

Superconducting Magnetic Energy Storage Sebagai Optimasi LFC Berbasis Ant Colony Optimization Pada Mikro Hidro

¹Kadaryono, ²Sunarto, ³Dhany Ristyanto, ⁴Rukslin, ⁵Muhammad Fakhrurozi

^{1,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Universitas Darul Ulum, Jombang

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

¹ aninanin110@gmail.com, ² masnartoajja@gmail.com, ³ dhanyristyanto95@gmail.com, ⁴ rukslin@gmail.com, ⁵ rozilibra65@gmail.com

Abstrak — Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama dalam pembangkitan yaitu air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Pada rumah tersebut (power-house) instalasi air tersebut akan menumbuk turbin, dipastikan turbin akan menerima langsung energi dari air dan mengubahnya menjadi energi mekanik yang menyebabkan berputarnya poros turbin. Poros tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Hal ini 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 Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) dan Ant Colony Optimization (ACO). Penelitian ini membandingkan metode tanpa control, metode kontrol PID-ZN, metode PID-ACO, PID-SMES, PID-ACO-SMES, dan PID-ACO-SMES diperoleh metode kontrol yang paling baik. Hasil penelitian didapatkan bahwa overshoot terkecil (0) pada model PID-ACO-SMES, undershoots terkecil $-1,235 \times 10^{-5}$ pada PID-ACO-SMES dan settling time tercepat 4,15 detik pada starting juga pada PID-ACO-SMES. Hasil penelitian ini nantinya akan dicoba dengan metode lain, yang hasilnya mungkin akan lebih baik. Hasil penelitian ini akan diaplikasikan pada pembangkit mikro hidro di Jombang, Jawa timur, Indonesia

Kata Kunci— ACO, SMES, Mikrohidro, Optimasi

Abstract – Technically, Microhydro has three main components in the generation of water (as an energy source), turbine, and generator. The water flowing with a certain capacity is supplied with a certain height to install the installation house

(turbine house). In the house (power-house) the water installation will pound the turbine, ensured the turbine will receive direct energy from water and convert it into mechanical energy causing turbine spinning. The shaft is then transmitted to the generator by coupling. 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 optimum control parameters on micro hydropower systems used Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) and Ant Colony Optimization (ACO). This study compared uncontrolled methods, PID-ZN control methods, PID-ACO method, PID-SMES, PID-ACO-SMES, and PID-ACO-SMES obtained the best control method. The results showed that the smallest overshoot (0) in the PID-ACO-SMES model, the smallest undershoots $-1,235 \times 10^{-5}$ in PID-ACO-SMES and the fastest settling time of 4.15 seconds in the starting also at PID-ACO-SMES. The results of this study will be tried with other methods, which results may be better. The results of this research will be applied to micro hydro plants in Jombang, East Java, Indonesia

Keywords- ACO, SMES, Microhydro, Optimization

I. PENDAHULUAN

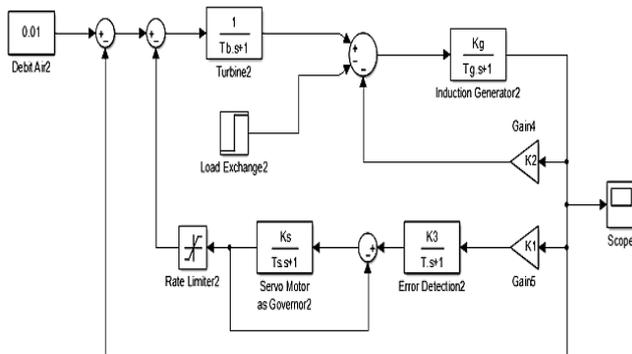
Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. 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[1]. Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh

kecepatan putar generator[2][3]. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi diperlukan agar selalu berada pada daerah kerja sangat diperlukan. Saat ini Artificial Intelegent (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan[4][5], sebagai kontrol sudu turbin angin [6], sebagai kontrol mikrohidro [2], sebagai kontrol kecepatan motor DC[7]. Diantaranya juga menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO)[8][9][10] dan SMES[11][12]. Maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang Superconducting Magnetic Energy Storage Sebagai Optimasi LFC berbasis Ant Colony Optimization pada mikro hidro. Hasil penelitian ini akan diaplikasikan pada pembangkit mikro hidro di Jombang, Jawa timur, Indonesia

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[13]

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.[14][3]

B. 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 table 1..

Tabel 1. Parameter pembangkit listrik mikro hidro

	Nilai	Keterangan
T_b	1	Respon waktu turbin air (s)
K_g	1	Penguatan pengatur generator indksi (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)
ω	1500	Kecepatan rotasi nominal (rpm)
f_g	50	Frekuensi nominal mikro hidro (Hz)

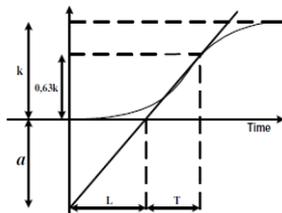
C. Proporsional Integral Derivatif (PID)

Kontrol PID banyak digunakan pada industri khususnya aplikasi kontrol karena strukturnya simple, algoritma kontrol yang konperhensip, 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*. [7]

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.

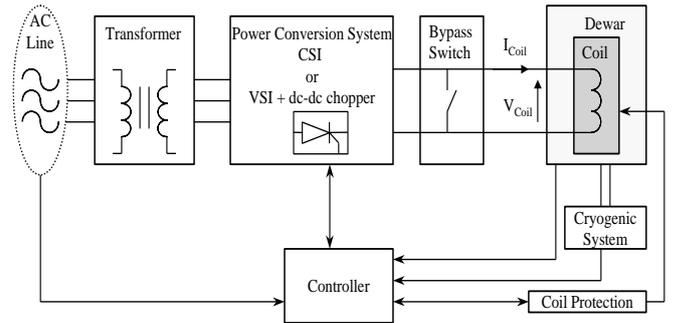
Tabel 2. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-1

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

2. **Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)[12]**

SMES merupakan sebuah peralatan untuk menyimpan dan melepaskan daya dalam jumlah yang besar secara simultan. SMES menyimpan energi dalam medan magnet yang dibuat oleh arus DC pada kumparan superkonduktor yang didinginkan dengan cara cryogenic. Sistem SMES telah digunakan beberapa tahun untuk memperbaiki power quality industri dan untuk menyediakan pelayanan yang baik untuk pelanggan yang mengalami fluktuasi tegangan. Pengisian ulang SMES dapat dilakukan hanya dalam hitungan menit dan dapat mengulangi proses charge dan discharge ribuan kali tanpa mengurangi magnet.

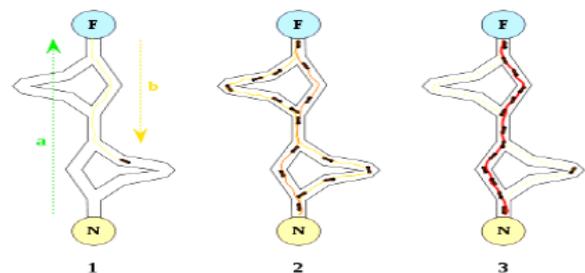
Sebuah SMES yang terhubung pada sistem tenaga listrik terdiri atas sebuah superconducting inductor (kumparan SMES), sistem pendingin cyrogenic, dan power conditioning system (PCS) dengan kontrol dan fungsi proteksi. Power conditioning system juga disebut sebagai penghubung elektronika daya dari kumparan SMES. Gambar 4 menunjukkan diagram skematik dari SMES.



Gambar 4 Diagram skematik SMES.

3. **Ant Colony Optimization (ACO)[15][16]**

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 makannya 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 5.



Gambar 5. 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

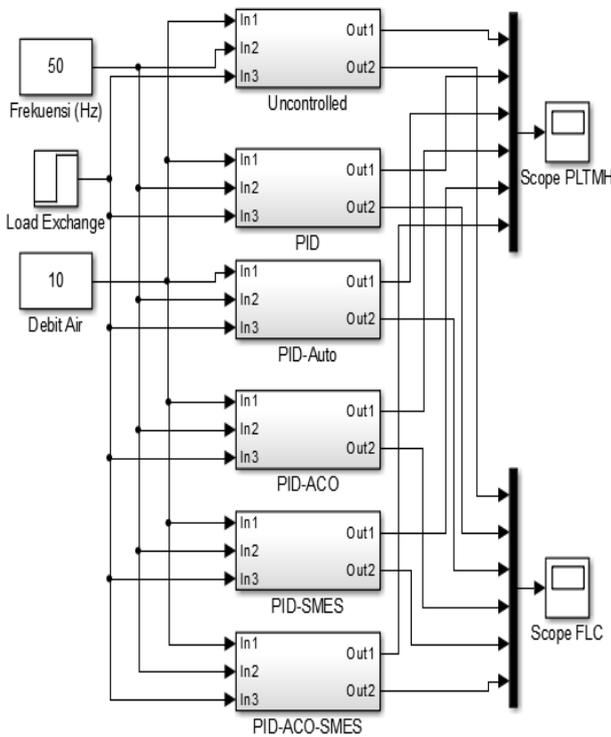
yang panjang akan hilang. Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \quad (1)$$

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:

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

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.[15]. Gambar simulasi berbagai model dapat dilihat pada gambar 6:



Gambar 6. 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

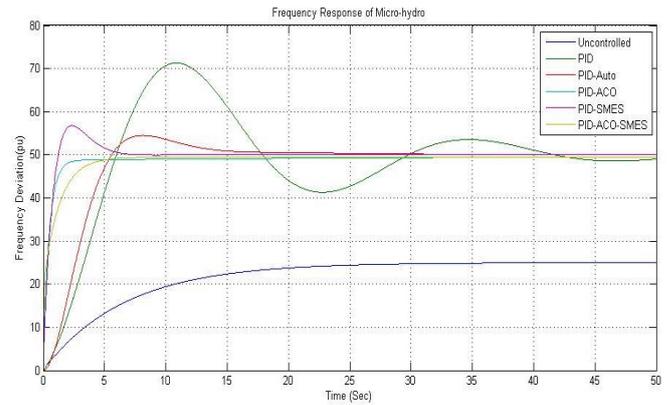
sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

Konstanta Kp, Ki dan Kd pada PID dapat dilihat pada tabel 3:

Tabel 3. Konstanta Hasil Tuning

	Uncontrol	PID	PID-Auto	PID-ZN	PID-ACO
Kp	-	1	15,664	10	28,234
Ki	-	1	21,619	1,21	0,609
Kd	-	0	2,711	0	0,802

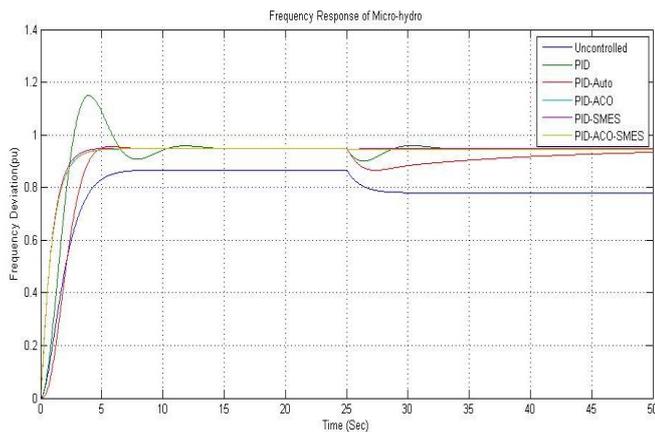
Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 6 dan gambar 7 dibawah ini:



Gambar 6. Hasil respon PLTMH

Haril grafik di atas dapat diartikan bahwa: respon mikro hidro mulaia dari start dan diberi perubahan beban saat t=25 detik didapatkan: Tanpa kontroller didapatkan *undershoots* = $-3,14 \times 10^{-5}$ pada saat t = 1,15 dengan *settling time* 10 detik. PID standar kontroller 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 kontroller 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 kontroller 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 kontroller didapatkan *undershoots* = $-1,18 \times 10^{-5}$ pada saat t = 0,46 dengan *settling time* 4,22 detik, PID-SMES kontroller didapatkan *undershoots* = $-1,21 \times 10^{-5}$ pada saat t = 0,48 dengan *settling time* 4,35 detik, PID-ACO-SMES kontroller didapatkan *undershoots* = $-1,35 \times 10^{-5}$ pada saat t = 0,25 dengan *settling time* 3,85 detik, dan PID-SMES kontroller didapatkan *undershoots* = $-1,21 \times 10^{-5}$ pada saat t = 0,47 dengan *settling time* 4,35 detik. Saat t = 25 dt, terjadi *undershoots* pada *uncontrolled* = 0,22, PID = 0,1, PID-ZN = 0,06, PID-Auto = 0,09, PID-ACO = 0,05, PID-SMES = 0,06, PID-ACO-SMES = 0,04.

Untuk respon pada LFC dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. 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 56,3 Hz dengan settling time 5 detik. PID-SMES kontroller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada $t = 5,3$ detik sebesar 58 Hz dengan settling time 7,3 detik. PID-ACO-SMES kontroller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada $t = 3,14$ detik sebesar 53,5 Hz dengan settling time 4,2 detik.

IV. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil penelitian dari beberapa model control dipadatkan bahwa overshoot terkecil (0) pada model pengaturan PID-ACO-SMES, undershoots terkecil ($1,35 \times 10^{-5}$) pada PID-ACO-SMES dan settling time tercepat (3,85 detik) pada starting juga pada PID-ACO-SMES. Hal ini menunjukkan bahwa dengan model kontrol PID-ACO-SMES 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] M. Hanmandlu, H. Goyal, and D. P. Kothari, "An Advanced Control Scheme for Micro Hydro Power Plants," in *2006 International Conference on Power Electronic, Drives and Energy Systems*, 2006, pp. 1–7.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 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 *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017.
[5] M. Ali, F. Hunaini, I. Robandi, and N. Sutantra, "Optimization of active steering control on vehicle with steer by wire system using Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," in *2015 3rd IEEE - International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2015*, 2015, pp. 500–503.
[6] 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.
[7] 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.
[8] 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.
[9] 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.
[10] 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.
[11] S. Magnetic, E. Storage, R. Capacity, S. Technical, and S. Table, "Superconducting magnetic energy storage," *Eur. Phys. J. Applied Phys.*, vol. 80, pp. 1–3, 2017.
[12] W. Buckles and W. V. Ilassenzahl, "Superconducting Magnetic Energy Storage," *IEEE Power Eng. Rev.*, pp. 16–29, 2000.
[13] 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.
- [14] 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.
- [15] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, “Ant colony optimization,” *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006.
- [16] 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. 215–218.