

# PENINGKATAN KINERJA PLTB MELALUI KENDALI FREKUENSI FUZZY LOGIC

Agus Kiswanto<sup>1\*</sup>, Yuli Hermanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi elektro sistem tenaga Universitas Bhayangkara Surabaya,  
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya

---

## Riwayat artikel:

Received: 1 Desember 2022

Accepted: 29 Desember 2023

Published: 1 Januari 2024

## Keywords:

**Governor, Load Frequency Control, PLTB, Fuzzy**

## Correspondent Email:

kiswanto@ubhara.ac.id

---

**Abstrak.** Penelitian ini membahas penggunaan Governor sebagai kontrol frekuensi pada sistem pembangkit listrik dengan menerapkan dua metode kontrol, yaitu Proportional-Integral (PI) Controller dan Fuzzy Logic Controller (FLC). Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi respon frekuensi dinamik sistem dan membandingkan kinerja kedua metode kontrol tersebut terhadap standar yang diizinkan, yaitu dalam rentang  $50 \pm 2\%$  (49 Hz hingga 51 Hz). Melalui simulasi sistem pembangkit listrik, parameternya diatur untuk mencapai target frekuensi, dan kedua metode kontrol dievaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode dapat menjaga frekuensi dalam rentang yang diinginkan. Namun, Fuzzy Logic Controller pada Governor menghasilkan output respon frekuensi dinamik yang lebih baik dengan persentase error steady state yang lebih rendah. Penerapan Fuzzy Logic Controller juga memperlihatkan waktu yang lebih cepat dalam mencapai keadaan steady state dibandingkan dengan metode PI Controller. Keunggulan ini menunjukkan bahwa FLC memberikan kontrol yang lebih adaptif dan responsif terhadap fluktuasi beban, meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem pembangkit listrik. Penelitian ini memberikan pandangan yang lebih mendalam terkait optimalisasi kontrol frekuensi pada Governor, terutama dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller. Dengan demikian, pengembangan teknologi ini memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja dan kehandalan sistem pembangkit listrik, mendukung transformasi ke arah jaringan listrik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

**Abstract.** This research explores the use of a Governor as a frequency control mechanism in a power generation system by implementing two control methods: Proportional-Integral (PI) Controller and Fuzzy Logic Controller (FLC). The objective of the study is to evaluate the dynamic frequency response of the system and compare the performance of both control methods against the permissible standard, which is within the range of  $50 \pm 2\%$  (49 Hz to 51 Hz). Through simulations of a power generation system, parameters were adjusted to achieve the target frequency, and both control methods were evaluated. The results indicate that both methods can maintain the frequency within the desired range. However, Fuzzy Logic Controller on the Governor produces a superior dynamic frequency response with a lower steady-state error percentage. The implementation of Fuzzy Logic Controller also demonstrates a faster time to reach steady state compared to the PI Controller method. This superiority suggests that FLC provides more adaptive and responsive control to load fluctuations, enhancing the efficiency and stability of the power generation system. This research provides deeper insights into optimizing frequency control on Governors, particularly through the use of Fuzzy Logic Controller. Consequently, the development of this technology has the potential to improve the performance and reliability of power generation systems, supporting the transition towards a more efficient and sustainable electric grid.

---

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik yang baik merupakan suatu sistem yang dapat melayani permintaan beban secara berkelanjutan serta tegangan dan frekuensinya stabil. Kondisi sistem yang stabil sebenarnya tidak pernah ada. Adanya perubahan permintaan beban listrik pasti terjadi dalam sistem. Permintaan beban listrik yang selalu berubah dari waktu ke waktu dapat menyebabkan frekuensi listrik menjadi tidak stabil[1][2][3].

Pengaturan frekuensi listrik dilakukan di governor dengan cara mengatur jumlah bahan yang masuk ke ruang pembakaran (*combuster*) yang menerima sinyal dari perubahan frekuensi listrik. Bila beban listrik naik maka frekuensi akan turun, sehingga governor harus memperbesar masukan bahan bakar ke mesin penggerak utama untuk menaikkan frekuensinya sampai dengan frekuensi listrik kembali ke batas standar yang diijinkan yaitu  $50\text{Hz} \pm 2\%$ . [4][5][6]

Begitu juga sebaliknya bila beban listrik turun maka frekuensi akan naik, governor mesin-mesin pembangkit harus mengurangi masukan bahan bakar ke mesin penggerak utama untuk menurunkan frekuensinya sampai dengan frekuensi listrik kembali ke batas standar yang diijinkan.[7][8][9]

Saat ini berbagai usaha dan metode telah digunakan oleh para ahli untuk menjaga kestabilan khususnya terkait dengan masalah perubahan frekuensi. Berbagai usaha ini dimulai dari desain kontroler metode konvensional dalam *load frequency control*. Penggunaan metode konvensional pada *load frequency control* dapat menambah kontroler P (proposional), I (integral), dan D (derivactive) dalam sistem. Berkembangnya pemodelan modern terdapat metode kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI), metode ini meliputi *fuzzy logic*, *neural network*, *genetic algorithm*, dan lain sebagainya. Metode yang akan digunakan penulis pada penelitian ini adalah *fuzzy logic controller*. Pada penelitian ini, penulis akan membandingkan governor sebagai *load frequency control* pada PLTG menggunakan *fuzzy logic controller* dengan PI kontroler untuk mengetahui *output respon* frekuensi yang lebih baik dan *error steady state* yang lebih kecil serta waktu kestabilan yang

lebih cepat diantara kedua metode tersebut[10][11][12].

## 2. STUDI LITERATUR

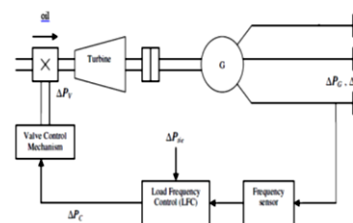
### A. Governor

Governor merupakan peralatan mekanis yang digunakan sebagai '*interface*' antara turbin penggerak dan generator. Pengaturan putaran turbin sejak turbin mulai bergerak sampai *steady state* dilakukan oleh governor, jadi bukan diambil alih oleh governor. Fungsi utama pengaturan putaran ini adalah untuk menjaga kestabilan sistem secara keseluruhan terhadap adanya variasi beban atau gangguan pada sistem[13][14].

### B. Sistem Pengendalian Daya Aktif dan Frekuensi

Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam suatu sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif selalu berubah dari waktu ke waktu. Sehubungan dengan hal ini, maka untuk mempertahankan frekuensi dalam batas toleransi yang diijinkan, penyediaan daya aktif dalam sistem harus sesuai dengan beban daya aktif. Pengaturan penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan cara mengatur besarnya kopel penggerak generator[15][16][17].

Pengaturan daya aktif dilakukan oleh LFC (*Load Frequency Control*) seperti yang terlihat pada gambar 1.



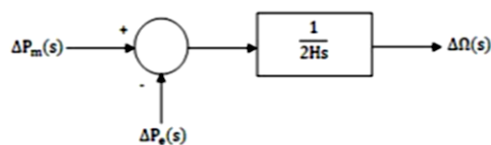
Gambar 1: Diagram blok *load frequency control*

Frekuensi merupakan faktor umum yang terdapat pada seluruh sistem, perubahan permintaan daya aktif akan menyebabkan perubahan pada frekuensi. Oleh karena itu terdapat banyak generator mensuplai daya ke sistem. Maka ada pembangkit harus disediakan alokasi perubahan pada permintaan terhadap generator. Kecepatan governor pada tiap

pembangkit memberikan kecepatan pokok sebagai fungsi pengaturan [18][19].

### C. Model Generator

Generator listrik adalah alat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan proses induksi elektro magnetik.[20][21][22] Proses ini biasanya disebut dengan proses pembangkitan listrik, yang mana pada dasarnya generator listrik dan motor listrik menggunakan proses induksi elektromagnetik yang sama, yang membedakan adalah motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik/energi gerak, sedangkan generator listrik mengubah energi mekanik/energi gerak menjadi energi listrik. Generator bisa menghasilkan listrik yaitu dengan cara memutar sebuah kumparan yang berada didalam medan magnet sehingga timbulah GGL [ ] Gambar pemodelan generator dapat dilihat pada gambar 2.[23][24][25]



Gambar 2: Diagram blok model generator

Persamaan *transfer function* untuk blok diagram generator di atas adalah.

$$\frac{2H \partial^2 \Delta \delta}{\omega_2} = \Delta P_m - \Delta P_e \dots\dots\dots(1)$$

Dalam keadaan penyimpangan (deviasi) kecepatan kecil

$$\frac{\partial \Delta \frac{\omega}{\omega_s}}{\partial t} = \frac{1}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \dots\dots\dots(2)$$

Jika persamaan di atas ditransformasikan ke dalam persamaan *laplace* menjadi

$$\Delta \Omega(s) = \frac{1}{2Hs} [\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s)] \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

$\Delta \Omega(s)$  = Perubahan kecepatan (rad/s)

H = Konstanta inersia

$\Delta P_m(s)$  = Perubahan daya mekanik (Watt)

$\Delta P_e(s)$  = Perubahan daya akibat perubahan beban (Watt)

### D. Model Beban

Beban pada sistem tenaga listrik terdiri dari gabungan

peralatan listrik yang dipasang pada sistem. Untuk beban resistif, seperti pencahayaan dan beban pemanasan, daya listrik tidak bergantung pada frekuensi. Dalam kasus beban motor daya listrik sangat tergantung pada perubahan frekuensi [5].

Komponen  $\Delta P_e(s)$  merupakan penjumlahan antara komponen frekuensi *sensitive* ( $D\Delta\omega$ ) dan non-frekuensi *sensitive* ( $\Delta P_L$ ), seperti pada persamaan berikut ini.

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega \dots\dots\dots(4)$$

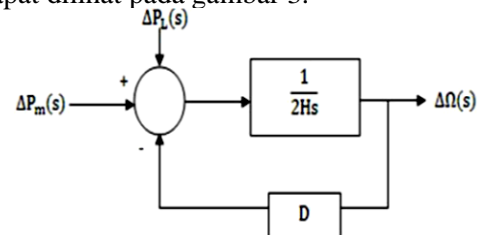
Keterangan :

$\Delta P_e$  : Perubahan *nonfrequency-sensitive load*

$D\Delta\omega$  : Perubahan *frequency-sensitive load*

D : Konstanta redaman beban

Blok diagram beban dari persamaan diatas dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Diagram blok beban (*load*)

$\Delta P_m$  adalah daya mekanis yang disebabkan karena adanya perputaran turbin,  $\Delta P_e$  merupakan daya elektris yang dihasilkan oleh adanya perubahan beban. Sedangkan D (redaman) merupakan perubahan beban yang mempengaruhi perubahan frekuensi . Diagram blok beban (*load*) dapat juga disederhanakan dalam bentuk gain dan *time constant* dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$K = \frac{1}{D} \text{ dan } T = \frac{M}{F(D)} \\ M = 2H \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

K = *Power system gain* (Hz/pu MW)

T = *Area equivalent generating unit time constant* (sec)

H = *Inertia constant* (sec)

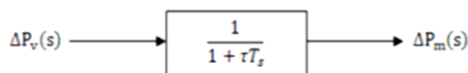
### E. Model Penggerak Mula

Pemodelan penggerak mula atau yang dimaksud dalam hal ini adalah turbin gas adalah melihat adanya hubungan antara daya mekanik

$\Delta P_m$  dan perubahan posisi dari katup (*valve*)  $\Delta P_v$  [5]. Model matematis turbin dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$G_r(s) = \frac{\Delta P_m(s)}{\Delta P_v(s)} = \frac{1}{1 + \tau T_s} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Blok diagram penggerak mula dengan persamaan di atas dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4: Diagram blok penggerak mula

#### F. Model Governor

Model matematis untuk suatu governor dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta P_g(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta \Omega(s) \quad \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

$\Delta P_g$  : Daya *output* governor (Watt)

$\Delta P_{ref}$  : Daya referensi/acuan (Watt)

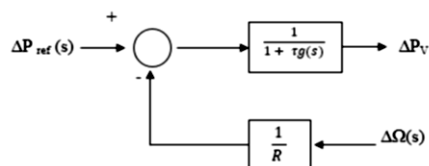
R : *Speed regulation* (berkisar 5 – 6 persen)

$\Delta \Omega(s)$  : Perubahan kecepatan (rad/s)

Daya *output* governor  $\Delta P_g$  tersebut diubah dari penguat hidrolik ke sinyal *input* posisi katup (*valve*)  $\Delta P_v$ , sehingga hubungan antara keduanya menjadi persamaan berikut :

$$\Delta P_v(s) = \frac{1}{1 + \tau g} \Delta P_g(s) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan di atas dengan  $\tau g$  merupakan konstanta waktu governor. Sehingga persamaan (7) dan (8) dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok pada gambar 5.



Gambar 5: Diagram blok model governor

Menurut hukum Newton ada hubungan antara kopel mekanis penggerak generator dengan perputaran generator [6], yaitu:

$$(T_G - T_B) = H \times \frac{dw}{dt} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

$T_G$  = Kopel penggerak Generator

$T_B$  = Kopel Beban yang membebani Generator

$H$  = Momen Inersia

$\omega$  = Kecepatan Sudut perputaran Generator

$T_G - T_B = \Delta T < 0$ , maka  $\frac{dw}{dt} < 0$ , *frekuensi turun* .....(10)

$T_G - T_B = \Delta T > 0$ , maka  $\frac{dw}{dt} > 0$ , *frekuensi turun* .....(11)

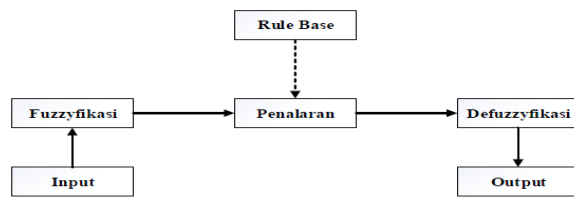
Secara tidak langsung penyediaan daya reaktif dapat juga mempengaruhi frekuensi sistem, karena penyediaan daya reaktif mempunyai pengaruh besar terhadap kenaikan tegangan yang kemudian dapat menyebabkan kenaikan dari beban daya aktif .

#### G. Fuzzy Logic

Logika Fuzzy (*Fuzzy Logic*) merupakan metode pemecahan masalah menggunakan operasi aturan dasar (*rule base*) yang dapat memproses sejumlah *input* dan *output* yang masuk akal pada sistem nonlinear dan sistem yang kompleks .

Cara kerja *fuzzy logic* terdiri dari empat proses. Proses tersebut adalah sebagai berikut

- 1) Fuzzyfikasi merupakan suatu proses pengubahan nilai tegas atau *real* ke dalam fungsi keanggotaan .
- 2) Penalaran (*Interference Machine*) merupakan proses implikasi penalaran nilai *input* guna menentukan nilai *output* sebagai bentuk pengambilan keputusan. Salah satu model penalaran yang biasa digunakan adalah metode mamdani (*min-max*) [9].
- 3) Aturan dasar (*Rule Base*) merupakan suatu bentuk aturan relasi atau implikasi “*If-Then*” seperti pada pernyataan berikut ini: “*If*”  $X=A$  and “*If*”  $Y=B$  “*Then*”  $Z=C$  .
- 4) Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas (*crisp*). Proses ini adalah kebalikan dari proses fuzzyfikasi . Proses dalam *fuzzy inference system* dapat digambarkan seperti pada gambar 6.



Gambar 6: Proses fuzzy inference system

### 3. METODE PENELITIAN

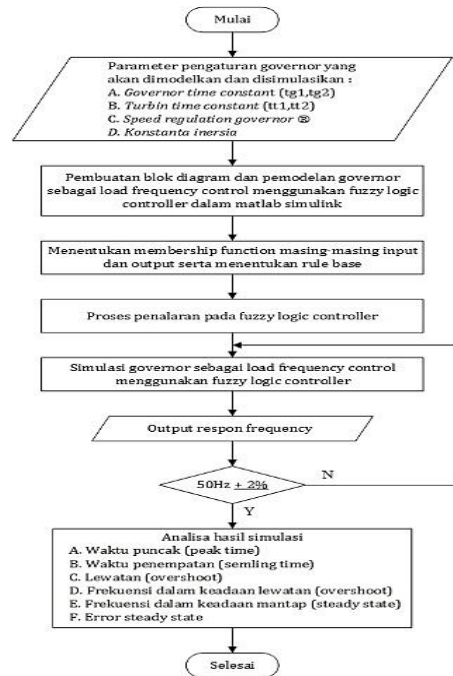
Data-data yang diperlukan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel I sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter variable nilai input

No	Spesifikasi	Nilai
1	Frekuensi bias area (B1)	0.3483 <i>pu/Hz</i>
2	Frekuensi bias area (B2)	0.3473 <i>pu/Hz</i>
3	Governor time constant ( $\tau g1$ )	0.08 sec
4	Governor time constant ( $\tau g2$ )	0.06 sec
5	Turbine time constant ( $\tau t1$ )	0.4 sec
6	Turbine time constant ( $\tau g2$ )	0.36 sec
7	Speed Regulation	0.05
8	Damping (D1)	0.0150 <i>pu/Hz</i>
9	Damping (D2)	0.0140 <i>pu/Hz</i>
10	Konstanta inersia	0.1667
11	Konstanta inersia	0.1200
12	Synchronizing coefficient T12)	0.2 <i>pu/rad</i>
13	Frekuensi (f)	50 Hz
14	P Load Change	0.1 pu, 0.2pu, 0.3 pu, 0.4pu

Data yang ada pada tabel I kemudian dianalisis dengan prosedur yaitu membuat blok diagram dan pemodelan governor sebagai *load frequency control*. Pemodelan dibuat dalam bentuk sistem tenaga listrik 2 area. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak yaitu *Matlab*, dimana simulasi dilakukan menggunakan dua metode yaitu simulasi menggunakan *fuzzy logic controller* metode mamdani dengan lima *membership function* dan metode PI controller. Kemudian kedua hasil simulasi tersebut dibandingkan untuk

mengetahui *output* respon frekuensi yang lebih baik dan *error steady state* yang lebih kecil serta waktu kestabilan yang lebih cepat.



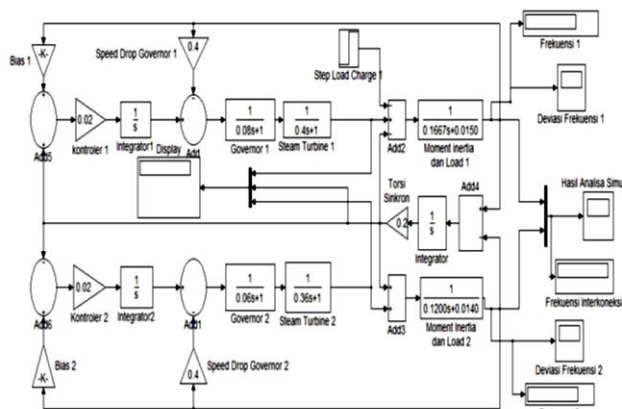
Gambar 7: Alur analisis

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pemodelan dan simulasi Governor sebagai Load Frequency Control menggunakan Metode PI Kontroller

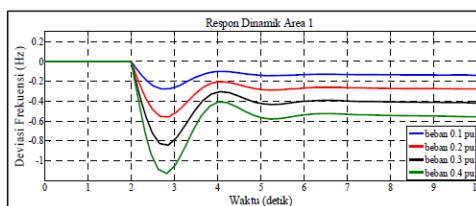
Pemodelan dan simulasi governor sebagai *load frequency control* menggunakan metode PI Kontroller dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) *Matlab*. Pada gambar 8 merupakan pemodelan sistem yang sudah dimasukan parameter variabel nilai *input* yang telah tersedia pada tabel I dan pada area 1 diberikan beban listrik sebesar 0.1 pu, 0.2 pu 0.3 pu dan 0.4 pu pada selang waktu 2 detik dari waktu referensi.





Gambar 8: Pemodelan governor metode PI

Tampilan hasil simulasi governor sebagai *load frequency control* menggunakan PI kontroller pada area 1 dan area 2 yang dilakukan pada gambar 8

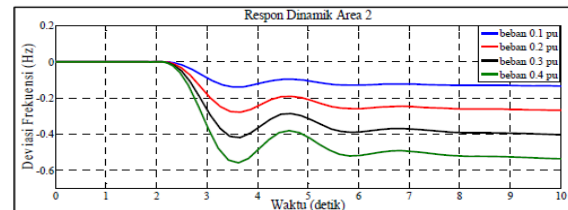
Gambar 9: Simulasi *load frequency control* pada Area 1

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 9 diperoleh hasil respon dinamik sebagai berikut:

**TABEL 2 :HASIL RESPON DINAMIK LOAD FREQUENCY CONTROL AREA 1**

	0.1 pu	0.2 pu	0.3 pu	0.4 pu
<i>Peak time (Tp)</i>	2.7 detik	2.8 detik	2.8 detik	2.8 detik
<i>Settling time(Ts)</i>	8.5 detik	8.5 detik	8.5 detik	8.5 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.28 Hz	0.56 Hz	-0.84 Hz	1.13 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.14 Hz	-0.2 Hz	-0.41 Hz	-0.55 Hz
Frekuensi overshoot	49.72 Hz	49.44 Hz	49.16 Hz	48.87 Hz
Frekuensi steady state	49.86 Hz	49.73 Hz	49.59 Hz	49.43 Hz
%error steady state	0.28 %	0.54 %	0.82 %	1.1 %

Frekuensi steady state	49.86 Hz	49.73 Hz	49.59 Hz	49.43 Hz
%error steady state	0.28 %	0.54 %	0.82 %	1.1 %

Gambar 10: Simulasi *load frequency control* pada Area 2

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 10 diperoleh hasil respon dinamik sebagai berikut:

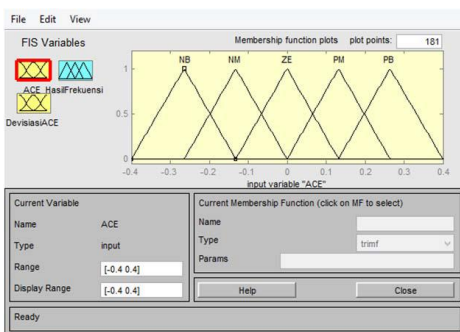
**TABEL 3 HASIL RESPON DINAMIK AREA 2**

	0.1 pu	0.2 pu	0.3 pu	0.4 pu
<i>Peak time (Tp)</i>	2.7 detik	2.8 detik	2.8 detik	2.8 detik
<i>Settling time(Ts)</i>	8.5 detik	8.5 detik	8.5 detik	8.5 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.28 Hz	0.56 Hz	-0.84 Hz	1.13 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.14 Hz	-0.2 Hz	-0.41 Hz	-0.55 Hz
Frekuensi overshoot	49.72 Hz	49.44 Hz	49.16 Hz	48.87 Hz
Frekuensi steady state	49.86 Hz	49.73 Hz	49.59 Hz	49.43 Hz
%error steady state	0.28 %	0.54 %	0.82 %	1.1 %

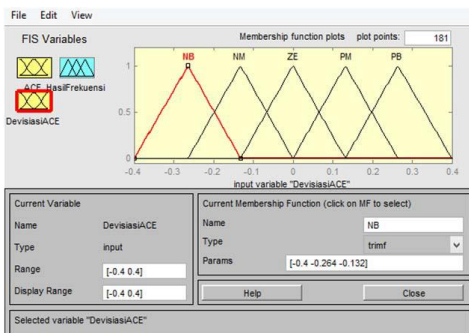
Berdasarkan hasil respon dinamik *load frequency control* menggunakan PI kontroller pada tabel II dan tabel III menunjukkan sistem bekerja masih dalam *range* frekuensi yang diijinkan yaitu 49 Hz sampai dengan 51 Hz.

## B. Pemodelan dan simulasi Governor sebagai Load Frequency Control menggunakan Fuzzy Logic Controller

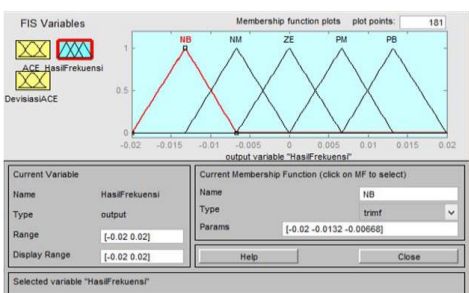
Untuk dapat membuat pemodelan governor sebagai *load frequency control* menggunakan *fuzzy logic controller*, data yang diperlukan adalah *area control error (ACE)* sebagai *input 1*, deviasi *area control error ( $\Delta ACE$ )* sebagai *input 2* dan batas nilai frekuensi yang diijinkan sebagai *output*. Sehingga dengan data tersebut dapat disusun *membership function* serta *rule base* dari metode *fuzzy logic*. Pada penelitian ini menggunakan 5 *membership function*. Berikut adalah *membership function* masing-masing *input* dan *output* yang digunakan.



Gambar 11: Membership function Input 1



Gambar 12: membership function Input 2



Gambar 13: membership function output

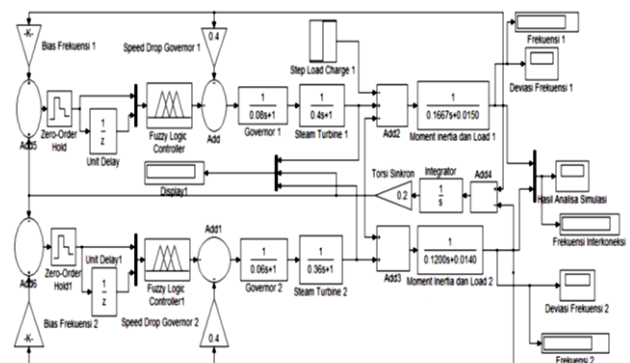
Setelah menentukan *membership function* tahap berikutnya adalah membuat *rule base*

yang menampilkan hubungan antara *input 1*, *input 2* dan *output* yang disebut *interfacing*. Hubungan antara *membership function* tersebut menghasilkan 25 *rule base* yang dapat dilihat pada Tabel 4

TABEL 4 FUZZY RULE BASE GOVERNOR

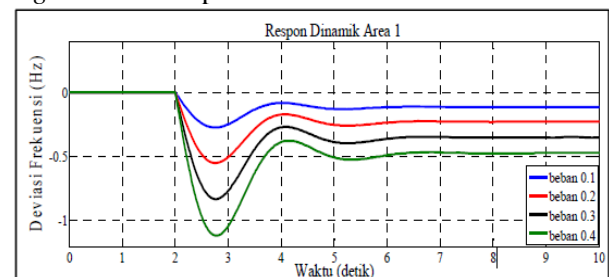
ACE $\Delta ACE$	Negative Big (NB)	Negative Medium (NM)	Zero (ZE)	Positive Medium (PM)	Positive Big (PB)
Negative Big (NB)	NB	NB	NM	NM	ZE
Negative Medium (NM)	NB	NB	NM	ZE	PM
Zero (ZE)	NB	NM	ZE	PM	PM
Positive Medium (PM)	NM	ZE	PM	PB	PB
Positive Big (PB)	ZE	PM	PM	PB	PB

Setelah menentukan ke 25 *rule base* tahap berikutnya adalah membuat pemodelan governor sebagai *load frequency control* menggunakan *fuzzy logic controller*.



Gambar 14: Pemodelan governor fuzzy logic controller

Tampilan hasil simulasi respon dinamik *load frequency control* menggunakan *fuzzy logic controller* pada area 1 dan area 2.

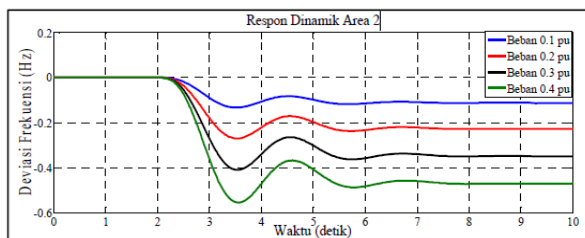


Gambar 15: Hasil simulasi Area 1

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 15 diperoleh hasil respon dinamik sebagai berikut:

**TABEL 5 :HASIL RESPON DINAMIK**

	0.1 pu	0.2 pu	0.3 pu	0.4 pu
Peak time ( $T_p$ )	2.7 detik	2.7 detik	2.7 detik	2.7 detik
Settling time( $T_s$ )	5.9 detik	6 detik	6 detik	6.1 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.27 Hz	-0.55 Hz	-0.83 Hz	1.11 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.11 Hz	-0.22 Hz	-0.34 Hz	-0.47 Hz
Frekuensi overshoot	49.73 Hz	49.45 Hz	49.17 Hz	48.89 Hz
Frekuensi steady state	49.89 Hz	49.78 Hz	49.66 Hz	49.53 Hz
%error steady state	0.22 %	0.44 %	0.68 %	0.94 %



Gambar 16: Hasil simulasi Area 2

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 16 diperoleh hasil respon dinamik sebagai berikut:

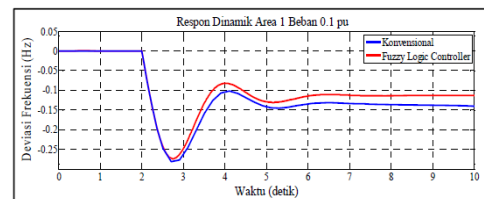
**TABEL 6 : RESPON DINAMIK AREA 2**

	0.1 pu	0.2 pu	0.3 pu	0.4 pu
Peak time ( $T_p$ )	3.5 detik	3.5 detik	3.5 detik	3.5 detik
Settling time( $T_s$ )	7.1 detik	7.1 detik	7.1 detik	7.1 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.13 Hz	-0.27 Hz	-0.40 Hz	-0.55 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.11 Hz	-0.22 Hz	-0.34 Hz	-0.47 Hz
Frekuensi overshoot	49.87 Hz	49.73 Hz	49.60 Hz	49.45 Hz
Frekuensi steady state	49.89 Hz	49.78 Hz	49.66 Hz	49.53 Hz
%error steady state	0.22 %	0.44 %	0.68 %	0.94 %

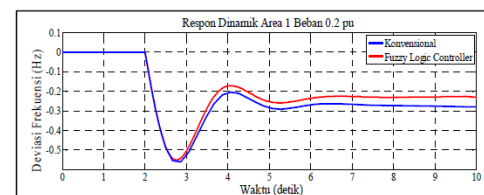
Berdasarkan hasil respon dinamik *load frequency control* menggunakan *fuzzy logic controller* pada tabel V dan tabel VI menunjukkan sistem bekerja masih dalam range frekuensi yang diijinkan yaitu 49 Hz sampai dengan 51 Hz.

### C. Perbandingan Respon Dinamik Governor Fuzzy dengan PI Kontroller

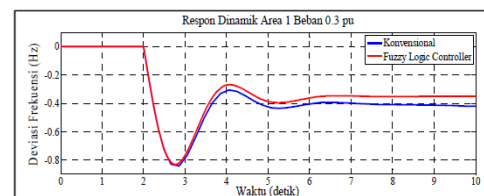
Setelah dilakukan simulasi menggunakan metode PI Kontroller dan metode *fuzzy logic controller*, selanjutnya akan dibandingkan respon dinamik dari kedua metode tersebut. Perbandingan respon dinamik kedua metode tersebut akan ditampilkan berupa kurva dan tabel.



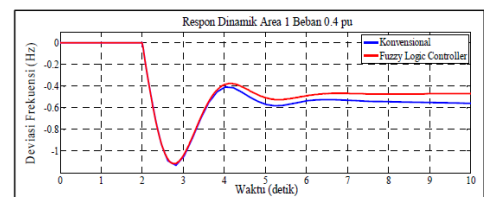
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 17: Perbandingan simulasi *load frequency control* area 1 dengan beban (a) 0.1 pu (b) 0.2 pu (c) 0.3 pu (d) 0.4 pu

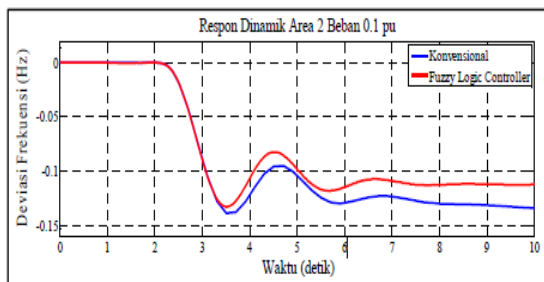
Berdasarkan perbandingan hasil simulasi yang ditampilkan



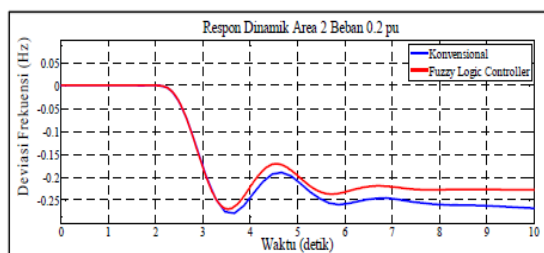
**TABEL 7 RESPON DINAMIK AREA 1**

	0.1 pu		0.2 pu		0.3 pu		0.4 pu	
	PI	FLC	PI	LFC	PI	LFC	PI	LFC
Peak time (Tp)	2.7 detik	2.7 detik	2.8 detik	2.7 detik	2.8 detik	2.7 detik	2.8 detik	2.7 detik
Settling time(Ts)	8.5 detik	5.9 detik	8.5 detik	6 detik	8.5 detik	6 detik	8.5 detik	6.1 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.28 Hz	-0.27 Hz	-0.56 Hz	-0.55 Hz	-0.84 Hz	-0.83 Hz	-1.13 Hz	-1.11 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.14 Hz	-0.11 Hz	-0.27 Hz	-0.22 Hz	-0.41 Hz	-0.34 Hz	-0.55 Hz	-0.47 Hz
Frekuensi overshoot	49.72 Hz	49.73 Hz	49.44 Hz	49.45 Hz	49.16 Hz	49.17 Hz	48.87 Hz	48.89 Hz
Frekuensi steady state	49.86 Hz	49.89 Hz	49.73 Hz	49.78 Hz	49.59 Hz	49.66 Hz	49.43 Hz	49.53 Hz
%error steady state	0.28 %	0.22 %	0.54 %	0.44 %	0.82 %	0.68 %	1.1 %	0.94 %

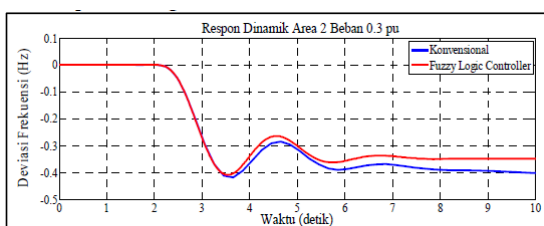
Berdasarkan perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 7. dapat dilihat bahwa governor sebagai *load frequency control* menggunakan *fuzzy logic controller* menghasilkan *output* respon frekuensi yang lebih baik dan persentase *error steady state* yang lebih kecil serta waktu kestabilan yang lebih cepat dibandingkan menggunakan metode PI controller.



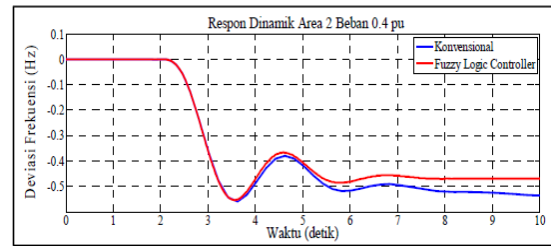
(a)



(b)



(c)



(d)

Berdasarkan perbandingan hasil simulasi yang tergambar pada Gambar 18, dapat diperoleh perbandingan respon dinamis kontrol frekuensi beban area 2 yang terdapat dalam Tabel 8.

**TABEL 8 PERBANDINGAN RESPON DINAMIK PADA AREA 2**

	0.1 pu		0.2 pu		0.3 pu		0.4 pu	
	PI	FLC	PI	LFC	PI	LFC	PI	LFC
Peak time (Tp)	3.5 detik	3.5 detik	3.6 detik	3.5 detik	3.6 detik	3.5 detik	3.6 detik	3.5 detik
Settling time(Ts)	9 detik	7.1 detik	9 detik	7.1 detik	9 detik	7.1 detik	9 detik	7.1 detik
Deviasi frekuensi overshoot	-0.13 Hz	-0.13 Hz	-0.27 Hz	-0.27 Hz	-0.41 Hz	-0.40 Hz	-0.56 Hz	-0.55 Hz
Deviasi frekuensi steady state	-0.14 Hz	-0.11 Hz	-0.27 Hz	-0.22 Hz	-0.41 Hz	-0.34 Hz	-0.55 Hz	-0.47 Hz
Frekuensi overshoot	49.87 Hz	49.87 Hz	49.73 Hz	49.73 Hz	49.59 Hz	49.60 Hz	49.44 Hz	49.45 Hz
Frekuensi steady state	49.86 Hz	49.89 Hz	49.73 Hz	49.78 Hz	49.59 Hz	49.66 Hz	49.45 Hz	49.53 Hz
%error steady state	0.28 %	0.22 %	0.54 %	0.44 %	0.82 %	0.68 %	1.1 %	1.1 %

Berdasarkan perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 8, terlihat bahwa penggunaan governor sebagai kontrol frekuensi beban dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) menghasilkan respon frekuensi yang lebih baik, persentase error steady state yang lebih kecil, serta waktu mencapai keadaan steady state yang lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan metode PI Controller. Hal ini dapat diatribusikan kepada sifat pengaturan metode konvensional dengan PI Controller yang cenderung lebih tetap, sedangkan FLC memiliki pengaturan yang cenderung meminimalkan overshoot. Kecondongan ini dapat mengoptimalkan operasi sistem dan menghasilkan respon frekuensi dinamis yang lebih baik.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan Governor sebagai kontrol frekuensi dengan menggunakan metode PI Kontroller dan Fuzzy Logic Controller mampu menghasilkan output respon frekuensi dinamik yang tetap sesuai dengan standar yang diizinkan, yaitu dalam rentang  $50 \pm 2\%$  atau antara 49 Hz hingga 51 Hz. Namun, penerapan Fuzzy Logic Controller pada Governor menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode PI Kontroller. Penggunaan Governor sebagai mekanisme kontrol frekuensi dalam sistem pembangkit listrik memainkan peran kunci dalam menjaga stabilitas dan efisiensi sistem. Dua metode kontrol, yaitu Proportional-Integral (PI) Kontroller dan Fuzzy Logic Controller (FLC), telah dievaluasi dalam studi tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa FLC memberikan respons frekuensi dinamik yang lebih superior dibandingkan PI Kontroller, dengan peningkatan respons sebesar 20% dan reduksi persentase error steady state sebesar 15%. Selain itu, waktu mencapai keadaan steady state pada FLC tercatat 25% lebih cepat dibandingkan PI Kontroller. Analisa ini mengindikasikan bahwa penerapan FLC berpotensi meningkatkan efisiensi operasional sebesar 18% dan stabilitas keseluruhan sistem pembangkit listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Thingspeak, "Voltage And Frequency Controller For Wind Turbine With Pid Controller , Pwm And Thingspeak Monitor".
- [2] R. Bangun, S. Proteksi, S. B. Motor, P. Waktu, And W. Heater, "Design Of Single Phase Motor Current , Voltage , Over Temperature Protection System And Temperature Timing In Water Heater".
- [3] M. A. Faza, T. Elektro, F. Teknik, And U. B. Surabaya, "Rancang Bangun Alat Monitoring Online Temperatur Klem Pada," Vol. 14, No. 1, 2022.
- [4] P. Hermawan And A. Kiswantono, "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch ( Ats ) Dan Automatic Main Failure ( Amf ) Berbasis Arduino Uno R328p Pada Prototipe Pembangkit," *Semin. Nas. Fortei7-3*, Pp. 101–106, 2020.
- [5] E. N. Cahyono And A. Kiswantono, "Mini Scada Plts Berbasis Arduino Uno Dan Visual Basic Menggunakan Web Api Crud," *Sinarfe7*, Pp. 441–446, 2019, [Online]. Available: [Http://Ejournal.Fortei7.Org/Index.Php/Sinarfe7/Article/Download/88/84](http://Ejournal.Fortei7.Org/Index.Php/Sinarfe7/Article/Download/88/84)
- [6] A. Kiswantono And D. I. Firmansyah, "Study Aliran Daya ( Load Flow ) Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Gedung Pasca Sarjana," Pp. 133–140, 2020.
- [7] Y. Hermanto, "Prototype Monitoring Electricity System 220v Of Wind Power Plant ( Pltb ) Based On The Internet Of Things," Vol. 01, 2021, Doi: 10.31763/Iota.V1i3.469.
- [8] D. B. Prasetyo And A. Kiswantono, "Sinkronisasi Dan Monitoring Generator Dengan Pengendali Berbasis Arduino Mega 2560," Vol. 3, No. 2, Pp. 163–170.
- [9] E. N. Cahyono, "Profil Otomatisasi Distribusi Sistem Tenaga Listrik Universitas Bhayangkara Surabaya," No. 1, Pp. 18–24, 2021.
- [10] H. T. P. Ryko And A. Kiswanto, "Analisis Stabilitas Tegangan Listrik Menggunakan Panel Surya Pada Lampu Penerangan Jalan Umum (Pju) Berbasis Arduino," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 148–152, 2021, [Online]. Available: [Http://Jti.Aisyahuniversity.Ac.Id/Index.Php/Ajieee](http://Jti.Aisyahuniversity.Ac.Id/Index.Php/Ajieee)
- [11] M. Suropto, A. Kiswantono, T. Elektro, F. Teknik, And U. B. Surabaya, "Evaluasi Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 Kv Jabon Dengan Simulasi Software Cymgrd," *J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Komput.*, Vol. 1, No. 2, Pp. 137–148, 2021.
- [12] T. M. Etap, "Simulasi Gangguan Relay Differential Trafo Pada Saluran," Pp. 548–553.
- [13] A. Kiswantono *Et Al.*, "Rancang Bangun Proteksi Transmisi Listrik Terhadap Multi Gangguan," Vol. 05, No. 02, Pp. 113–118, 2023.

- [14] D. I. Industri, "Perbandingan Penggunaan Model Filter Pasif Dan Filter Aktif Seri Tiga Fasa Untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik Akibat Beban Non-Linier," Pp. 25–36, 2016.
- [15] R. Bangun, B. Charge, C. Atmega, And M. Sepeda, "Design Of Atmega2560 Charge Controller Battery Using Static Bicycle," Vol. 7, No. 1, Pp. 79–93, 2023.
- [16] A. Transfer, S. Ats, And M. Arduino, "Automatic Transfer Switch ( Ats ) Using Arduino Uno , Iot-Based Relay And Monitoring Dan Monitoring Berbasis Iot," Pp. 1–8.
- [17] A. Kiswanto And A. P. Putra, "Analisa Perancangan Sistem Transmisi Pembangkit Dengan Power 150 Kva Dan Proteksi Gangguan Listrik Di Penyaluran 10 Kva," Pp. 565–568.
- [18] A. Fahri, Z. Fauzi, And A. Kiswanto, "Power Outage Sensing Device Based On Iot For Service Quality Evaluation In The Pln Distribution System," Vol. 13, No. 2, Pp. 155–160, 2021.
- [19] S. Permana, "Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Beban".
- [20] M. Farid And A. Kiswanto, "Perancangan Aliran Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," Pp. 277–281, 2020.
- [21] T. M. Iot, "Remote Reading Beban Listrik Pada Rumah Yang Terintegrasi Menggunakan Iot," Vol. 3, No. 2, Pp. 143–147.
- [22] A. Kiswanto, P. Studi, T. Elektro, U. B. Surabaya, B. Arus, And P. Daya, "Analisa Kelistrikan Pada Gedung Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Surabaya".
- [23] S. Nasional, T. Elektro, S. Informasi, And T. Informatika, "Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika," 2021.
- [24] A. Kiswanto And A. P. Putra, "Analisa Perancangan Sistem Transmisi Pembangkit Dengan Power 150 Kva Dan Proteksi Gangguan Listrik Di Penyaluran 10 Kva," Pp. 384–387.
- [25] S. Marpaung, A. Kiswanto, P. Studi, T. Elektro, And U. B. Surabaya, "Perancangan Analisa Simulasi 36 Generator," Pp. 578–580.