

Desain Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan *PID-CES* Berbasis *Firefly Algorithm*

Ilham Anshoruddin¹, Machrus Ali^{2*}, Rukslin³, Hidayatul Nurohmah⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

¹ianshoruddin@gmail.com, ²machrus7@gmail.com, ³rukslin05@gmail.com, ⁴hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com

Article Info

Article history:

Received August 11th, 2024

Revised August 21th, 2024

Accepted September 09th, 2024

Keyword:

Capacitive Energy Storage, Firefly Algorithm, Picohydro Power Plants, PID

ABSTRACT

Picohydro Power Plant is an alternative small power plant that can be used to drive a turbine capable of producing electricity. A problem that often occurs in Picohydro generating systems is frequency instability caused by changes in the connected load. This problem can result in damage to electrical equipment. Therefore, a technology is needed to optimize the performance of picohydro power plants, namely by implementing Load Frequency Control (LFC). This LFC mechanism is designed using Proportional Integral Derivative (PID) and Capacitive Energy Storage (CES). CES can be used to maintain frequency stability in electrical networks that are susceptible to fluctuations, such as networks connected to unpredictable power plants. In this study, Picohydro Power Plant will be simulated with no control, PID FA control, CES control and PID CES FA control. From the four PLTPH simulation models and their response diagram relationships, it can be concluded that the best controller in this research is PID-CES FA, namely obtained undershoots of -0.000002324 and overshoots of 0.0000004965 with a settling time of 3.026 seconds. By applying the PID-CES FA method to the Picohydro Power Plant, it will be able to produce better frequencies compared to using PID-FA control or CES control alone.

Copyright © 2024 Jurnal FORTECH.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Email: machrus7@gmail.com

Abstrak—Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan salah satu alternatif pembangkit listrik kecil yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin yang mampu menghasilkan listrik. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit Piko Hidro adalah terjadinya ketidakstabilan frekuensi disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung. Permasalahan ini dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik tenaga piko hidro, yaitu dengan menerapkan Load Frequency Control (LFC). Mekanisme LFC ini dirancang dengan menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) dan Capacitive Energy Storage (CES). CES dapat digunakan untuk mempertahankan stabilitas frekuensi dalam jaringan listrik yang rentan terhadap fluktuasi, seperti jaringan yang terhubung dengan pembangkit listrik yang tidak dapat diprediksi. Pada penelitian kali ini akan disimulasikan PLTPH dengan tanpa control, control PID FA, control CES dan control PID CES FA. Dari keempat model simulasi PLTPH serta hubungan diagram responnya, maka dapat disimpulkan bahwa bahwa kontroler terbaik pada penelitian ini adalah PID-CES FA yaitu didapatkan undershoots sebesar -0.000002324 dan overshoot 0.0000004965 dengan settling time 3,026 detik. Dengan diterapkan metode PID-CES FA terhadap PLTPH, maka akan dapat menghasilkan frekuensi yang lebih baik dibanding dengan menggunakan tanpa control, kontrol PID-FA maupun dengan kontrol CES saja.

Kata Kunci— Capacitive Energy Storage, Firefly Algorithm, PLTPH, PID.

1. PENDAHULUAN

Potensi tenaga air di Indonesia cukup tinggi tetapi sumber energi air belum dimanfaatkan secara

optimal. Padahal kita bisa menghasilkan listrik dengan jumlah air kurang dari 10 liter per detik, sehingga tidak perlu membangun bendungan. Listrik yang dihasilkan cukup untuk memenuhi

kebutuhan rumah tangga. Kini telah ditemukan teknologi sederhana untuk memenuhi kebutuhan listrik kita, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. Perangkat ini menawarkan berbagai cara untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan aliran air yang jatuh dari dua tangki atau bendungan kecil. Ini merupakan solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai pembangkit listrik alternatif. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro sangat tepat untuk digunakan pada wilayah terpencil[1][2]. Piko Hidro ini pun mudah dirakit dan dioperasikan serta bisa beroperasi selama 24 jam sesuai dengan debit air. Optimas sistem pengaturan tegangan Automatic voltage regulator (AVR)[3], dan Load-frequency control (LFC)[4] sangat diperlukan agar system menjadi stabil dan optimal pada pembangkit listrik tenaga air[5][6][7]. Banyak metode kecerdasan buatan dengan metode baru diantaranya menggunakan; Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)[8][9][10], Design Capacitive Energy Storage (CES)[11][12], Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)[13], dan jenis kontroler lainnya[5].

Pembangkit Listrik Tenaga Air Pikohidropada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik sebesar 5kW. Secara teknis, Pikohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit Pikohidro adalah terjadinya ketidakstabilan frekuensi disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung. Permasalahan ini dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Frekuensi yang dihasilkan oleh generator Pikohidro dipengaruhi oleh kecepatan putaran generator dan kecepatan putaran generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari, sebagian besar rumah mematikan lampunya, sehingga mengurangi beban pada Pembangkit Listrik Tenaga pikohidro. Hal ini menyebabkan roda penggerak berputar lebih cepat. Hasilnya frekuensi listrik akan naik dan dapat merusak peralatan yang digunakan di rumah. Oleh karena itu, sangat penting untuk selalu menjaga frekuensi dalam rentang 49 Hz hingga 51 Hz.

Mekanisme kontrol dijalankan secara otomatis dengan mengatur posisi bukaan gate agar aliran air yang masuk dapat disesuaikan dengan beban, ataupun menyesuaikan daya beban pada sistem dengan pembangkitan untuk meredam osilasi frekuensi. Oleh karena itu, diperlukan suatu

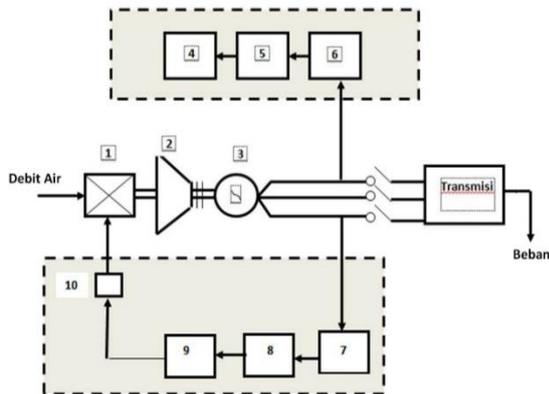
teknologi untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik tenaga pikohidro, yaitu dengan menerapkan Load Frequency Control (LFC). Mekanisme LFC ini dirancang dengan menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) dan Capacitive Energy Storage (CES). CES dapat digunakan untuk mempertahankan stabilitas tegangan dan frekuensi dalam jaringan listrik yang rentan terhadap fluktuasi, seperti jaringan yang terhubung dengan pembangkit listrik yang tidak dapat diprediksi. Penelitian ini berhubungan dengan paper Ramadhan, Ilyas Fatih and Ir. Teguh Utomo, MT. and Ir. Mahfudz Shidiq, MT. (2022) Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro pada Aliran air[14]. Paper ini belum membahas mengenai kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro menggunakan PID ataupun CES. Paper lainnya yang berhubungan dengan penelitian ini adalah jurnal Mochamad Andrik yang Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID-ANFIS[3]. Dalam paper ini membahas dan meneliti tentang desain PID ANFIS, namun paper ini belum diteliti PID CES FA kontroler. Maka, pada penelitian ini mengambil judul Desain Kontrol pembangkit listrik Pikohidro menggunakan PID - CES berbasis Firefly Algorithm.

A. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro
Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) merupakan salah satu teknologi pemanfaatan energi skala kecil, yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam penyediaan energi yang ramah lingkungan. Pembangkit listrik skala micro atau pico pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan Listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW dan dapat diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil. Pembangkit listrik tenaga piko hidro memiliki beberapa keunggulan diantaranya biaya pembuatannya relatif murah, bahan-bahan pembuatannya mudah ditemukan di pasaran, ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar fosil, pembangunannya dapat dipadukan dengan pembangunan jaringan irigasi, perkembangan teknologinya relatif masih sedikit, sehingga cocok digunakan dalam jangka waktu yang lama, tidak membutuhkan perawatan yang rumit dan dapat digunakan cukup lama dan ukurannya yang kecil,

cocok digunakan untuk daerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan aliran listrik PLN.

B. Diagram Skematik LFC Pada Generator



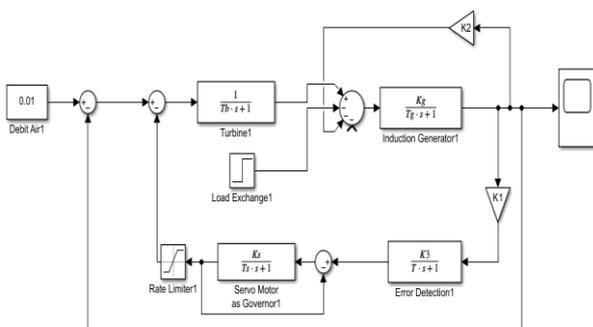
Gambar 1. Diagram Skematik LFC pada Generator
Keterangan :

1. Valve (Katup)
2. Turbin
3. Generator
4. Sistem Eksitasi
5. AVR (Automatic Voltage Regulator)
6. Sensor Tegangan
7. Sensor frekuensi
8. LFC (Load Frequency Control)
9. Governor
10. Valve Control Mecanism/Fast Valving

2. METODE

A. Pemodelan

Sistem pembangkit listrik pikohidro pada penelitian ini menggunakan generator induksi, motor servo yang berperan sebagai governor, dan beberapa komponen yang dimodelkan dalam simulasi menggunakan program MATLAB-SIMULINK..



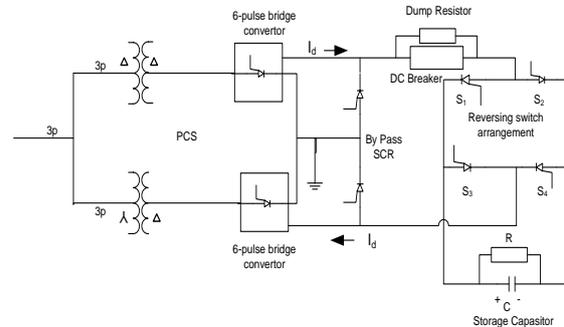
Gambar 2. Diagram blok sistem PLTPH

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.

B. Capacitive Energy Storage (CES)

CES merupakan komponen yang dapat digunakan untuk melepaskan dan menyimpan daya (berupa medan listrik) secara bersamaan. CES terdiri dari dua bagian yaitu Power Conversion System (PCS) dan Storage Capacitors[13][11].



Gambar 3. Capacitive Energy Storage (CES)

Hilangnya kebocoran dan kapasitor bank dielektrik pada CES dapat dimodelkan dengan resistansi R yang dihubungkan secara paralel dengan kapasitor. Kapasitor penyimpanan dihubungkan ke mesh melalui Sistem Konversi Daya (PCS) 12-pulsa. PCS terdiri dari penyearah ke DC dan inverter DC ke AC. Bypass thyristor berfungsi untuk menyediakan jalur arus (I_d) ketika konverter gagal. Pemutus DC memungkinkan I_d arus dialihkan ke titik resistor (R) dari resistor (R_d) jika konverter gagal. Terlepas dari kekurangannya, tegangan jembatan (E_d) seperti persamaan;

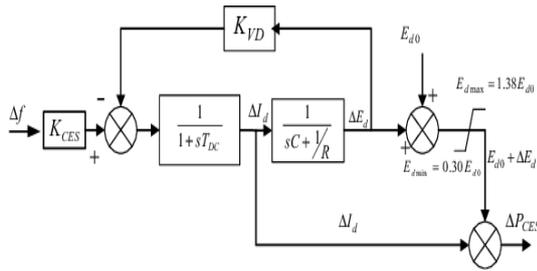
$$E_d = 2E_{d0} \cos \alpha - 2I_d R_D \tag{1}$$

$$E_{d0} = \frac{[E_{d\max}^2 + E_{d\min}^2]^{1/2}}{2} \tag{2}$$

Jika tegangan kapasitor terlalu rendah maka akan lebih banyak energi yang diambil dari kapasitor yang dapat menyebabkan kerusakan pada kontrol. Untuk mengatasi masalah tersebut maka batas bawah tegangan kapasitor diambil sebesar 30% dari nilai rating (E_d). Karena itu;

$$E_{d\min} = 30E_{d0} \tag{3}$$

Tegangan CES harus segera kembali ke nilai awalnya. Sehingga unit CES siap bekerja menghadapi gangguan beban selanjutnya. Penyimpangan tegangan kapasitor digunakan sebagai sinyal umpan balik negatif dalam loop kontrol CES, sehingga tercapai pemulihan tegangan yang cepat.[7]



Gambar 4. Diagram Blok CES

C. Firefly Algorithm (FA)

Metode ini disajikan terinspirasi dari perilaku sosial kunang-kunang dan fenomena komunikasi bioluminescent. Firefly algorithm adalah sebuah algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku berkedip kunang-kunang. Tujuan utama dari berkedipnya kunang-kunang adalah untuk menarik kunang-kunang yang lain[15]. Algoritma ini pertama ditemukan oleh Dr. Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Pada algoritma ini terdapat tiga perumusan dasar :

1. Semua kunang-kunang adalah unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka.
2. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunangkunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak ke arah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan berkurang seiring dengan bertambah jarak. Apabila tidak ada kunang-kunang yang memiliki kecerahan paling cerah maka kunang-kunang akan bergerak random.
3. Tingkat kecerahan kunang-kunang dideterminasikan oleh tempat dari fungsi objektif kunang-kunang.[16][17]

Berdasarkan pada ketiga peraturan ini, langkah dasar dari algoritma kunang-kunang (FA) dapat diringkas sebagai pseudo code berikut.

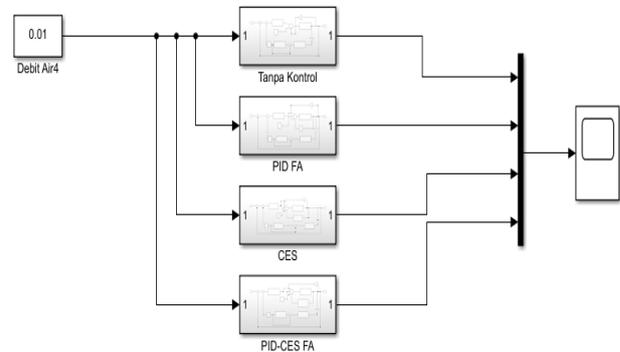
```

Fungsi objektif f(x), x = (x1, ..., xd)T
Inisialisasi populasi kunang-kunang xi (i = 1, 2, ..., n)
Tentukan koefisien penyerapan cahaya γ
while (t < Max Generation)
for i = 1 : n semua n kunang-kunang
for j = 1 : i semua n kunang-kunang
Intensitas cahaya Ii pada xi ditentukan oleh f(xi)
if (Ij > Ii)
Pindahkan kunang-kunang I menuju j pada dimensi d
end if
Ketertarikan populasi dengan jarak r pada exp[-γ r]
Evaluasi solusi baru dan perbarui intensitas cahaya
end for j
end for i
    
```

Urutkan peringkat kunang-kunang dan cari posisi terbaik baru
 end while
 Tampilkan hasil

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

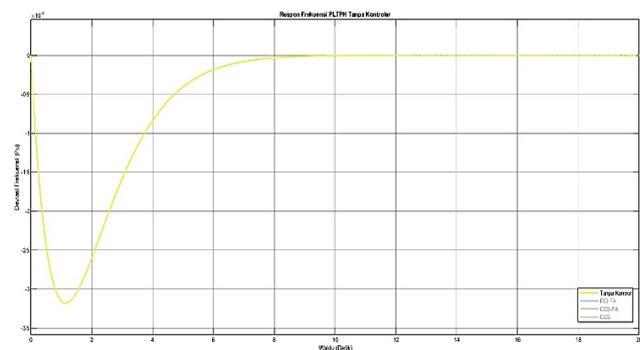
Rancangan simulasi Pembangkit Pikohidro dalam berbagai macam kontrol dapat dilihat pada gambar 5. dibawah ini:



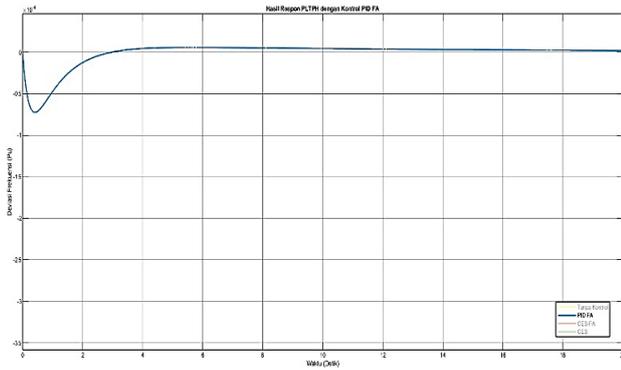
Gambar 5. Model Simulasi beberapa macam control Dengan memasukkan parameter-parameter dan running program pada plan pembangkit pikohidro didapatkan nilai konstanta pada masing-masing model. Konstanta tersebut dilihat pada table 1. dibawah ini:

Tabel 1. Data Parameter

Paramete r	Un-control	PID-FA	CES	PID-CES-FA
Kp	-	79.62702	-	63.6297
Ki	-	7.161799	-	43.7886
Kd	-	6.024251	-	9.6385
Kces	-	-	70.00	88.8888
Tdc	-	-	0.0500	0.0563

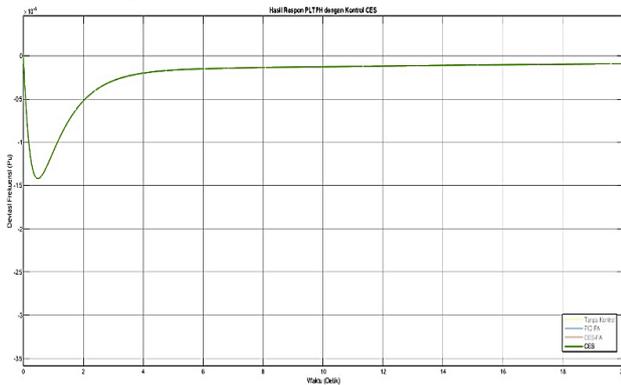


Gambar 6. Hasil Respon PLTPH tanpa kontrol Dari gambar 6. merupakan hasil dari simulasi PLTPH tanpa kontroler. menunjukkan bahwa model tanpa kontroler tidak memiliki nilai kp, ki, dan kd dengan nilai overshoot nol (0), undershoot - 0.000318 dan settling time 11,8 detik.



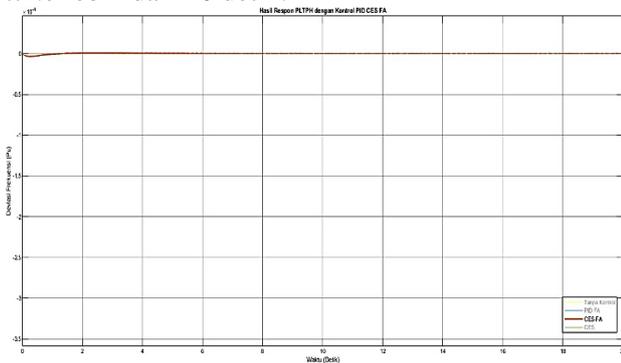
Gambar 7. Hasil Respon PLTPH dengan Kontrol PID FA

Dari gambar 7. merupakan hasil dari simulasi PID FA yang memiliki nilai *overshoot* 0.000000586 , *undershoot* -0.0000724, dan memiliki *settling time* lebih dari 20 detik.



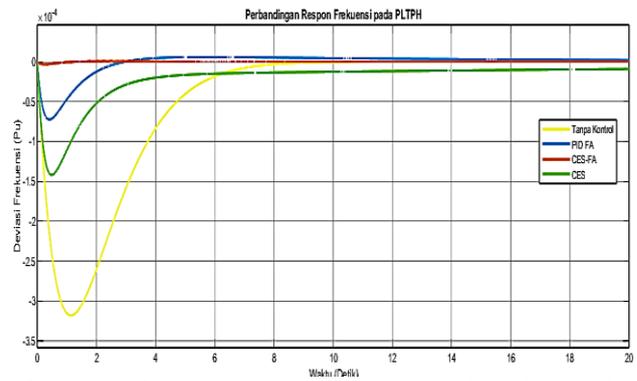
Gambar 8. Hasil Respon PLTPH dengan Kontrol CES

Dari gambar 8. merupakan hasil dari simulasi PID dengan control CES yang memiliki nilai *overshoot* 0, *undershoot* -0.0001419, dan memiliki *settling time* lebih dari 20 detik.



Gambar 9. Hasil Respon PLTPH dengan Kontrol PID CES FA

Dari gambar 9. merupakan hasil dari simulasi dengan control PID CES FA yang memiliki nilai *overshoot* = 0.000000525 *undershoot* -0.000003308, dan memiliki *settling time* 3.026 detik.



Gambar 10. Hasil Respon PLTPH berbagai metode

Tabel 2. Respon masing-masing kontrol

Karakteristik	Un-control	PID-FA	CES	PID-CES-FA
Overshot	-	0.00000059	-	0.0000005
Undershot	0.00032	-0.0000725	0.000142	0.0000023
Settling time	11.8	>20	>20	3.026

Dari Table 2. menunjukkan bahwa; Desain tanpa kontrol memiliki undershot paling besar yaitu -0.000318; desain PID-FA mendapatkan overshoot terbesar 0.00000586 dan undershoot -0.00007245 dengan settling time lebih dari 20 detik; pada respon kontrol dengan CES mendapatkan nilai overshoot 0, undershoot -0.0001419, settling time lebih dari 20 detik; respon pada PID-CES FA mendapatkan nilai overshoot 0.000000525, undershoot paling kecil -0.000003308 dan settling time paling cepat pada 3.026 detik.

4. KESIMPULAN

Dari keempat model simulasi PLTPH serta hubungan diagram responnya, maka dapat disimpulkan bahwa suatu pengontrol mutlak diperlukan pada PLTPH sebagai peredam getaran frekuensi yang ditimbulkan oleh perubahan beban. Dari perbandingan hasil penelitian, sistem PLTPH dapat disimpulkan bahwa kontroler terbaik pada penelitian ini adalah PID-CES FA yaitu didapatkan undershoots sebesar -0.000002324 dan overshoot 0.0000004965 dengan settling time 3,026 detik. Dengan diterapkan metode PID-CES FA terhadap PLTPH, maka akan dapat menghasilkan frekuensi yang lebih baik dibanding dengan menggunakan kontrol PID-FA maupun dengan kontrol CES saja.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Bandri, A. Premadi, and R. Andari, "STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PICOHYDRO (PLTPH) RUMAH TANGGA," *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 21, no. 1, p. 16, 2021,

- doi: 10.36275/stsp.v2i1i1.345.
- [2] A. Pratama, N. Akhriyanto, and W. W. A., "Design and Development of Maximum Power Point Tracking for Picohydro in Renewable Energy Harvesting Hybrid Systems," *Indones. J. Energy Miner.*, vol. 3, no. 2, pp. 117–128, 2023, doi: 10.53026/ijoeem/2023/3.2/1170.
- [3] Y. Apriani, Z. Saleh, Suppermen, and I. M. Sofian, "Automatic voltage regulator as a voltage control in 1 phase axial generator system," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, pp. 429–434, 2021, doi: 10.18196/jrc.25118.
- [4] D. K. Gupta, A. V. Jha, B. Appasani, A. Srinivasulu, N. Bizon, and P. Thounthong, "Load frequency control using hybrid intelligent optimization technique for multi-source power systems," *Energies*, vol. 14, no. 6, 2021, doi: 10.3390/en14061581.
- [5] F. Faisal, M. Ruswandi Djalal, and M. Ali, "Penerapan SMES untuk Load Frequency Control pada PLTMH Menggunakan Ant Colony Optimization," *J. FORTECH*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, May 2024, doi: 10.56795/fortech.v5i1.5101.
- [6] 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.
- [7] M. Yunus, M. Siswanto, S. Imam Wahyudi, S. Soedarsono, N. Rahman Wahyudi, and M. Ali, "REKONFIGURASI 26 KANAL IRIGASI MENGGUNAKAN METODE BINARY FIREFLY ALGORITHMS (BFA)," *J. Tek.*, vol. 16, no. 1, pp. 7–12, Mar. 2024, doi: 10.30736/jt.v16i1.1189.
- [8] N. Kanagaraj, "An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Improve Fractional Order Controller Performance," *Intell. Autom. Soft Comput.*, vol. 35, no. 3, pp. 3213–3226, 2023, doi: 10.32604/iasc.2023.029901.
- [9] Machrus Ali, Ruslan Hidayat, and Iwan Cahyono, "Penggunaan ANFIS pada Pengaturan Debit Air Berdasarkan Volume Air Dalam Tangki," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–32, 2020, doi: 10.36040/aliner.v1i1.2519.
- [10] M. Farul, R. Rukslin, M. Andrik, and I. Cahyono, "Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID-ANFIS," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 61–64, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.01.9.
- [11] M. Ali, M. R. Djalal, M. Fakhrurozi, Kadaryono, Budiman, and D. Ajiatmo, "Optimal Design Capacitive Energy Storage (CES) for Load Frequency Control in Micro Hydro Power Plant Using Flower Pollination Algorithm," in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 21–26. doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692997.
- [12] M. Ali, R. Rukslin, and C. Hasyim, "Hybrid System of Dual Axis Photovoltaic Tracking System Using Pid-Ces-Aco," *JEEMECs (Journal Electr. ...)*, vol. 4, no. 2, pp. 59–68, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jeemecs/article/view/6138>
- [13] Kadaryono, Rukslin, M. Ali, Askan, A. Parwanti, and I. Cahyono, "Comparison of LFC Optimization on Micro-hydro using PID, CES, and SMES based Firefly Algorithm," in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 204–209. doi: 10.1109/EECSI.2018.8752733.
- [14] I. D. N. D. Putra and W. Winarso, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Generator DC Shunt," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.30595/jrre.v4i1.11634.
- [15] M. Ali, H. Nurohmah, Budiman, J. Suharsono, H. Suyono, and M. A. Muslim, "Optimization on PID and ANFIS Controller on Dual Axis Tracking for Photovoltaic Based on Firefly Algorithm," in *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, IEEE, Oct. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981428.
- [16] M. Ali, H. Suyono, M. A. Muslim, M. R. Djalal, Y. M. Safarudin, and A. A. Firdaus, "Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications," *SINERGI*, vol. 26, no. 2, p. 265, Jun. 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.2.016.
- [17] A. Parwanti, S. I. Wahyudi, M. F. Ni'Am, M. Ali, Iswinarti, and M. A. Haikal, "Modified Firefly Algorithm for Optimization of the Water Level in the Tank," in *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*, IEEE, Oct. 2021, pp. 113–116. doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9701981.