

# Optimasi Kontroller CES dan ANFIS Untuk Meredam Osilasi Frekuensi Pada Mikrohidro Berbasis Ant Colony Optimization

<sup>1</sup>Rizqi Nafiardli, <sup>2</sup>Nasrul Fatkhur, <sup>3</sup>Muhlasin, <sup>4</sup>Askan, <sup>5</sup>Machrus Ali

<sup>1,3,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>2,4</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>1</sup>rizqinafiardli@gmail.com, <sup>2</sup>nasrulfatkhur@gmail.com, <sup>3</sup>doktormuhlasin@gmail.com,

<sup>4</sup>askanzamzam@gmail.com, <sup>5</sup>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 ini disebabkan oleh perubahan beban yang terhubung. Sehingga menyebabkan seringnya fluktuasi pada frekuensi dan tegangan sistem yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Mekanisme LFC ini dirancang dengan menggunakan Capacitive Energy Storage (CES), yang memiliki kemampuan untuk memberikan kompensasi daya agar dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan osilasi frekuensi yang diakibatkan oleh terjadinya perubahan beban daya listrik dari pelanggan. CES menyediakan sistem penyimpanan energi yang dapat beroperasi secara cepat dan otomatis. Maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian optimasi kontroller CES dan ANFIS untuk meredam osilasi frekuensi pada mikrohidro berbasis Ant Colony Optimization. Penelitian ini membandingkan metode tanpa control, metode kontrol PID-ZN, metode PID-ACO, PID-CES, PID-ANFIS, dan PID-ACO-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.

**Kata Kunci**— ACO, ANFIS, CES, 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. The LFC mechanism is designed using Capacitive Energy Storage (CES), which has the ability to provide power compensation in order to reduce or even eliminate the frequency oscillations caused by changes in the electrical load of the customer. CES provides energy storage systems that can operate quickly and automatically. Thus, the authors are interested in conducting research on CES and ANFIS Controller Optimization To Reduce Frequency Oscillation on Antony-Based Colony Optimization Micro. This study compared uncontrolled methods, PID-ZN control methods, PID-ACO method, PID-CES, PID-ANFIS, and PID-ACO-ANFIS obtained the best control method. 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 on PID-ACO-ANFIS. The results of this study will be tried with other methods, which results may be better

**Keywords**- ACO, ANFIS, CES, Microhydro, Optimization

## I. PENDAHULUAN

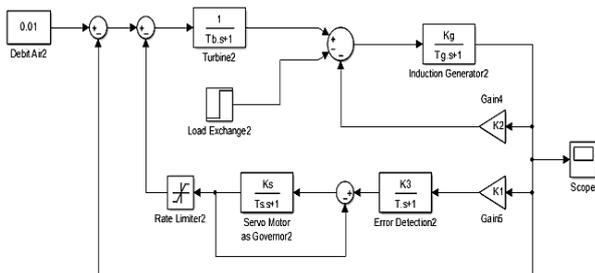
Pembangkit listrik tenaga mikro hidro semakin banyak digunakan sebagai alternatif sumber energi listrik, pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki kelebihan secara teknis dan ekonomis. Hal tersebut disebabkan mikro hidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang tidak memerlukan instalasi 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 Inteligent (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 Capacitive Energy Storage (CES)[8]. Maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang optimasi kontroller CES dan ANFIS untuk meredam osilasi frekuensi pada mikrohidro berbasis ACO

## II. METODELOGI 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.

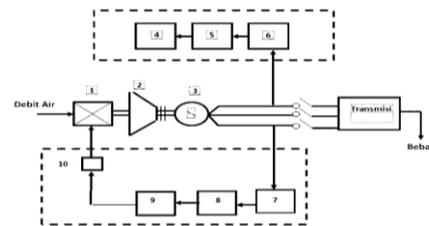


Gambar 1. Diagram blok mikro hidro[9]

Dari blok pendeteksi error, sinyal  $\Delta\omega$  akan diteruskan ke blok servo motor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $Ks$  dan  $Ts$ . 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.[10][11]

### B. Diagram Skematik LFC pada Generator

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



Gambar 2. Diagram Skematik LFC pada Generator[10]

### C. Parameter PLTMH

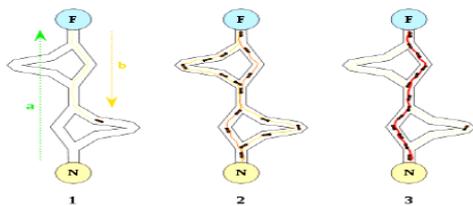
Pada diagram blok diatas terdapat parameter-parameter yang menunjukkan masing-masing bagian dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Dimulai dari bagian input sistem yang nilainya diperoleh dari besarnya debit air untuk memutar turbin air. Selanjutnya masuk pada blok Turbin Air yang memiliki parameter  $T_w$  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 servo motor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $Ks$  dan  $Ts$ . 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 diteliti bisa dilihat pada table 1..

Tabel 1. Parameter pembangkit listrik mikro hidro

|          | Nilai   | Keterangan                                 |
|----------|---------|--|
| $Tb$     | 1       | Respon waktu turbin air (s)                |
| $Kg$     | 1       | Penguatan pengatur generator induksi (s)   |
| $Tg$     | 13,333  | Respon waktu generator induksi (s)         |
| $K1$     | 5       | Konstanta penguatan <i>Error Detection</i> |
| $K2$     | 8,52    | Konstanta penguatan deviasi frekuensi      |
| $K3$     | 0,004   | Penguatan pengatur <i>Error Detection</i>  |
| $T$      | 0,02    | Respon waktu <i>Error Detection</i>        |
| $Ts$     | 0,1     | Konstanta waktu governor (s)               |
| $KS$     | 2,5     | Penguatan pengatur governor                |
| $Sg$     | 40      | Rating daya generator mikro hidro (kVA)    |
| $pf$     | 0,8     | Faktor daya                                |
| $Vg$     | 400/231 | Tegangan nominal generator (V)             |
| $\omega$ | 1500    | Kecepatan rotasi nominal (rpm)             |
| $fg$     | 50      | Frekuensi nominal mikro hidro (Hz)         |

1. *Ant Colony Optimization (ACO)*[12]

Ant colony Optimization adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisa 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 makannya dengan jalur 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[13].



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:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \tag{1}$$

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:

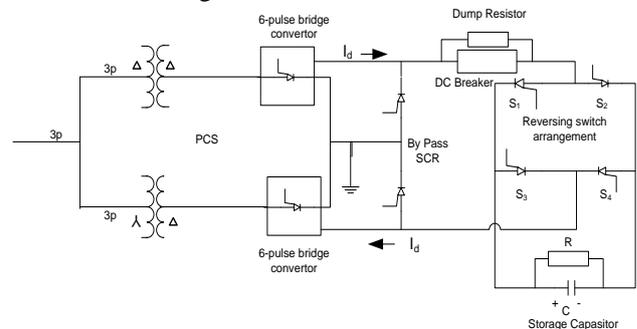
$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j}, j : \forall (i,j) \in A \tag{2}$$

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.[12]

2. *Capacitive Energy Storage (CES)*

CES merupakan sebuah peralatan untuk menyimpan dan melepaskan daya dalam jumlah yang besar secara simultan. CES menyimpan energi dalam medan magnet yang dibuat oleh arus DC pada kumparan superkonduktor yang didinginkan dengan cara cryogenic. Sistem CES telah digunakan beberapa tahun untuk memperbaiki power quality industri dan untuk menyediakan pelayanan yang baik untuk pelanggan yang mengalami fluktuasi tegangan. Pengisian ulang CES dapat dilakukan hanya dalam hitungan menit dan dapat mengulangi proses charge dan discharge ribuan kali tanpa mengurangi magnet. Waktu pengisian ulang dapat dipercepat untuk memenuhi kebutuhan khusus, tergantung pada kapasitas sistem. CES pada sistem tenaga listrik digunakan untuk mengontrol secara efektif keseimbangan daya pada generator sinkron selama periode dinamis, CES dipasang pada bus terminal generator pada model sistem tenaga listrik. Gambar 5. menunjukkan konfigurasi dasar CES dalam sistem tenaga listrik.



Gambar 5. *Capacitive Energy Storage*

*Storage capacitor C* terdiri dari beberapa kapasitor diskrit yang dihubungkan secara paralel. Resistansi *R* yang terhubung secara paralel pada kapasitor *C* merupakan rugi-rugi bocor dan dielektrik kapasitor bank pada CES. *Storage capacitor* dihubungkan ke jala-jala melalui *Power Conversion System (PCS)* yang terdiri dari penyearah *ac to dc* dan inverter *dc to ac*. Dua rangkaian bridge convertor 6-pulsa digunakan untuk mengurangi harmonisa yang muncul. Thyristor *bypass* berfungsi untuk memberikan jalan bagi arus *I<sub>d</sub>* saat terjadi kegagalan konverter. Pemutus dc memungkinkan arus *I<sub>d</sub>* dialihkan ke tempat pembuangan energi resistor *R<sub>D</sub>* jika konverter gagal. Dengan mengabaikan rugi-rugi, tegangan *bridge E<sub>d</sub>* adalah seperti persamaan (3).

$$E_d = 2E_{d0} \cos \alpha - 2I_d R_D \tag{3}$$

Dengan mengubah sudut fase  $\alpha$  pulsa ini dengan nilai yang berkisar dari 0° ke 180°, tegangan kapasitor *E<sub>d</sub>* dapat dibuat bervariasi dari nilai positif maksimum sampai nilai negatif

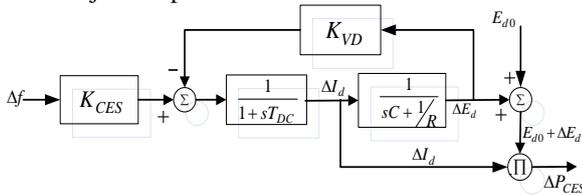
maksimum [10]. Hal ini akan membuat CES sangat efektif dalam meredam osilasi yang disebabkan oleh perubahan beban. Sebab titik operasi normal dari kapasitor dapat diatur sedemikian rupa sehingga penyerapan energi maksimum sama dengan debit energi maksimum. Jika  $E_{d0}$  menunjukkan nilai tegangan awal,  $E_{dmax}$  dan  $E_{dmin}$  menunjukkan batas tegangan maksimum dan minimum, maka:

$$\frac{1}{2}CE_{dmax}^2 - \frac{1}{2}CE_{d0}^2 = \frac{1}{2}CE_{d0}^2 - \frac{1}{2}CE_{dmin}^2 \quad (4)$$

sehingga,

$$E_{d0} = \frac{[E_{dmax}^2 + E_{dmin}^2]}{2} \quad (5)$$

Tegangan CES harus kembali ke nilai awal secara cepat, sehingga setelah gangguan terjadi CES siap bekerja untuk gangguan berikutnya. Oleh karena itu, deviasi tegangan kapasitor digunakan sebagai sinyal umpan balik negatif dalam loop kontrol CES sehingga pemulihan tegangan cepat dicapai seperti ditunjukkan pada Gambar 6. dibawah ini.



Gambar 6. Diagram blok CES

$K_{CES}$  adalah komponen penguatan CES yang dapat diatur sesuai dengan umpan balik  $\Delta f$ . Dimana,  $\Delta f$  merupakan perubahan frekuensi tiap area dari sistem tenaga listrik. Sehingga perubahan arus  $\Delta I_d$  adalah,

$$\Delta I_{di} = \frac{[K_{CES}\Delta f - K_{VD}\Delta E_d]}{1+sT_{DC}} \quad (4)$$

Dengan deviasi tegangan kapasitor  $\Delta E_d$  adalah sebagai berikut:

$$\Delta E_d = \left[ \frac{1}{sC + \frac{1}{R}} \right] \Delta I_d \quad (5)$$

Daya output CES yang dilepas ke sistem pada saat terjadi perubahan beban adalah sebagai berikut:

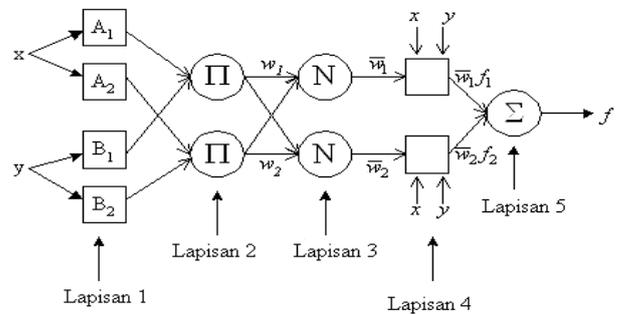
$$\Delta P_{CES} = (E_{d0} + \Delta E_d) \cdot \Delta I_d \quad (6)$$

### 3. 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.

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 A1 dan y adalah B1 kemudian  $f1 = p1x + q1y + r1$ , Jika x adalah A2 dan y adalah B2 kemudian  $f2 = p2x + q2y + r2$ . Struktur yang digambarkan dalam lingkaran blok atau disebut arsitektur jaringan syaraf sebagaimana dapat dilihat pada gambar 7; [10]



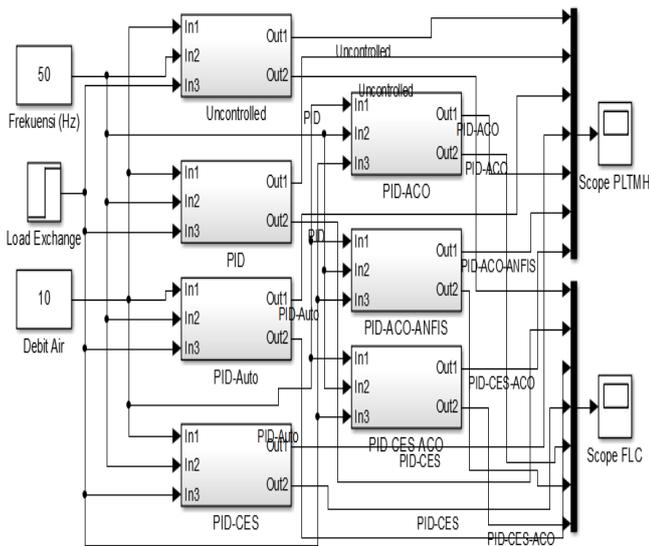
Gambar 7. Struktur ANFIS

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 to workspace dengan nama yang sesuai dengan nama fuzzy yang telah kita buat pada plan. Hasil test akan terlihat seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Training data ANFIS

Gambar simulasi berbagai model dapat dilihat pada gambar 9:



Gambar 9. Model Simulasi beberapa macam kontrol

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

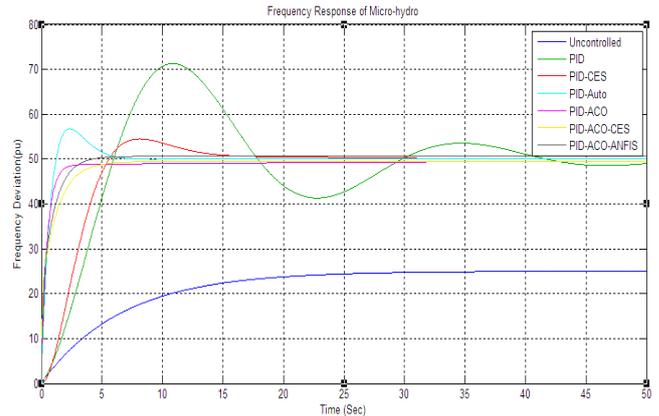
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikro Hidro merupakan sebuah istilah 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-ACO |
|-------|-----------|-----|----------|---------|
| $K_p$ | -         | 1   | 15,664   | 28,234  |
| $K_i$ | -         | 1   | 21,619   | 0,609   |
| $K_d$ | -         | 0   | 2,711    | 0,802   |

Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 10:



Gambar 10. Hasil respon PLTMH

Haril grafik di atas dapat diartikan bahwa: respon mikro hidro mulai dari start dan diberi perubahan beban saat  $t=25$  detik didapatkan: Tanpa kontroller didapatkan *undershoots* =  $-3,143 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 1,152$  dengan *settling time* 10 detik. PID standar kontroller didapatkan *undershoots* =  $-3,141 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 1,152$  *overshoots* =  $5,13 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 7,51$  dengan setting time 29.2 detik. PID Auto tuning kontroller didapatkan *undershoots* =  $-1,893 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,534$  *overshoots* =  $7,731 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 7,52$  dengan *settling time* 9,51 detik. PID-ACO kontroller didapatkan *undershoots* =  $-1,18 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,46$  dengan *settling time* 4,221 detik, PID-CES kontroller didapatkan *undershoots* =  $-1,263 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,521$  dengan *settling time* 4,38 detik, PID-ACO-ANFIS kontroller didapatkan *undershoots* =  $-1,123 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,312$  dengan *settling time* 3,768 detik, dan PID-CES-ACO kontroller didapatkan *undershoots* =  $-1,173 \times 10^{-5}$  pada saat  $t = 0,433$  dengan *settling time* 4,312 detik. Saat  $t = 25$  dt, terjadi *undershoots* pada *uncontrolled* = 0,221, PID = 0,121, PID-Auto = 0,091, PID-ACO = 0,052, PID-CES = 0,081, PID-ACO-ANFIS = 0,042, PID-CES-ACO = 0,07.

### 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 (3,768 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] 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 *Proceedings - 2016 IEEE-International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017.
- [2] M. Ali and I. Robandi, "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," *Pros. SENTIA 2015 – Politek. Negeri Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 2085–2347, 2015.
- [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] Muhlasin and M. Ali, "Auto-Tuning Method For Designing Matlab Dc Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative)," *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, 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*, 2016, pp. B49–B52.
- [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.
- [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] I. T. Yuniahastuti, I. Anshori, and I. Robandi, "Load frequency control (LFC) of micro-hydro power plant with capacitive energy storage (CES) using bat algorithm (BA)," in *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017, pp. 147–151.
- [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.
- [10] 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)*, 2017, pp. 225–229.
- [11] A. Raikhani, M. Ali, D. Ajiatmo, and Budiman, "Desain Optimal Automatic Voltage Regulator Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro Menggunakan Fuzzy Logic Controller," *J. Intake*, vol. 7, no. 1, pp. 30–39, 2016.
- [12] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, "Ant colony optimization," *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006.
- [13] M. Ali and H. Nurohmah, "The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System," in *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 2017, pp. 225–229.