

## **Desain Optimal Automatic Voltage Regulator Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro Menggunakan Fuzzy Logic Controller**

<sup>1</sup>Agus Raikhani, <sup>2</sup>Machrus Ali, <sup>3</sup>Dwi Ajiatmo, <sup>4</sup>Budiman  
<sup>1</sup>[agus.raikhani@gmail.com](mailto:agus.raikhani@gmail.com), <sup>2</sup>[machrus7@gmail.com](mailto:machrus7@gmail.com), <sup>3</sup>[ajiatmo@gmail.com](mailto:ajiatmo@gmail.com),  
[budi\\_mitra@yahoo.co.id](mailto:budi_mitra@yahoo.co.id)

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>4</sup> Teknik Informatika, Universitas Darul Ulum, Jombang

### **ABSTRAK**

*Tegangan dan frekuensi listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari (diatas pukul 23.00), sembilan puluh persen rumah mematikan lampu, maka beban mikro hidro menjadi turun. Hal ini akan mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya tegangan listrik akan naik dan bila terlalu tinggi akan mengalami rugi-rugi daya listrik dan bisa juga merusak alat-alat elektronik yang digunakan di rumah-rumah. Oleh karena itu, pengendalian tegangan agar selalu berada pada daerah kerja antara 219 volt – 221 volt sangat diperlukan. Mekanisme pengontrolan dilakukan secara otomatis yaitu dengan mengatur posisi bukaan gate sehingga aliran air yang masuk dapat disesuaikan dengan beban, ataupun menyesuaikan daya beban pada sistem dengan pembangkitan untuk peredaman osilasi tegangan yang terjadi. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah teknologi untuk mengoptimalkan kinerja dari unit pembangkit mikro hidro, yaitu dengan mengaplikasikan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang dikontrol dengan menggunakan PID kontroler, yang memiliki kemampuan memperbaiki tegangan yang diakibatkan oleh terjadinya perubahan beban daya listrik dari pelanggan yang dapat beroperasi secara cepat dan otomatis. Dari perbandingan hasil penelitian, sistem PLTMH dapat disimpulkan bahwa kontroler terbaik pada penelitian ini adalah FUZZY yaitu didapatkan undershoots =  $-1,18 \times 10^{-5}$  (399,996 Volt) pada saat  $t = 0,45$  dengan settling time 4,22 detik. Ini berarti bahwa kesetabilan tegangan antara 399,996 sampai dengan 400,000 Volt, yang berarti lebih baik dari kesetabilan tegangan yang diperbolehkan pada sistem, yaitu 5 % tegangan nominal (380 – 420 Volt).*

### **I. PENDAHULUAN**

Dengan banyaknya kekayaan alam di Indonesia, akan sangat disayangkan apabila potensi sungai yang besar ini dibiarkan tanpa ada inovasi untuk memanfaatkan potensi sungai ini agar bermanfaat bagi warga sekitar yang kebanyakan terdiri dari warga golongan ekonomi kelas menengah kebawah, mengingat juga tarif dasar listrik saat ini semakin naik. Mikrohidro atau yang dimaksud dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah

yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator [6].

Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat ke dalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator [4][1].

Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari (diatas pukul 23.00), sembilan puluh persen rumah mematikan lampu, maka beban mikro hidro menjadi turun. Hal ini akan mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi listrik akan naik dan bila terlalu tinggi akan merusak alat-alat elektronik yang digunakan di rumah-rumah. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi agar selalu berada pada daerah kerja antara 49 Hz – 51 Hz sangat diperlukan. Mekanisme pengontrolan dilakukan secara otomatis yaitu dengan mengatur posisi bukaan gate sehingga aliran air yang masuk dapat disesuaikan dengan beban, ataupun menyesuaikan daya beban pada sistem dengan pembangkitan untuk peredaman osilasi frekuensi yang terjadi. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah teknologi untuk mengoptimalkan kinerja dari unit pembangkit mikro hidro, yaitu dengan mengaplikasikan *Load Frequency Control* (LFC) yang dikontrol dengan menggunakan Fuzzy kontroler, yang memiliki kemampuan memperbaiki frekuensi yang diakibatkan oleh terjadinya perubahan beban daya listrik dari pelanggan yang dapat beroperasi secara cepat dan otomatis [7][8].

## II. Logika Fuzzy ( Fuzzy Logic )

Logika fuzzy (*fuzzy logic*) pertama kali dikenalkan oleh professor Zadeh (*California University*) tahun 1965 dengan menjabarkan perhitungan matematik berdasarkan teori himpunan untuk menggambarkan ketidakjelasan dalam bentuk variabel linguistik, dalam arti lain teori *fuzzy logic* mengembangkan teori himpunan boolean (0 dan 1) menjadi himpunan yang memiliki nilai keanggotaan yang bersifat kontinyu dan ketidakjelasan (antara 0 dan 1) sehingga logika fuzzy juga disebut disebut logika samar / tidak jelas (*fuzzy*).

### Interval type – 1 Fuzzy Logic ( IT1FL )

Konsep ketidakpastian dari himpunan fuzzy type-2 pertama kali dikenalkan oleh Zadeh pada tahun 1975 sebagai pengembangan konsep *ordinary fuzzy set* yaitu “*fuzzy fuzzy* “ atau fuzzy type 1 yang di fuzzy kan lagi. Karena sebuah sistem logika fuzzy type-1 sering kali basis pengetahuan yang digunakan untuk membangun aturan-aturan (*rules*)

dalam sebuah fuzzy logic system (FLS) adalah tidak menentu. Ada tiga alasan mengapa ketidakpastian aturan-aturan bisa terjadi, yaitu [16,17]:

1. Kata yang digunakan sebagai *antecedents* dan *consequents* dari aturan-aturan bisa mempunyai makna yang berbeda pada orang yang berbeda.
2. *Consequents* yang diperoleh dari polling sekelompok ahli akan seringkali berbeda pada aturan yang sama dikarenakan para ahli belum tentu semua setuju pada aturan tersebut.
3. Data training yang mengandung banyak *noise*

Ketidakpastian pada antecedent atau consequent diterjemahkan pada ketidakpastian fungsi keanggotaan antecedent atau consequent. Fuzzy logic system type-1 yang membership functionnya berupa himpunan fuzzy type-1, tidak bisa secara langsung menangani ketidakpastian aturan type-2 fuzzy logic system, sedangkan antecedent atau consequent fungsi keanggotaan himpunan fuzzy type-2, mampu mengenai ketidakpastian aturan. Himpunan fuzzy type-2 memiliki tingkat keanggotaan yang mereka sendiri adalah fuzzy. Tingkatan pada himpunan fuzzy type-2 bisa berada pada subset keanggotaan sekunder. Sama dengan Type-1 FLS, Type-2 FLS juga meliputi fungsi keanggotaan FIS dan Defuzzifikasi. Perbedaannya adalah sebelum proses defuzzifikasi terdapat proses reduksi tipe (type reduction) yang memiliki beberapa metode algoritma seperti *Kernik Mendel Algorithm (KMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm (EKMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm with Initialization (EKMANI)*, *Iterative Algorithm with Stop Condition (IASC)*, *Enhance Iterative Algorithm with Stop Condition (EIASC)* [13].

### Interval Type-1 Fuzzy Set

Sebuah interval type-2 fuzzy set (IT2FS) dilambangkan  $\tilde{A}$  dengan membership function  $\mu_{\tilde{A}}$  dimana  $x \in X$  dan  $u \in J_x \subseteq [0,1]$  karakterisnya dapat dikenali pada persamaan berikut [16,17] :

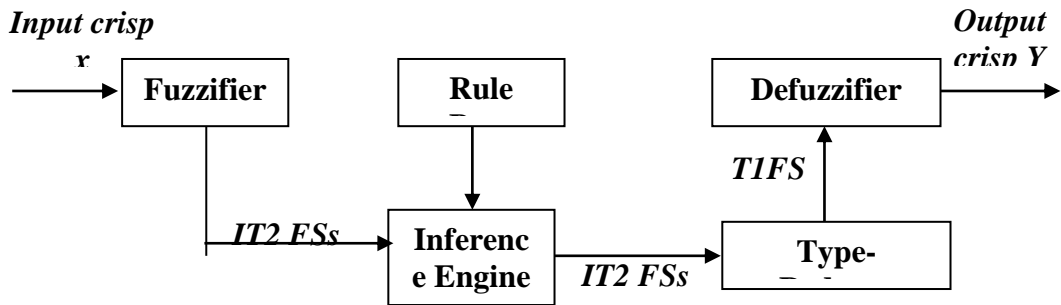
$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0, 1]$$

$x$  adalah variabel primer mempunyai domain  $X$ ;  $u \in U$ , variabel sekunder, mempunyai domain  $J_x$  untuk setiap  $x \in X$ ;  $J_x$  disebut primary membership dari  $x$ . Ketidakpastian terhadap  $\tilde{A}$  dinyatakan dengan gabungan dari seluruh primary membership ( $J_x$ ) disebut *Footprint of uncertainty (FOU)* of  $\tilde{A}$ . Persamaannya dapat dilihat sebagai berikut :

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u); u \in J_x \subseteq [0, 1]\} \quad \text{dimana,}$$

$$J_x = \{(\underline{x}, u) : u \in [\mu_{\tilde{A}}^-(x), \mu_{\tilde{A}}^+(x)]\}$$

Pada gambar dibawah ini menunjukan proses IT2FLS yaitu pemetaan dari nilai input himpunan *crisp*  $x$  menjadi nilai output yang dinyatakan dalam persamaan  $Y=f(x)$



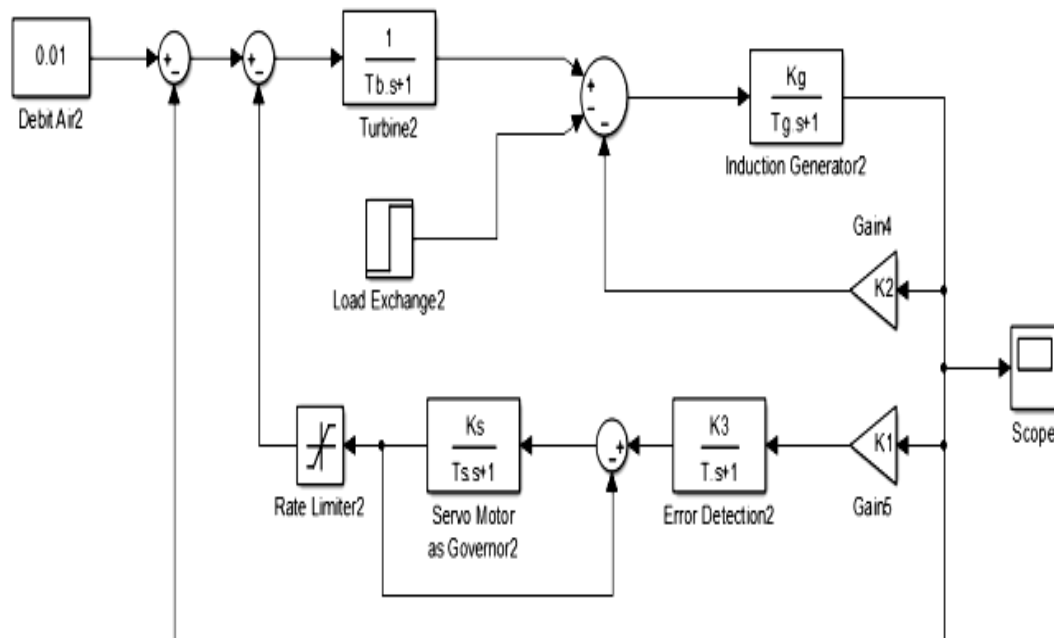
Gambar 1 Struktur Type-1 Fuzzy Inference System (T1FIS)

### III. SIMULASI DAN ANALISA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

#### Model PLTMH

Diagram blok system PLTMH dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Diagram blok sistem PLTMH

Dari blok pendeteksi error, sinyal  $\Delta\omega$  akan diteruskan ke blok servomotor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpan balikkan sebagai nilai masukan pada governor tersebut. Juga output dari governor ini diteruskan ke *rate limiter* yang berfungsi untuk membatasi sinyal pada nilai saturasi paling tinggi dan paling rendah yang telah ditentukan. Dari keluaran rate limiter ini, diteruskan sebagai masukan pada blok turbin air.

### ***Automatic Voltage Regulator (AVR)***

Fungsi utama dari AVR adalah mengatur tegangan terminal generator dengan cara mengontrol besarnya arus eksitasi yang disuplai ke belitan medan generator. Secara umum dapat dijelaskan bahwa AVR bekerja berdasarkan perubahan tegangan terminal generator pada batas yang telah ditentukan. Perubahan tegangan tersebut dapat diketahui karena adanya pembandingan dengan tegangan referensi  $V_{ref}$  pada komparator. Perbedaan yang ada antara tegangan terminal generator dan tegangan referensi disebut dengan error  $\Delta V$ . Berdasarkan error tersebut maka AVR secara otomatis akan memerintahkan penguat, apakah memperkecil arus penguat atau sebaliknya.

### ***Parameter PLTMH***

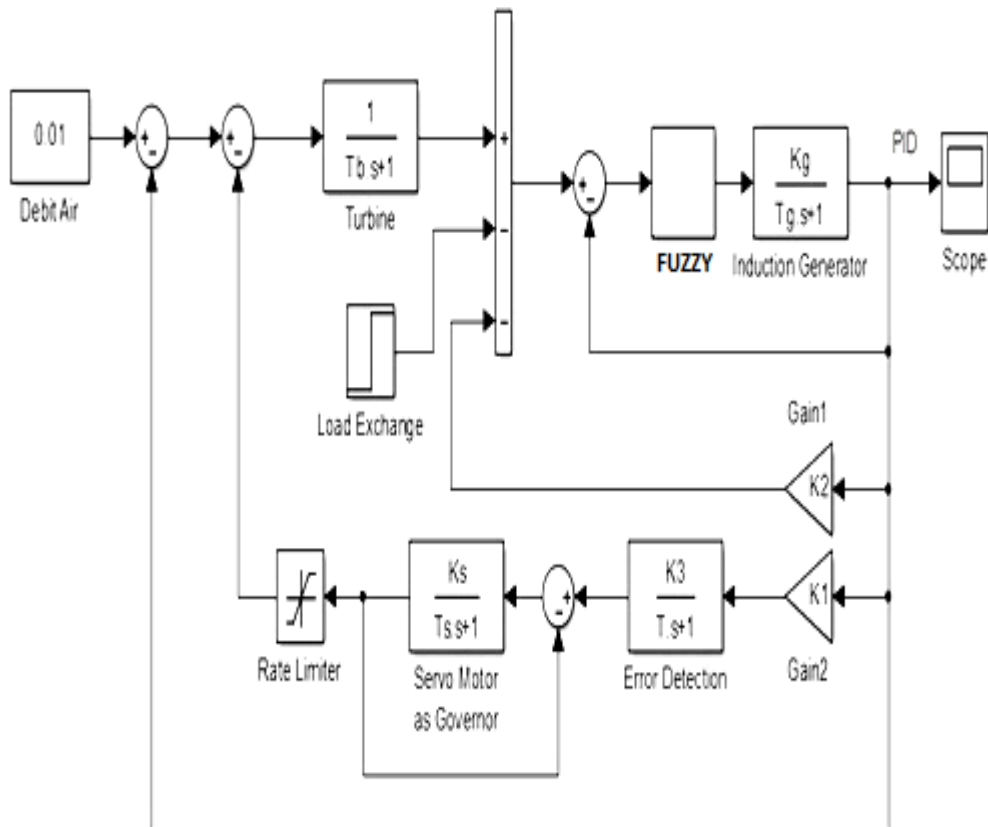
Pada diagram blok diatas terdapat parameter-parameter yang menunjukkan masing-masing bagian dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Dimulai dari bagian input sistem yang nilainya diperoleh dari besarnya debit air untuk memutar turbin air. Selanjutnya masuk pada blok Turbin Air yang memiliki parameter  $T_w$  pada turbin, energi air yang memutar turbin dikonversikan menjadi daya mekanis yang menjadi salah satu nilai masukan untuk generator. Dari blok pendeteksi error, sinyal akan diteruskan ke blok servomotor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpanbalikkan sebagai nilai masukan pada governor tersebut. Juga output dari governor ini diteruskan ke *rate limiter* yang berfungsi untuk membatasi sinyal pada nilai saturasi paling tinggi dan paling rendah yang telah ditentukan. Dari keluaran rate limiter ini, diteruskan sebagai masukan pada blok turbin air.

Selain parameter - parameter yang telah ditentukan sebelumnya, terdapat juga nilai input pada generator yang berasal dari *Load Exchange* atau perubahan frekuensi beban. Sinyal input akibat perubahan beban ini merupakan bagian yang sangat menentukan bagaimana system pengaturan frekuensi ini berjalan. Nilai sinyal ini dapat berubah-ubah nilainya, tergantung besar atau kecilnya beban daya listrik yang digunakan oleh pelanggan.

Tabel 1. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

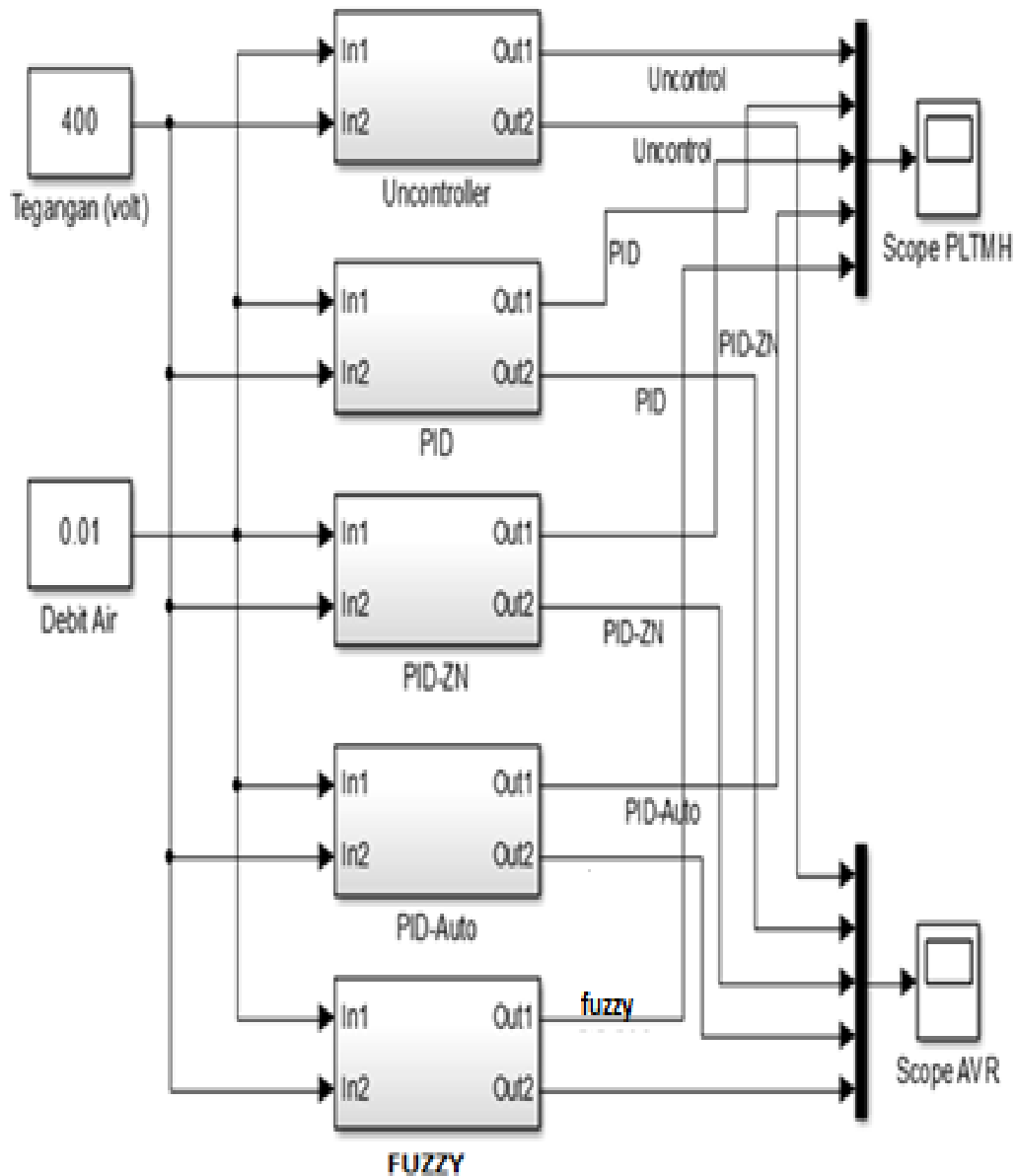
	Nilai	Keterangan
$T_b$	1	Respon waktu turbin air (s)
$K_g$	1	Penguatan pengatur generator induksi (s)
$T_g$	13,333	Respon waktu generator induksi (s)
$K_1$	5	Konstanta penguatan <i>Error Detection</i>
$K_2$	8,52	Konstanta penguatan deviasi frekuensi
$K_3$	0,004	Penguatan pengatur <i>Error Detection</i>
$T$	0,02	Respon waktu <i>Error Detection</i>
$T_s$	0.1	Konstanta waktu governor (s)
$K_S$	2,5	Penguatan pengatur governor
$S_g$	40	Rating daya generator mikro hidro (kVA)
$pf$	0,8	Faktor daya
$V_g$	400/231	Tegangan nominal generator (V)
$\omega$	1500	Kecepatan rotasi nominal (rpm)
$f_g$	50	Frekuensi nominal mikro hidro (Hz)

**Model Kontrol**



Gambar 2. Pengaturan Frekuensi pada PLTMH

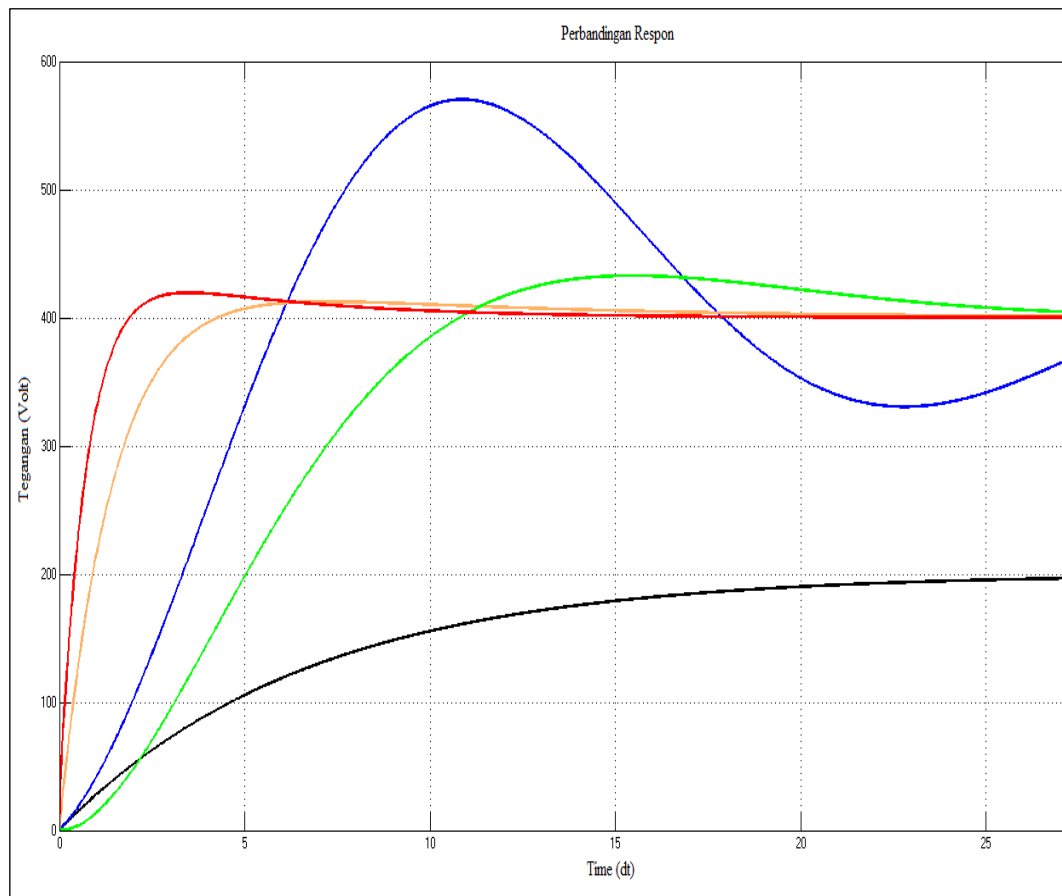
Gambar rancangan simulasi Pembangkit Mikrohidro dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Model Simulasi beberapa mcam control

### HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 5 dan gambar 6. AVR bekerja secara bersamaan dengan sensor agar tegangan tetap sama. Hasil respon AVR dengan tegangan refferensi 400 volt pada berbagai model dapat dilihat pada gambar 4.

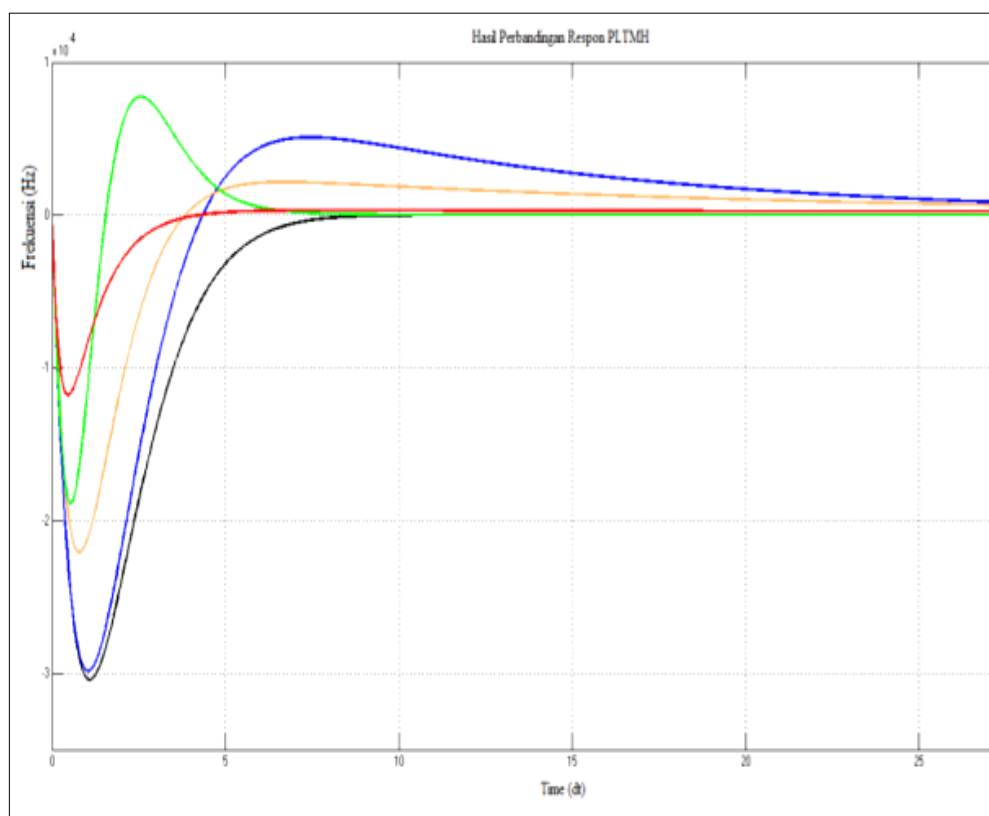


Gambar 4.. Hasil Respon AVR

Dari gambar grafik hasil respon AVR diatas dapat di jelaskan bahwa:

1. Tanpa kontroller didapatkan tidak ada overshoot tapi sistem tidak bisa mencapai tegangan yg diinginkan.
2. PID standar kontroller didapatkan terjadi overshoot tegangan pada  $t = 10,5$  detik sebesar 570 Volt dengan settling time = 31 detik.
3. PID Auto tuning kontroller didapatkan terjadi overshoot tegangan pada  $t = 15,6$  detik sebesar 433 Volt dengan settling time = 28,4 detik.
4. PID Ziegler Nichols kontroller didapatkan terjadi overshoot tegangan pada  $t = 14,8$  detik sebesar 412 Volt dengan settling time = 8,45 detik.
5. FUZZY kontroller didapatkan terjadi overshoot tegangan pada  $t = 3,35$  detik sebesar 420 Volt dengan settling time = 4,9 detik.





Gambar 5. Hasil Respon PLTMH

Haril grafik di atas dapat diartikan bahwa:

1. Tanpa controller didapatkan undershoots =  $-3,14 \times 10^{-5}$  (399,88 Volt) pada saat  $t = 1,15$  dengan settling time 10 detik.
2. PID standar controller didapatkan undershoots =  $-3,14 \times 10^{-5}$  (399,88 Volt) pada saat  $t = 1,15$  overshoots =  $5,1 \times 10^{-5}$  (400,02 Volt) pada saat  $t = 7,5$  dengan settling time 29 detik.
3. PID Auto tuning controller didapatkan undershoots =  $-1,89 \times 10^{-5}$  (399,992 Volt) pada saat  $t = 0,53$  overshoots =  $7,73 \times 10^{-5}$  (400,032 Volt) pada saat  $t = 7,5$  dengan settling time 9,5 detik.
4. PID Ziegler Nichols controller didapatkan undershoots =  $-2,21 \times 10^{-5}$  (399,991 Volt) pada saat  $t = 0,8$  overshoots =  $2,15 \times 10^{-5}$  (400,008 Volt) pada saat  $t = 6,6$  dengan settling time 19 detik.
5. FUZZY controller didapatkan undershoots =  $-1,18 \times 10^{-5}$  (399,996 Volt) pada saat  $t = 0,45$  dengan settling time 4,22 detik.

## V. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil penelitian, sistem PLTMH dapat disimpulkan bahwa kontroler terbaik pada penelitian ini adalah FUZZY yaitu didapatkan undershoots =  $-1,18 \times 10^{-5}$  (399,996 Volt) pada saat  $t = 0,45$  dengan settling time 4,22 detik. Ini berarti bahwa kesetabilan tegangan antara 399,996 sampai dengan 400,000 Volt, yang berarti lebih baik dari kesetabilan tegangan yang diperbolehkan pada sistem, yaitu 5 % tegangan nominal (380 – 420 Volt).

## DAFTAR PUSTAKA

- DS. Henderson, "*An advanced electronic load governor for control of Micro hydroelectric power generation*", IEEE Transactions Energy Conversion, Vol.13, No.3, September 1998.
- Dwaraka S. Padimiti and Badrul H. Chowdhury, "*Superconducting Magnetic Energy Storage System (SMES) for Improved Dynamic System Performance*", Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE
- Imam Robandi, "*Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika*", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2006.
- Imam Robandi, "*Modern Power System Control*", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009
- J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In Proceed-ings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks. IEEE Service Center, Piscataway, 1995.
- Kundur, P, (1994), *Power System Stability and Control*, EPRI, Mc.Graw Hill, Inc, New York.
- Muh Budi R Widodo, Soediby, Ali Musyafa, dan Imam robandi "*Aplikasi Fuzzy PIPD pada Pengendali Wicket Gate pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*" Prosiding Seminar Nasional Basic Science 7, Malang, 2010
- M. Hammandlu, H. Goyal, "*Proposing a new advanced control technique for micro hydro power plants*", Electrical power and Energy System, 2008
- Saadat, H, (1999), *Power System Analysis*, Mc. Graw Hill Book Co, Singapore
- Tsabit Mustarin, Teguh Yuwono, Imam Robandi, "*Desain Optimal Automatic Voltage Regulator(AVR) dengan Superconducting Magnetic Energy Storage(SMES) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Firefly Algorithm(FA)*", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2015) 1-6
- Yang, X. S. (2009). "*Firefly algorithms for multimodal optimization*". *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, SAGA 2009. Lecture Notes in Computer Sciences 5792. pp. 169–178. Ar Xiv: 1003. 1466