

DESIGN *LOAD FREQUENCY CONTROL* (LFC) UNTUK SISTEM DUA AREA MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* (FLC)

Agus Siswanto

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus Cirebon

Jl. Perjuangan No. 17 Kota Cirebon

Email: asiswanto@untagcirebon.ac.id

ABSTRAK

Dalam sistem kelistrikan terdapat banyak beban yang semakin mengikat, hal tersebut dapat mengganggu kestabilan dan frekuensi pada sistem. Sisi ini akan membawa dampak yang negative terhadap operasi sistem tenaga listrik terutama pada fluktuasi frekuensi yang diizinkan. Paper ini menjelaskan Kontrol Frekuensi akibat perubahan beban pada sistem dua area. Pada sistem tenaga listrik didesain controller menggunakan fuzzy logic pada disistem. Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan Fuzzy logic dapat meredam overshoot saat terjadi perubahan frekuensi yang mengganggu sistem.

Kata Kunci: *Load Frequency Control, Fuzzy Logic Controller*

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan *small disturbance* dapat dijadikan kajian studi dalam dinamika system tenaga listrik. dalam hal ini para peneliti berusaha mengkombinasikan system kelistrikan dengan kajian ilmu *modern* untuk mengatasi masalah *small disturbance* sehingga diperoleh solusi dalam system tenaga listrik [1-2]. Pada tahun-tahun yang lalu banyak dilakukan penelitian tentang peralatan bantu untuk menstabilkan system, antara lain PI, (*proportional-Integral*) PID (*Prorotional Integral Deirivative*), dan lain-lain. Hal yang penting dalam mengatur PSS adalah menentukan metode untuk memperoleh penalaan yang tepat, dari parameter-parameter sistem untuk menstabilkan stabilitasnya ketika terdapat guncangan (kenaikan atau penurunan beban). Pada sistem PSS (*Power System Stabilizer*) yang konvensional (CPSS), parameternya ditentukan dengan cara *trial* dan *error* hal ini akan menghasilkan batasan stabilitas yang mudah berubah dan tidak dapat mempertahankan kestabilan sistem. CPSS kesulitan untuk menjaga kestabilan frekuensi

dan tegangan jika terdapat perilaku dinamik dari beban.

Strategi yang telah dilakukan beberapa peneliti yang telah menggunakan peralatan tambahan seperti controller PI dan PID dan PSS untuk menstabilkan sistem tenaga listrik yang terkonsentrasi pada tegangan dan frekuensi dalam sistem multimesin[3-6]. Oleh sebab itu pada penelitian ini diteliti sebuah perbaikan performansi sistem tenaga listrik dua area yang berupa perbaikan stabilitas frekuensi dan tegangan. Pada aplikasi ini dilakukan tingkat pembebanan yang bervariasi untuk mengkaji tingkat aplikasi metode fuzzy pada Power system Stabilizer. Dengan asumsi bahwa variable yang bervariasi dapat diukur, dikontrol, dan stabilitas saat terjadi gangguan pada sistem. pada aplikasi ini penggunaan metode fuzzy Controller sangat optimal dibandingkan penggunaan PSS tanpa ditala menggunakan fuzzy logic. Aplikasi pada penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang positif terhadap stabilitas sistem dua area yang dirancang, yang dapat digunakan sebagai miniatur sistem tenaga listrik.

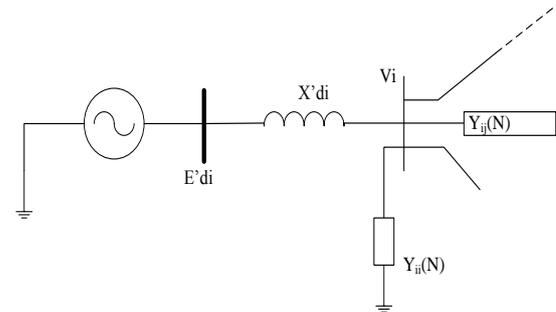
Model System Kelistrikan Dua Area

System kelistrikan sangat kompleks, terdapat banyak kajian atau studi yang dapat

dikembangkan salah satunya adalah studi kestabilan dinamik. disebabkan banyaknya variabel yang sangat terkait antara Generator hingga beban, maka hal yang tak dapat di elakan adalah sebuah jaringan yang dapat menyesuaikan antara *supply* and *demand* sehingga respon dinamik dapat dikendalikan. Dalam sub-bab ini akan disajikan model sistem kelistrikan *multimesin* yang diantaranya: Generator sinkron, turbin dan pengaturannya, sistem interkoneksi, beban static. Untuk mempermudah memahami tentang sistem kelistrikan secara menyeluruh, di sini akan disajikan beberapa tahap dari proses yang digunakan di sistem yang meliputi:

1. *Mesin tunggal*, adalah sebuah mesin yang mensuplay daya ke suatu beban tanpa dibantu oleh mesin lain [1,7].
2. *Mesin terkopling*, adalah suatu unit pembangkit yang terdiri dari beberapa mesin yang mensuplay secara bersama-sama.
3. *Sistem pendistribusian multiarea* adalah pendistribusian daya listrik disuatu daerah (*area*) yang dilayani oleh satu atau beberapa bus gardu induk) yang di daerah tersebut dan merupakan bagian dari system yang terinterkoneksi.
4. *Sistem Interkoneksi*, adalah sistem terpadu penyuluran daya listrik bertegangan ekstra tinggi yang dicatu oleh pembangkit yang berkapasitas besar dari beberapa area.
5. *Sistem Multimesin*, adalah gabungan dari beberapa pembangkit (bisa terdiri dari mesin terkopling atau mesin tunggal) yang terhubung secara interkoneksi [8].
6. *Beban Statik*, adalah beban tenaga listrik baik yang berupa beban local maupun beban tersalur ke sistem yang independensinya dianggap tetap [1].
7. *Beban Lokal*, adalah beban yang berada pada bus pembangkit.

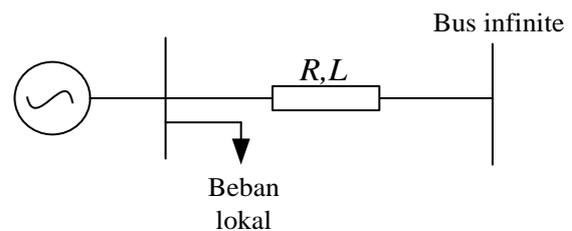
Dalam sistem interkoneksi memiliki karakteristik daya yang sama, hal ini jika terjadi dari salah satu pembangkit yang mengalami penurunan tegangan atau frekuensi maka pembangkit (*mesin*) yang lain ikut menanggung dari akibat tersebut. oleh karean itu penurunan frekuensi dan tegangan ditanggung bersama-sama oleh sistem yang terinterkoneksi.



Gambar 1, Rangkaian Ekivalen Jaringan Daya Listrik Multimesin [11]

Model Mesin Sinkron

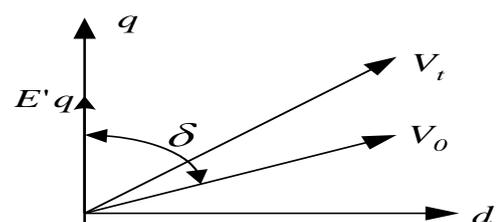
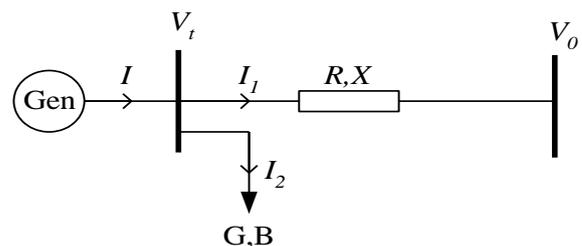
Model mesin sinkron mengacu model mesin tunggal yang terhubung ke Gardu Inuk yang takterhingga, teori ini diperkenalkan oleh de Mello dan Concordia [7], yang kemudian dikembangkan oleh Mousa dan Y.N. model multimesin yang telah terjadi standart IEEE [8].



Gambar 2. Mesin tunggal terhubung ke bus infinite

Langkah-langkah penurunan persamaan dasar mesin sinkron adalah sebagai berikut:

a. Persamaan Arus



Gambar 3. Diagram arus dan tegangan sitem mesin tunggal

Dari Gambar 2.3. terlihat bahwa:

$$I = I_1 + I_2 \tag{1}$$

$$I_1 = \frac{(V_t - V_0)}{Z}; Z = R + jX \tag{2}$$

$$I_2 = YV_t; Y = G + jB \tag{3}$$

Dari Persamaan (2-1), (2-2) dan (2-3) didapatkan

$$I = \left(\frac{V_t}{Z} + YV_t\right) - \left(\frac{1}{Z} V_0\right) \tag{4}$$

$$ZI = (1 + YZ)V_t - V_0 \tag{5}$$

Dengan,

$$Z = R + jX \tag{6.a}$$

$$I = I_d + jI_q \tag{6.b}$$

$$1 + YZ = C_1 + jC_2 \tag{6.c}$$

$$V_t = V_d + jV_q \tag{6.d}$$

$$V_0 = V_0(\sin\delta + j\cos\delta) \tag{6.e}$$

Dengan memasukkan persamaan (6.a)-(6.e) kedalam Persaman arus (7), akan didapat:

$$(R + jX)(I_d + jI_q) = (C_1 + jC_2)(V_d + jV_q) - V_0(\sin\delta + j\cos\delta) \tag{7}$$

Persamaan tersebut mempunyai dua komponen:

Komponen riilnya adalah:

$$RI_d - XI_q = (C_1 V_d) - (C_2 V_q) - (V_0 \sin\delta) \tag{8}$$

dan komponen imajineranya adalah:

$$XI_d + RI_q = (C_2 V_d) + (C_1 V_q) - (V_0 \cos\delta) \tag{9}$$

Dalam bentuk matrik, Persamaan (8) dan (9) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} R & -X \\ X & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & -C_2 \\ C_2 & C_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} - V_0 \begin{bmatrix} \sin\delta \\ \cos\delta \end{bmatrix} \tag{10}$$

dengan,

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -X_q \\ -X'_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E'_q \end{bmatrix}$$

Persamaan matrik arus (11) menjadi

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} E'_q - \frac{V_0}{W} \begin{bmatrix} R_2 & X_2 \\ -X_1 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin\delta \\ \cos\delta \end{bmatrix}$$

dengan,

$$R_1 = R - (C_2 X'_d)$$

$$R_2 = R - (C_2 X_q)$$

$$X_1 = X + (C_1 X'_d)$$

$$X_2 = X + (C_1 X_q)$$

$$W = R_1 R_2 + X_1 X_2$$

Persamaan matrix arus (12) setelah disederhanakan dan dilinearisasi adalah:

$$\begin{bmatrix} \Delta I_d \\ \Delta I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} \Delta E'_q + \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} \Delta\delta$$

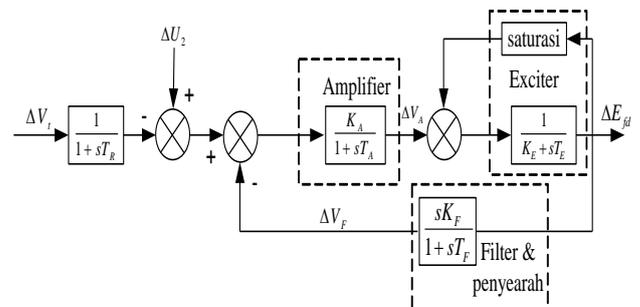
dengan,

$$\begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} = \frac{-V_0}{W} \begin{bmatrix} R_2 & X_2 \\ -X_1 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta \\ \sin\delta \end{bmatrix}$$

Persamaan arus (13) dan (14) sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan persamaan dasar ke-3, ke-4 dan ke-5 yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

2.2.3. Sistem Eksitasi

Pada pembahasan ini, model sistem eksitasi yang dipakai mengacu pada model IEEE tipe 1 [9-11] seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. Diagram blok sistem eksitasi

Dengan harga-harga parameter sebagai berikut:

K_A : konstanta penguatan amplifier

K_F : konstanta penguatan filter

K_E : konstanta penguatan exciter

T_A : waktu tanggap amplifier

T_E : waktu tanggap exciter

T_F : waktu tanggap filter

ΔU_2 : perubahan sinyal kontrol mesin

Harga konstanta T_R biasanya kecil sekali, sehingga dapat diabaikan. Dengan mengabaikan juga efek saturasi, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta E_{fd} &= \frac{1}{K_E + sT_E} \Delta V_A \\ \Delta \dot{E}_{fd} &= \frac{\Delta V_A}{T_E} - \frac{K_E \Delta E_{fd}}{T_E} \\ \Delta V_F &= \frac{sK_F}{1 + sT_F} \Delta E_{fd} \\ \Delta \dot{V}_F &= \frac{K_F}{T_F} \Delta \dot{E}_{fd} - \frac{\Delta V_F}{T_F} \\ \Delta \dot{V}_F &= \frac{K_F \Delta V_A}{T_E T_F} - \frac{K_E K_F \Delta E_{fd}}{T_E T_F} - \frac{\Delta V_F}{T_F} \end{aligned} \tag{14}$$

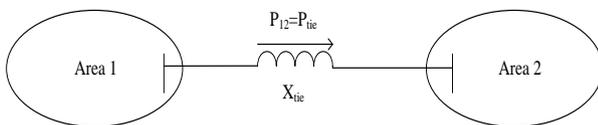
$$\tag{15}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_A &= \frac{K_A}{1 + sT_A} (\Delta U_2 - \Delta V - \Delta V_F) \\ \Delta V_A + \Delta \dot{V}_A T_A &= K_A \Delta U_2 - K_A \Delta V - K_A V_F \\ \Delta \dot{V}_A T_A &= K_A \Delta U_2 - K_A \Delta V - K_A V - \Delta V_A \\ \Delta \dot{V}_A &= \frac{\Delta U_2 K_A}{T_A} - \frac{\Delta \delta K_A K_5}{T_A} - \frac{K_A K_6 \Delta E'_q}{T_A} - \frac{\Delta V_F K_A}{T_A} - \frac{\Delta V_A}{T_A} \end{aligned} \tag{16}$$

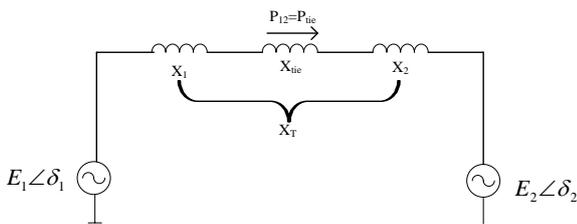
dengan,

ΔV_A = perubahan tegangan amplifier

ΔV_F = perubahan tegangan keluaran penyearah



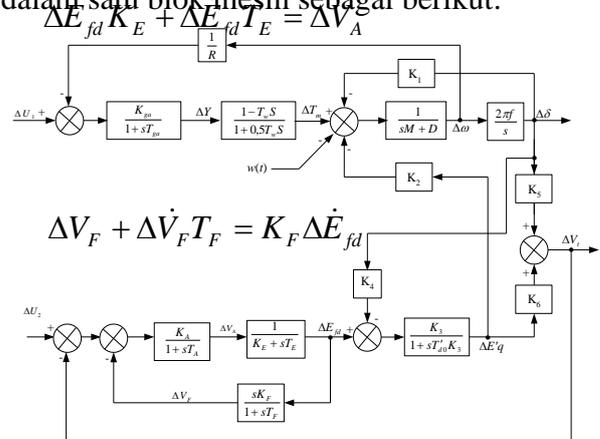
Gambar 5. Dua Area System



Gambar 6. Rangkaian Pengganti Dua Area System

Model Keseluruhan Sistem

Sistem tenaga listrik secara menyeluruh yang terbagi dalam dua area dapat diwakilkan dalam satu blok mesin sebagai berikut:



Gambar 7. Sebuah system multimesin ditinjau dari salah satu mesin

Fuzzy Logic Controller

Metode-metode perancangan FLC menggabungkan aspek pendefinisian himpunan fuzzy dengan aspek logika fuzzy untuk memperoleh suatu control yang dapat mempresentasikan cara kerja operator manusia. Dengan prosedur perancangan tertentu kedua aspek diterapkan pada masukan dan keluaran untuk memberi hasil perancangan yang berbentuk suatu algoritma aturan fuzzy. Pada beberapa hasil perancangan yang berbebtuk suatu algoritma aturan fuzzy. Pada beberapa perancangan kontrol fuzzy menggunakan rule-rule yang telah baku. Salah satu bentuk aturan rule pada yang digunakan dalam merancang sistem pengendalian proses-proses tersebut, yang mampu menerjemahkan aturan-aturan fuzzy maka diperlukan teori logika fuzzy sebagai salah satu alternative. Fungsi karakteristik sebuah himpunan samar memberikan nilai yang berbeda pada selang waktu tertentu pada setiap elemen semsta pembicaraan dan menandakan tingkat keanggotaan elemen pada himpunan yang dituju. Nilai yang lebar menyatakan tingkat keanggotaan yang lebih tinggi. Fungsi dan sifat yang lebih umum ini disebut sebagai fungsi kenggotaan (*membership Function*) sedangkan bagian-bagian penting dalam ligika fuzzy adalah

secara umum kontroller fuzzy mempunyai kemampuan sebagai berikut :

1. beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontrol manusia.
2. Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stasioner
3. Memenuhi spesifikasi opsional dan kriteria
4. Strukturnya sederhana, kuat dan beropersi real time.

2.5.1. Struktur Dasar FLC

Secara umum fuzzy logic Controller mempunyai empat bagian pokok seperti yang ditunjukkan Gambar 9 Keempat bagian tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Fuzzifier; berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat crisp (*bukan fuzzy*) ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator fuzzifier.
2. Basis Pengetahuan; berisi adat aturan yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan keluaran dalam perangkat aturan kontrol.
3. Logika Pengambil Keputusan; merupakan inti dari FLC yang mempunyai kemampuan dalam mengambil keputusan. Aksi kontrol ini disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy.
4. Defuzzifikasi; yang berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi aturan yang bersifat crisp dengan menggunakan operator defuzzifikasi.

Dalam penerapan suatu sistem pengendali, besaran masukan yang diperoleh dari plant melalui sensor akan selalu berupa data-data non fuzzy (*crisp*) proses transformasi dilakukan dengan cara pemetaan ruang masukan non fuzzy ke dalam ruang masukan variabel fuzzy (*normalisasi*) dengan bantuan factor penskalaan (*scaling factor*)

Faktor penskalaan diatur sedemikian rupa sehingga seluaruh variabel masukan proses terpetakan dlam semesta pembicaraan (*universe discoverse*) yang dirancang. Dalam penentuan (*tuning*), faktor skal variabel error (ΔE) dan differensial error ($\Delta \dot{E}$) diskala heuristik. Kemudian dilakukan pengolahan data dalam FLC berdasarkan teori himpunan fuzzy yang menggunakan variabel linguistik yang bersifat fuzzy.

2.5.3. Distribusi Segitiga

Distribusi Segitiga merupakan distribusi yang paling banyak digunakan dalam proses fuzzifikasi, terutama dalam penerapan teori fuzzy baik untuk sistem pengaturan maupun pada pengenalan pola. Hal ini didasarkan pada pemikiran akan kesederhanaan formulasi sehingga tidak banyak menyita waktu dalam proses perhitungan. Distribusi ini mempunyai bentuk kurva dan fungsi keanggotaan sebagai berikut :

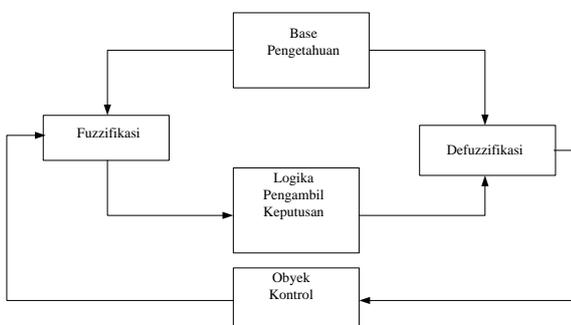
Dengan fungsi keanggotaan :

$$\begin{aligned} \mu_x(x) &= 0 & \forall X \leq X_1 \geq X_2 \\ &= (X - X_1) / P & \forall X_1 \leq X \leq P \\ &= (X_2 - X) / P & \forall P \leq X \leq X_2 \end{aligned}$$

2.5.4. Basis Data

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy dari sinyal masukan dan sinyal keluaran dapat digunakan oleh variable linguistic dalam aturan dasar. Perancangan basis data meliputi tiga pokok, yaitu:

Fuzzy dapat memberikan atau menyesuaikan perubahan dari tegangan dan frekuensi, hal tersebut sesuai dengan prinsip dasar fuzzy Logic Controller, bahwa fuzzy adalah metode yang samar (*black Box*), hal ini



Gambar 8, Struktur Dasar Fuzzy Logik Kontrol

2.5.2. Fuzzifikasi

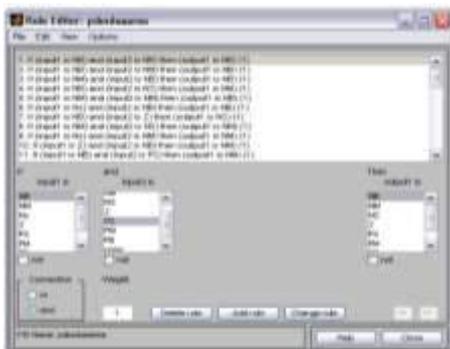
di manfaatkan dalam metode sistem kelistrikan yangmana perunahan frekungsi dan tegangan berubah sewaktu-waktu yang di sebabkan oleh perubahan beban yang sangat berfluktuatif. Untuk mempermudah pengaturan fuzzy logic dalam hal ini, ditntuak fariabel-fariabel lingustik yang dapat menentukan bekerjanya metode fuzzy logic. Untuk menentukan variabel linguistik serta range yang akan digunakan pada sistem Fuzzy dalam matlab akan terbentuk seperti Gambar 9.



Gambar 9. Proses fuzzifikasi FIS Editor

Membuat Aturan Dasar (Rule Base)

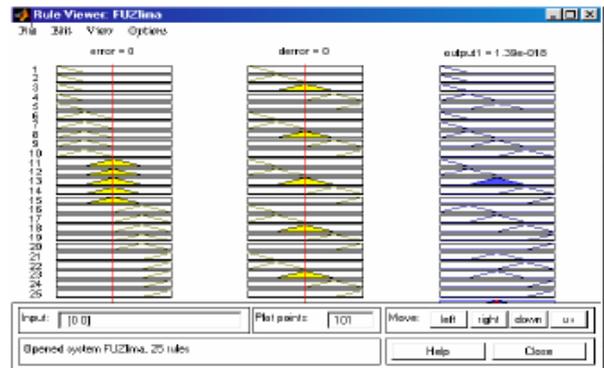
Kemudian menentukan aturan dasar (*rule base*) untuk menciptakan defuzzifikasi sinyal atur (*output*) yang diinginkan. Berdasarkan data-data dengan tujuh variabel input error dan tujuh variabel perubahan error (*derror*) sehingga diperoleh empat puluh sembilan rule base



Gambar 10. Aplikasi rule base dalam bahasa pemrograman matlab

Untuk melihat alur penalaran fuzzy pada sistem yang meliputi pemetaan input yang diberikan ke tiap-tiap variabel input, aplikasi operator dan fungsi implikasi, komposisi (*agregasi*) aturan, sampai pada penentuan

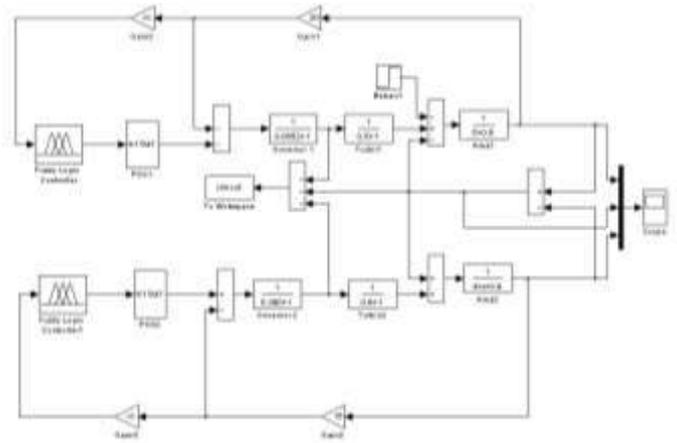
output tegas pada metode defuzzifikasi, implementasi pemrograman dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Implementasi rule base dalam bahasa pemrograman matlab (rule viewer).

HASIL DAN ANALISIS

Pada bagian ini, sistem mesin (terlihat Gambar 7) digunakan sebagai contoh untuk simulasi plant sebagai aplikasi fuzzy sisem. Performansi dari variasi-variasi dan tegangan sebagi output dari sistem dua area menggunakan fuzzy logic controller.



Gambar 12, Simulasi dua area masing-masing menggunakan FLC

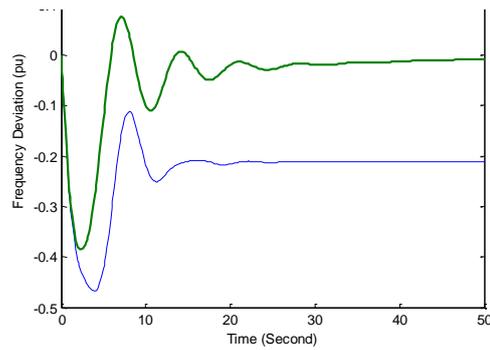
Dalam bagaian ini, Sistem dua Area yang terdiri dari 15 bus dan 5 mesin (lihat pada Gambar 12) di disimulasikan menggunakan program MATLAB, sebagai plant untuk aplikasi PSS yang Optimal. Sistem yang terbentuk merupakan minatur yang digunakan dalam simulasi. hal ini merupakan sistem dua area yang masing-masing menaggung beban secara bersama-sama, namun jika line trasmisi sangat jauh kemudaian salah satu

area mengalami kenaikan beban yang cukup signifikan maka dengan membuat miniatur seperti dapat dilihat hasil respon, sebelum dilakukan secara nyata. Sebuah simulasi dapat mewakili sistem secara nyata namun masih terdapat error yang perlu diperbaiki. Hasil respon dari beberapa frekuensi dan tegangan pada masing-masing area sebagai output dari system yang belum terpasang PSS, di pasang pada satu area, dan dipasang pada masing-masing area. Respon dinamik system tenaga listrik dalam analisis studi kestabilan sangat dipengaruhi oleh pemilihan model. Model itu sendiri didefinisikan sebagai representasi dari aspek-aspek system yang ada atau system yang dibangun yang dapat menyajikan informasi tentang system tersebut dalam bentuk yang digunakan.

Tabel 4.1, *Parameter Generator*

Generator	Parameter	Nilai
1	Konstanta t turbin	0.0555 sec
	Konstanta t governor	0.5 sec
	Besar beban	0.51 pu
	Perubahan beban 1	0.5 pu
	Waktu simulasi	35.00 dt
	Frekuensi system	50 Hz
2	Konstanta t turbin	0.0555 sec
	Konstanta t governor	0.5 sec
	Besar beban	0.51 pu
	Perubahan beban 1	0.5 pu
	Waktu simulasi	35.00 dt
	Frekuensi system	50 Hz

Pada persamaan dinamis system tenaga listrik yang telah diuraikan pada bagaian terdahulu dapat diselesaikan dengan prosedur *step-by step*. Kemudian pada tahap simulasi menggunakan parameter, dalam tiap generator memiliki, *setting* yang berbedanya.



Gambar 4.1. Hasil Simulasi

PENUTUP

Perfirmansi control dari aplikasi fuzzy pada sstem dua are telah dibandingkan dari case, yang telah dikontrol menggunakan fuzzy berbagai macam variasi pembebanan. Dalam hasil akhir menunjukkan bahwa aplikasi dari fuzzy sanagat memberikan hasil yang baik jika dibansingkan dengan palikasi controller lain. Respon frekuensi sistem ditunjukkan dan kontroller yang menggunakan LFC. Area satu pembangkit hydro sama dengan área dua. Pada área tiga pembangkit termal memiliki karakteristik yang dibanding dengan pembangkit hydro.

DARTAR PUSTAKA

- P . M. Anderson, and a.a. Fouad, *Power System Control And Stability*, The Iowa State University Press, 1982.
- Prabha Kundur, “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill, Inc., 1993.
- Agus Siswanto, I. Robandi, *Design of Fuzzy Logic (PSS) Power System Stabilizer on Multimesin*, proceeding of Conference on Electrical, Electric, Communication, and information (CECI) and Seminar on Intelgence Technology and Its Application (SITIA), Surabaya, June 17th 2003.
- A. Fadlun, I. Robandi, *Performansi Load Frequncy Control (LFC)*, proceeding of Conference on Electrical, Electric, Communication, and information (CECI) and Seminar on Intelgence Technology

and Its Application (SITIA), Surabaya, June 17th 2003.

Gatot Suparto, I. Robandi, Frank Lewis, *Pengaturan Frekuensi pada sistem Tenaga Listrik Menggunakan Fuzzy Logic Control*, proceeding of Conference on Electrical, Electric, Communication, and information (CECI) and Seminar on Intelligence Technology and Its Application (SITIA), Surabaya, June 17th 2003.

Bramanto, *Penalaan PSS (Power System Stabilizer) Menggunakan Kontrol Optimal Melalui Metode Trial and Error Di PLTA Saguling*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Adi Tama Surabaya, Oktober 1997.

E.P De Mello and Conordia, *Concepts of synchronous machine stability by excitation control*, IEEE, vol.Pass-88,No.4,April 1969,pp.316-329.

Hamdy A.M. Mousa and Yao-Nan Yu, *Optimal power system stabilizer through excitation and/or Governor Control*, IEEE, vol. PAS-91, May/june 1972, pp.1166-1174.

Marwan Rosyadi & I. Robandi, *The Optimal solution of Tow Area Interconnected Power System with Unmeasurable Variables via LOG controller*, Porceding of Seminar Nasional Teknik Tenaga Listrik (SENATRIK), 7-8 December 2004, Bandung ISBN 979-999069-03.

I. Robandi, Hengky Hidayat Suyadi, *Design Fuzzy Logic Governur Sebagai Load Frequency Control pada Sistem Tenaga Listrik*, Porceding of Seminar Nasional Teknik Tenaga Listrik (SENATRIK), 7-8 December 2004, Bandung ISBN 979-999069-03.

UU RI No. 30 Tahun 2007 Tentang Energi

UU RI No 30 tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan