

# Optimasi LFC (*Load Frequency Control*) Pada Mikrohidro Menggunakan Metode ACO-ANFIS dan BA-ANFIS

<sup>1\*</sup>Machrus Ali, <sup>2</sup>Rizqi Nafiardli, <sup>3</sup>Sunarto, <sup>4</sup>Dwi Ajiatmo

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>1</sup>machrus7@gmail.com, <sup>2</sup>rizqinafiardli@gmail.com, <sup>3</sup>masnartoajja@gmail.com, <sup>4</sup>ajiatmo@gmail.com

## Article Info

### Article history:

Received March 19<sup>th</sup>, 2024

Revised April 5<sup>th</sup>, 2024

Accepted April 21<sup>th</sup>, 2024

### Keyword:

ACO

ANFIS

BA

Microhydro

Optimization

## ABSTRACT

Micro-hydro Power Plant is a small-scale power plant. Micro-hydro plants are built with enough water potential to generate electrical energy. A common problem with micro-hydro generating systems is that the output of the generator is not constant. This is caused by changes in connected loads. Thus causing frequent fluctuations in the frequency and voltage of the system that can cause damage to electrical equipment. Because it is used Load Frequency Control (LFC) to control the frequency can be more stable. To obtain optimal control parameters on micro hydropower systems used by Artificial Intelligence (AI) is Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS data is retrieved from training data of PID controllers tuned using Ant Colony Optimization (ACO) and Bat Algorithm (BA). This study compared uncontrolled methods, PID-ZN control methods, PID-ACO method, PID-BA, PID-ACO-ANFIS, and PID-BA-ANFIS obtained the best control method. The result of this research is the control method of PID-ACO-ANFIS is the best control method with overshoot 0.00 and the fastest settling time is 0.00. The results showed that the smallest overshoot (0) in the PID-ACO-ANFIS model, the smallest undershoots ( $1,12 \times 10^{-5}$ ) in PID-ACO-ANFIS and the fastest settling time (3.77 seconds) in the starting also at PID-ACO-ANFIS. The results of this study will be tried bengan other methods, which results may be better.

Copyright © 2024 Nucleus Journal

All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v3i1.3104>

### Corresponding Author:

Machrus Ali

Teknik Elektro, Universitas Darul 'Ulum, Jombang

Address: Jl. Gus Dur No.29A, Mojongapit, Kec. Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur 61419

Email: machrus7@gmail.com

*Abstrak*— Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil. Pembangkit mikro-hidro dibangun dengan potensi air yang cukup untuk menghasilkan energi listrik. Masalah yang sering terjadi pada sistem pembangkit mikro-hidro adalah terjadinya keluaran generator yang tidak konstan. Hal ni disebabkan oleh perubahan beban yang terhubung. Sehingga menyebabkan seringnya fluktuasi pada frekuensi dan tegangan sistem yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Karena itu digunakan Load Frequency Control (LFC) agar mengontrol frekuensi dapat lebih stabil. Untuk mendapatkan parameter kontrol optimal pada sistem

pembangkit listrik tenaga air mikro digunakan Artificial Intelligence (AI) yaitu metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Data ANFIS diambil dari data pelatihan pengendali PID yang dituning menggunakan Ant Colony Optimization (ACO). Penelitian ini membandingkan metode tanpa control, metode kontrol PID-ZN, metode PID-ACO, PID-BA, PID-ACO-ANFIS, dan PID-BA-ANFIS diperoleh metode kontrol yang paling baik. Hasil penelitian didapatkan bahwa overshoot terkecil (0) pada model PID-ACO-ANFIS, undershoots terkecil ( $1,12 \times 10^{-5}$ ) pada PID-ACO-ANFIS dan settling time tercepat (3,77 detik) pada starting juga pada PID-ACO-ANFIS. Hasil penelitian ini nantinya akan dicoba dengan metode lain, yang hasilnya mungkin akan lebih baik.

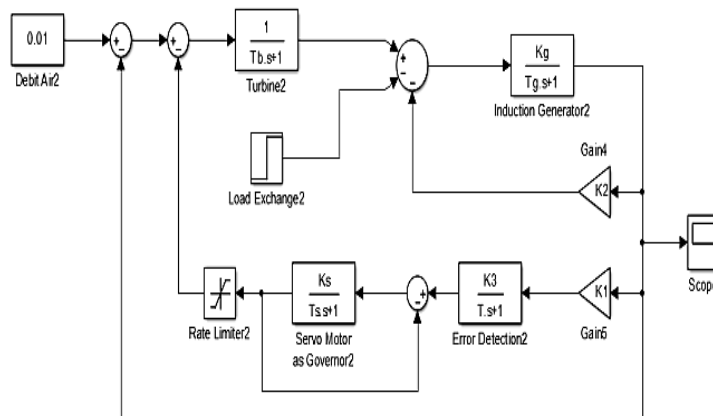
## I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro semakin banyak digunakan sebagai alternatif sumber energi listrik, pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki kelebihan secara teknis dan ekonomis. Hal tersebut disebabkan mikro hidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang tidak memerlukan instalasi penyimpanan air yang luas dan ramah lingkungan. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit mikro hidro adalah terjadinya putaran tidak konstan generator yang disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung. Sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi frekuensi pada sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi diperlukan agar selalu berada pada daerah kerja sangat diperlukan. Saat ini Artificial Intelligence (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan[1], sebagai kontrol sudu turbin angin [2], sebagai kontrol mikrohidro [3], sebagai kontrol kecepatan motor DC[4]. Diantaranya menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO)[5][6][7] dan Bat Algorithm (BA)[8]. Maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang Optimasi LFC (Load Frequency Control) Pada Mikrohidro Menggunakan Metode ACO-ANFIS dan BA-ANFIS.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada paper ini menggunakan sebuah generator induksi, sebuah motor servo yang dioperasikan sebagai governor, yang dimodelkan pada simulasi menggunakan program Matlab-Simulink. Konfigurasi dari pembangkit mikro hidro yang dirancang pada penelitian penelitian ini, bisa dilihat pada gambar 1.

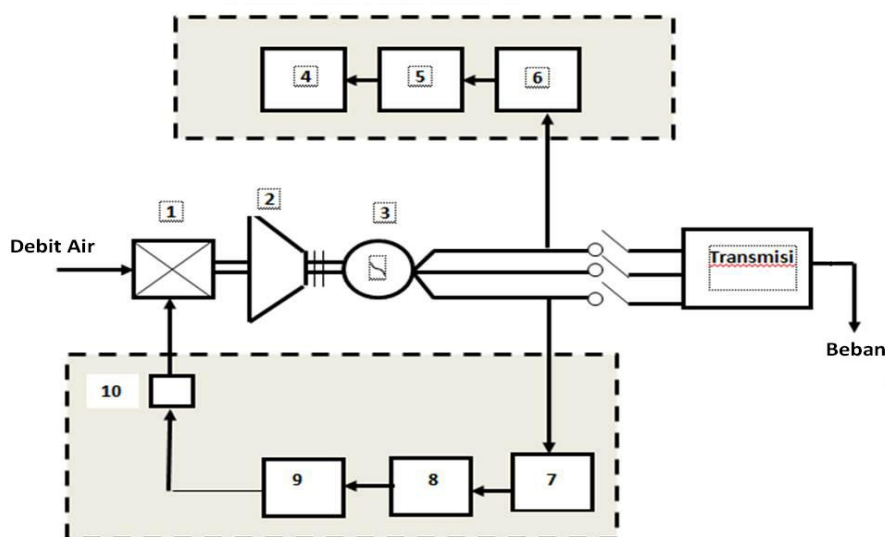


Gambar 1. Diagram blok mikro hidro[9][10]

Dari blok pendeteksi error, sinyal  $\Delta\omega$  akan diteruskan ke blok servo motor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpun 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.

### B. Diagram Skematik LFC

Berikut ini adalah diagram skematik LFC pada Generator. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Diagram Skematik LFC pada Generator[11][12]

### C. 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 diumpun 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. 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. Besar parameter mikromhidro yang ditelita bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter pembangkit listrik mikro hidro

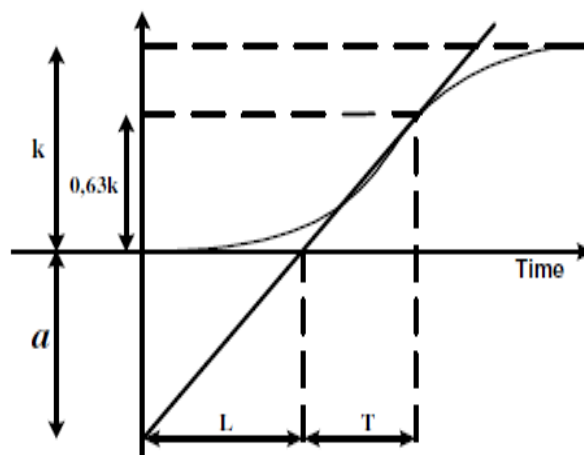
	Nilai	Keterangan
$T_b$	1	Respon waktu turbin air (s)
$K_g$	1	Penguatan pengatur generator induksi (s)
$T_g$	13,333	Respon waktu generator induksi (s)
$K_1$	5	Konstanta penguatan <i>Error Detection</i>
$K_2$	8,52	Konstanta penguatan deviasi frekuensi
$K_3$	0,004	Penguatan pengatur <i>Error Detection</i>
$T$	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)

D. *Proporsional Integral Derivatif (PID)*

Kontrol PID banyak digunakan pada industri khususnya aplikasi kontrol karena strukturnya simple, algoritma kontrol yang konperhensif, dan biayanya murah. PID merupakan *controller* untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik / *feed back* pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu Proportional, Integratif, dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*. [4]

1. *Metode Ziegler Nichols*

Metode ke-1 didasarkan pada respon plant terhadap masukan kalang terbuka. Plant yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S pada Gambar 3. Kurva tanggapan plant digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T.



Gambar 3. Kurva tanggapan berbentuk S.

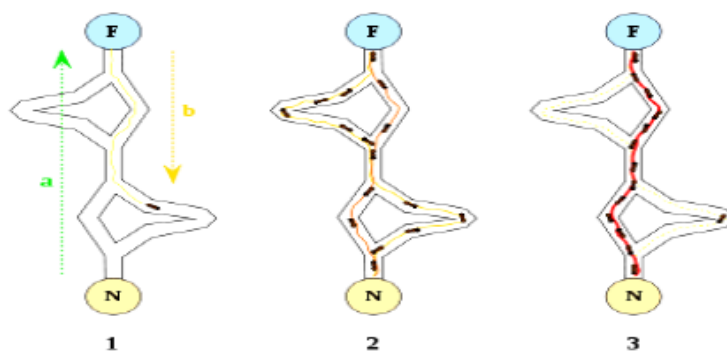
Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Zielger-Nichols. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-1

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	1/a	-	-
PI	0.9/a	3L	-
PID	1.2/a	2L	L/2

2. *Ant Colony Optimization (ACO)*[13]

Ant colony Optimization adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisaya digunakan untuk oprtimasi system, diantaranya system kendaraan, Turbin angin, wind diesel, Motor listrik dan system tenaga ataupun renewable energi lainnya. Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannanya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma ant colony Optimization ini. Pada awalnya berjalan secara acak, setelah mendapatkan kembali makanan untuk koloni mereka juga meletakkan feromon atau jejak. Jika semut lain menemukan jalan semacam itu, mereka tidak akan bepergian secara acak, tapi semut tidak mengikuti jejak lagi, jika pada akhirnya mereka menemukan makanan baru. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu. Langkah - langkah Penyelesaian Komputasi Pada ACO terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Langkah-langkah komputasi ACO.

Kemampuan individual terbatas semut telah mampu menemukan jalan terpendek antara sumber makanan dan sarang. Semut pertama menemukan sumber makanan (F), melalui cara apapun (a), kemudian kembali ke sarang (N), meninggalkan jejak (b). Semut berikutnya mengikuti empat cara yang mungkin, tetapi iya memilih jalur sebagai rute terpendek. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak route yang panjang akan hilang. Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta\tau^k \tag{1}$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas i-j, maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij}, j : \forall (i,j) \in A \tag{2}$$

Penurunan jumlah pheromone memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone.[13]

### 3. Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm (BA))[14]

Bat Algorithm (BA) didasarkan pada fitur echolocation dari microbats, dan BA menggunakan teknik tuning frekuensi untuk meningkatkan di- Keanekaragaman solusi dalam populasi, sementara pada saat yang sama, menggunakan otomatis zoom untuk mencoba menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi selama proses pencarian meniru variasi tingkat emisi pulsa dan kenyaringan kelelawar saat mencari untuk mangsa.

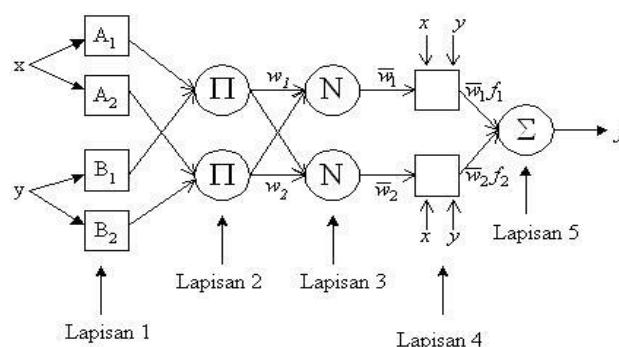
Dengan melihat beberapa aturan yang terdapat pada proses pemantulan yang dilakukan oleh kelelawar. Hal ini menjadikan inspirasi untuk membuat suatu aturan yang menjadi sebagai algoritma kelelawar.

- Semua kelelawar menggunakan kemampuan ekolokasi untuk mengetahui jarak, mereka juga dapat membedakan antara mangsa dan benda-benda di sekitar mereka
- Kekelawar terbang secara acaka dengan kecepatan  $v_i$  dan dengan posisi  $x_i$  dengan frekuensi tetap  $f_{min}$ , dengan variasi panjang gelombang  $\lambda$  dan kenyaringan  $A_0$  saat mencari mangsa.
- Mereka secara otomatis dapat menyesuaikan panjang gelombang dari sinyal yang mereka pancarkan dan menyesuaikan tingkat sinyal  $r \in [0,1]$ , dan tergantung pada target mereka.
- Tingkat kekerasan suara diasumsikan bervariasi dari  $A_{min}$  hingga  $A_0$ . [14]

### 4. Model Kontrol menggunakan ANFIS

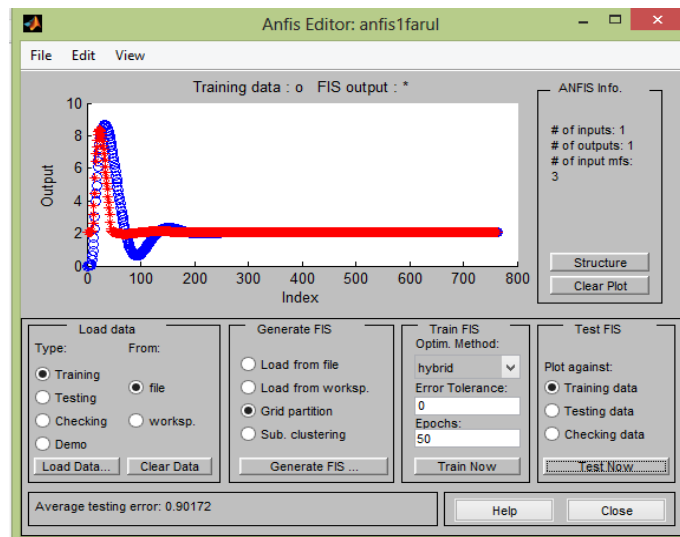
Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inference fuzzy yang digunakan adalah sistem inference fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi [15][16].

Untuk menjelaskan arsitektur ANFIS, disini diasumsikan fuzzy inference sistem (FIS) hanya mempunyai dua input,  $x$  dan  $y$ , serta satu output yang dilambangkan  $z$ . Pada model sugeno orde satu, himpunan aturan menggunakan kombinasi linier dari input-input yang ada, dapat diekspresikan sebagai berikut: Jika  $x$  adalah  $A_1$  dan  $y$  adalah  $B_1$  kemudian  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ , Jika  $x$  adalah  $A_2$  dan  $y$  adalah  $B_2$  kemudian  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ . Struktur yang digambarkan dalam lingkaran blok atau disebut arsitektur jaringan syaraf sebagaimana dapat dilihat pada gambar 5; [11][17]



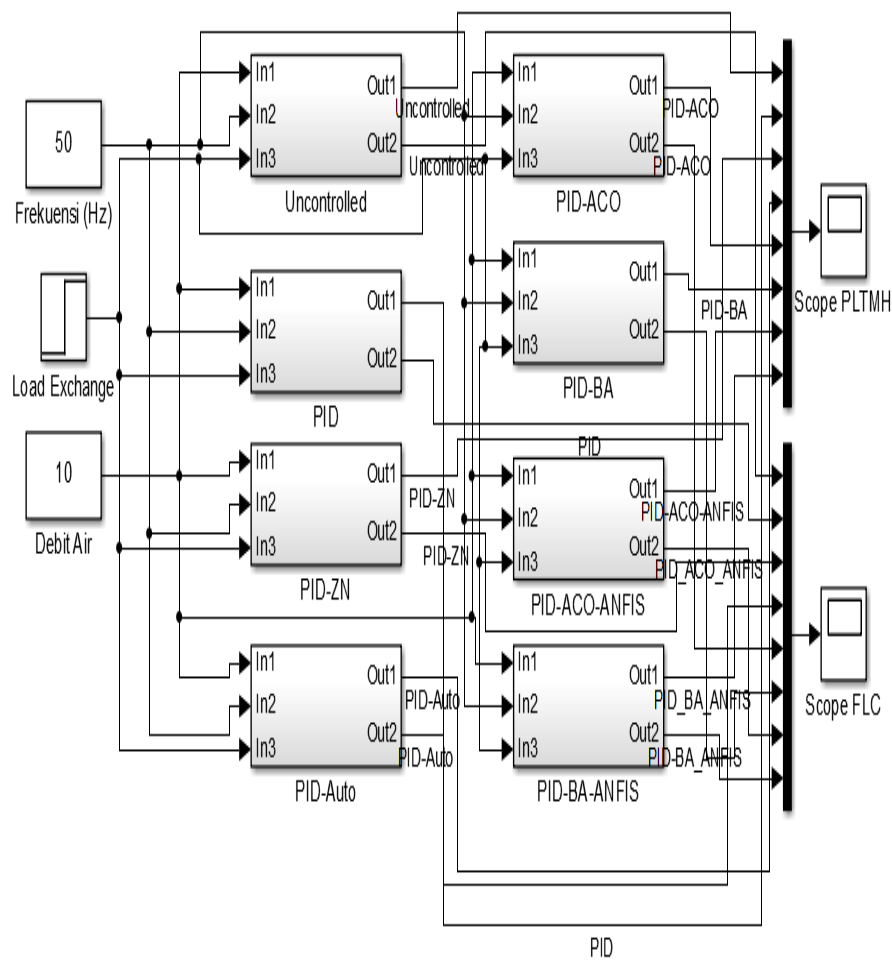
Gambar 5. Struktur ANFIS

ANFIS merupakan metode pembelajaran dari hasil running suatu program, dalam hal ini mempelajari hasil control mikro hidro dengan control PID yang sudah disimpan training datanya pada simout. Data tersebut dimasukkan kedalam fuzzy Sugeno dengan memasukkan data training ke load data, generate FIS, memperbesar epochs menjadi 50, training dan kemudian test. Hasil kemudian diekspor ke file atau ke workspace dengan nama yang sesuai dengan nama fuzzy yang telah kita buat pada plan. Hasil test akan terlihat seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil Training data ANFIS

Gambar simulasi dapat dilihat pada gambar 7:



Gambar 7. Model Simulasi beberapa macam kontrol dengan memberikan perubahan beban pada  $t = 25$  detik

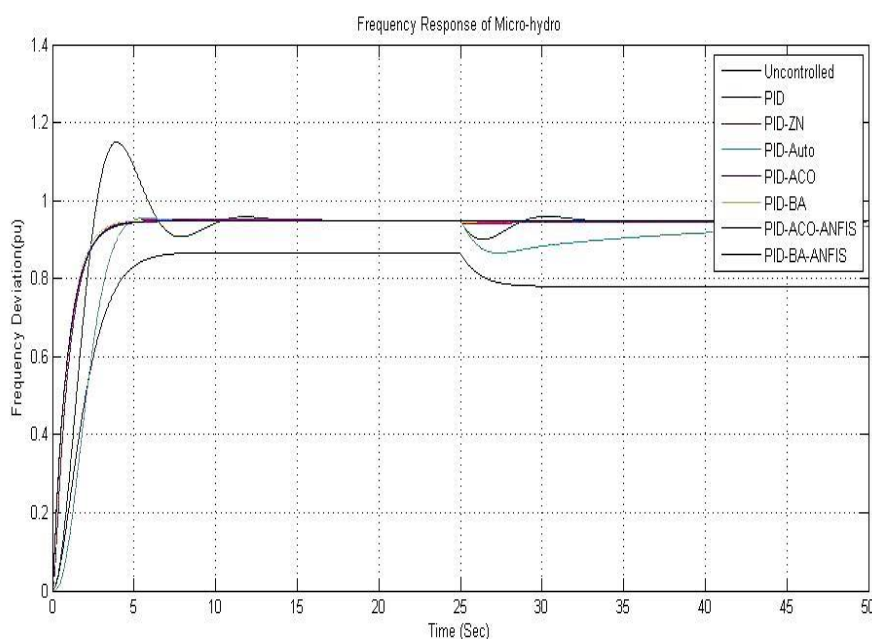
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (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. Mikro Hidro 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. Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  pada PID dapat dilihat pada tabel 3:

Tabel 3. Konstanta Hasil Tuning

	Uncontrol	PID	PID-Auto	PID-ZN	PID-ACO	PID-BA
$K_p$	-	1	15,664	10	28,234	21.234
$K_i$	-	1	21,619	1,21	0,609	11.862
$K_d$	-	0	2,711	0	0,802	0.453

Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 8 dan gambar 9 dibawah ini:

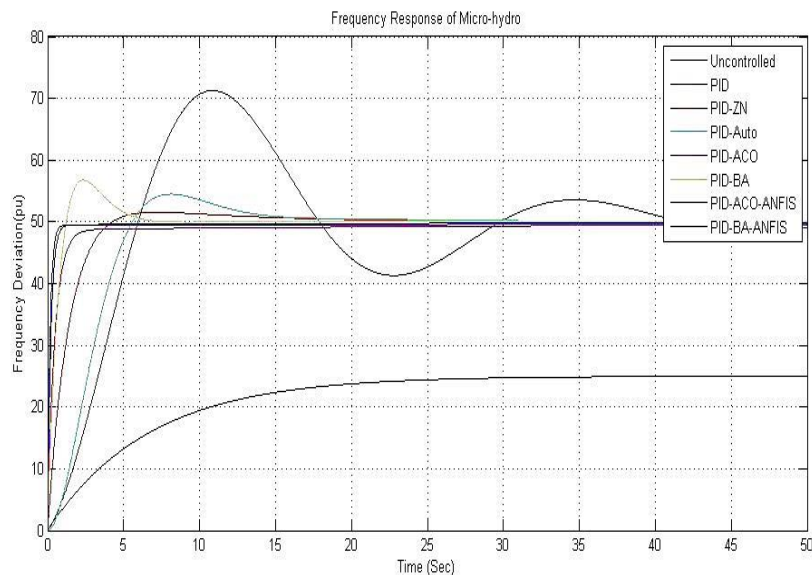


Gambar 8. Hasil respon PLTMH

Haril grafik di atas dapat diartikan bahwa: respon mikro hidro mulaaia dari start dan diberi perubahan beban saat  $t=25$  detik didapatkan: Tanpa controller didapatkan  $undershoots = -3,14 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 1,15$  dengan  $settling\ time$  10 detik. PID standar kontroler didapatkan  $undershoots = -3,14 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 1,15$   $overshoots = 5,1 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 7,5$  dengan  $settling\ time$  29 detik. PID Auto tuning kontroler didapatkan  $undershoots = -1,89 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,53$   $overshoots = 7,73 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 7,5$  dengan  $settling\ time$  9,5 detik. PID Ziegler Nichols kontroler didapatkan  $undershoots = -2,21 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,8$   $overshoots = 2,15 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 6,6$  dengan  $settling\ time$  19 detik. PID-ACO kontroler didapatkan  $undershoots = -1,18 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,46$  dengan  $settling\ time$  4,22 detik, PID-BA kontroler didapatkan  $undershoots = -1,21 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,48$  dengan  $settling\ time$  4,35 detik, PID-ACO-ANFIS kontroler didapatkan  $undershoots = -1,12 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,31$  dengan  $settling\ time$  3,77 detik, dan PID-BA-ACO kontroler didapatkan  $undershoots = -1,17 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,43$  dengan  $settling\ time$  4,31 detik. Saat  $t = 25$  dt, terjadi  $undershoots$  pada  $uncontrolled = 0,22$ , PID = 0.1, PID-ZN = 0,06, PID-Auto = 0,09, PI-ACO = 0,05, PI-BA = 0,06, PI-ACO-ANFIS = 0,04, PI-BA-ANFIS = 0,05.



Untuk respon pada LFC dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil respon LFC

Dari gambar grafik Hasil respon LFC diatas dapat di jelaskan bahwa, haril grafik di atas dapat diartikan bahwa: Tanpa kontroller didapatkan tidak ada overshoot tapi sistem tidak bisa mencapai frekuensi yg diinginkan. PID standar kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 11,5$  detik sebesar 72 Hz dengan *settling time* 50 detik. PID *Auto tuning* kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 11,5$  detik sebesar 72 Hz dengan *settling time* 50 detik. PID Ziegler Nichols kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 25,5$  detik sebesar 52,5 Hz dengan *settling time* 8,5 detik. PID-ACO kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 3,4$  detik sebesar 57 Hz dengan *settling time* 5 detik. PID-BA kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 5,3$  detik sebesar 58 Hz dengan *settling time* 7 detik. PID-ACO-ANFIS kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 3,1$  detik sebesar 55 Hz dengan *settling time* 4 detik. PID-BA-ANFIS kontroller didapatkan terjadi *overshoot* frekuensi pada  $t = 4,9$  detik sebesar 57 Hz dengan *settling time* 6 detik.

#### iv. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil penelitian dari beberapa model control dipadatkan bahwa *overshoot* terkecil (0) pada model pengaturan PID-ACO-ANFIS, *undershoots* terkecil ( $1,12 \times 10^{-5}$ ) pada PID-ACO-ANFIS dan *settling time* tercepat (3,77 detik) pada starting juga pada PID-ACO-ANFIS. Hal ini menunjukkan bahwa dengan model kontrol PID-ACO-ANFIS sistem akan lebih cepat merespon dan memperbaiki frekuensi agar tetap konstan. Hasil penelitian ini nantinya akan dicoba dengan metode lain, yang hasilnya mungkin akan lebih baik.

#### v. Daftar Pustaka

- [1] D. H. Kusuma, M. Ali, and N. Sutantra, "The comparison of optimization for active steering control on vehicle using PID controller based on artificial intelligence techniques," in 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISEmantic), IEEE, Aug. 2016, pp. 18–22. doi: 10.1109/ISEMANTIC.2016.7873803.
- [2] "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)".
- [3] T. Siswanto, D. H. Kusuma, and A. Raikhani, "Desain Optimal Load Frequency Control ( Lfc ) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ( Pltmh ) Menggunakan Metode Particle

- Swarm Optimization ( Pso ) B-35 B-36,” Pros. SENTIA 2016 – Politek. Negeri Malang, vol. 8, pp. 35–39, 2016.
- [4] M. Ali and M. Muhlasin, “Auto-Tuning Method for Designing Matlab DC Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative),” ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol., vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2017.
- [5] M. N. Masrukhan, M. P. Mulyo, D. Ajiatmo, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Pid Dengan Tuning Ant Colony Optimization (ACO) Controller,” in SENTIA-2016, Polinema, Malang, Malang, 2016, pp. B49–B52. [Online]. Available: <http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2016/article/view/76>
- [6] M. Ali, I. Umami, and H. Sopian, “Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO),” J. Intake, vol. 6, no. 1, pp. 34–50, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.undar.ac.id/index.php/intake/article/view/367>
- [7] D. Ajiatmo and A. Raikhani, “Desain Optimasi LFC Pada Micro-hydro menggunakan Metode Ant Colony Optimization ( ACO ),” Semnasinotek-2017, vol. 1, no. 1, pp. 75–80, 2017.
- [8] Y. G. Hartlambang, H. Nurohmah, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm),” in SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura, 2017, pp. 1–8. [Online]. Available: [http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM\\_2017\\_paper\\_2.pdf](http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM_2017_paper_2.pdf)
- [9] Kadaryono, M. Ali, Muhlasin, and Budiman, “Desain Pengaturan Governor Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO),” J. Intake, vol. 7, no. 1, pp. 40–54, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal.undar.ac.id/index.php/intake/article/view/385>
- [10] A. A. Firdaus et al., “Design of greenhouse monitoring for hydroponic based on microcontroller and android system,” in AIP Conference Proceedings, 2023, p. 40008. doi: 10.1063/5.0109934.
- [11] M. Muhlasin, R. Rukslin, A. Raikhani, and M. Ali, “The FA-ANFIS Hybrid Method is used for LFC Optimization in Micro Hydro Power Generation,” in Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017), Gorontalo: Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, 2017, pp. 225–229. [Online]. Available: [http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/43-Fullpaper\\_Muhlasin\\_Fullpaper\\_Muhlasin\\_Paper\\_Fortei\\_Muhlasin\\_Microhydro\\_FA\\_Anfis.pdf](http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/43-Fullpaper_Muhlasin_Fullpaper_Muhlasin_Paper_Fortei_Muhlasin_Microhydro_FA_Anfis.pdf)
- [12] M. Ali, M. R. Djalal, S. Arfaah, Muhlasin, M. Fakhrurozi, and R. Hidayat, “Application of Energy Storage-PID For Load Frequency Control In Micro-hydro Using Flower Pollination Algorithm,” in 2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS), IEEE, Oct. 2021, pp. 281–285. doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9702063.
- [13] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, “Ant colony optimization,” IEEE Comput. Intell. Mag., vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006, doi: 10.1109/MCI.2006.329691.
- [14] X.-S. Yang, “Bat Algorithms,” in Nature-Inspired Optimization Algorithms, Elsevier, 2014, pp. 141–154. doi: 10.1016/B978-0-12-416743-8.00010-5.
- [15] Hidayatul Nurohmah, M. Ali, Rukslin, Dwi Ajiatmo, and Muhammad Agil Haikal, “Komparasi PID, FLC, dan ANFIS sebagai Kontroler Dual Axis Tracking Photovoltaic berbasis Bat Algorithm,” J. JEETech, vol. 3, no. 2, pp. 71–77, Sep. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.197.
- [16] M. Ali, Budiman, A. R. Sujatmika, and A. A. Firdaus, “Optimization of controller frequency in wind-turbine based on hybrid PSO-ANFIS,” IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 1034, no. 1, p. 12070, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1034/1/012070.
- [17] M. Ibrahim, D. Ramadhan, R. Rukslin, M. Ali, and M. Muhlasin, “Optimasi Kontroler Putaran Motor Permanent Magnet Syschronous Machine (PMSM) menggunakan PSO-ANFIS (Studi Kasus di Perumdam Tirta Kencana),” El Sains J. Elektro, vol. 2, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.30996/elsains.v2i2.4770.