o</sup>pupada *settling time* rata-rata dari (4,73) s menjadi (3,88)s.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kundur, P., 1993, *"Power System Stability And Control"*, McGraw-Hill, USA
- Kusumadewi, S., Hartati, S., 2010, *"NEURO-FUZZY : Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf"*, Edisi Ke dua – Yogyakarta; Graha Ilmu, 2010
- Masrul, R., 2009, *"Analisis Penggunaan Power System Stabilizer (PSS) Dalam Perbaikan Stabilitas Dinamik Sistem Tenaga Listrik Multimesin"*, Skripsi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan
- Nratha, I. M. A., Muljono, A. B., 2010, *"Pengaruh Power System Stabilizer Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Unit Pembangkit Tersebar"*, Teknologi Elektro, Vol.9, No.1.
- Padiyar, K. R., 1996, *"Power System Dynamics Stability And Control"*, Indian Institute of Science, Bangalore, India
- Praja, L. I. W. P., 2008, *"Simulasi Penerapan Power System Stabilizer (PSS) Pada Sistem Tenaga Listrik Pulau Lombok"*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
- Soeprijanto, A., Yorino, N., Sasaki, H., 2000 *"A Method For Constructing Reduced Models Effective For Designing Coordinated  $H^\infty$  PSS's"*, T. IEE Japan, vol. 120-B, no. 11.
- Jamal, A., Syahputra, R., 2011, *"Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif"*, Semesta Teknika, Vol.14, No.2, 139-149.
- Wenxin, L., Venayagamoorthy, G. K., Wunsch, D. C., 2005, *"A Heuristic-Dynamic-Programming-Based Power System Stabilizer for a Turbogenerator in a Single-Machine Power System"*. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 41, no. 5.