

DESAIN KENDALI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BERBASIS IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Soedibyo, Heri Suryoatmojo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya (60111)

e-mail: dibyosoe@gmail.com; suryomgt@ee.its.ac.id;

Abstract

This paper presents the modeling and control of excitation through the automatic voltage regulator (AVR) and Governor through automatic generation control (AGC) or frequency load control (FLC) to increase the stability of micro hydro power (MHP). The three main parts of the generation system is a synchronous generator, AVR / excitation and AGC are modeled linearly. Generators are modeled by a single machine, that is connected to the grid (grid) equipped with AVR and, excitation linear model. Control is done by optimizing, the excitation system AVR, gain (KA) and the AGC gain (Ki) using improved methods of particle swarm optimization (IPSO). The main objective of the AVR-AGC gain control is to stabilize the oscillation frequency of the MHP are connected to the grid. Simulations carried out with input step function with load fluctuations 5% as a representation of dynamic loads. The simulation results show that the proposed method effectively raises the level of damping electromechanical oscillations in the MHP and minimize attenuation index of comprehensive (comprehensive damping index / CDI).

Keywords: Excitation control, governor, PLTMH, IPSO

1. Pendahuluan

Masalah utama di PLTMH adalah bagaimana menjaga agar kecepatan, frekuensi dan tegangan generator dalam keadaan konstan. Ketiga unsur tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Dari sisi konsumen sendiri menginginkan suplay listrik dalam keadaan konstan dan stabil. Strategi pengendalian diperlukan bila terjadi gangguan dan sistem menjadi tidak stabil, strategi pengendali harus dapat mengembalikan sistem dalam kondisi stabil dengan cepat dan handal. Studi tentang sistem kontrol synchronous Generator (SG) dapat dibagi menjadi dua bagian utama: pengaturan tegangan dan kecepatan governor. Kedua elemen kontrol ini berkontribusi pada stabilitas mesin jika terjadi gangguan. sinyal kontrol tambahan ke sistem eksitasi dan governor di SG dapat menambah redaman tambahan dan meningkatkan kinerja sistem. AGC memiliki fungsi untuk meningkatkan kinerja sistem dengan memberikan sinyal tambahan untuk governor. Pengembangan kontrol terpadu SG telah dikembangkan oleh sebagian besar peneliti untuk meningkatkan stabilitas listrik [1-8]. Selain itu, kontrol cerdas dan kontrol adaptif telah diterapkan untuk mengontrol frekuensi PLTMH [9-10]. Namun, control berbasis fuzzy logic telah diteliti dan memberikan hasil yang baik dalam pengendalian sistem tenaga. Makalah ini mengusulkan sebuah metode ditingkatkan partikel swarm optimization (IPSO) untuk mengoptimalkan

keuntungan dari AVR (KA) pada sistem eksitasi dan gain dari AGC (Ki) kepada governor. Tujuan optimasi menggunakan IPSO adalah untuk meminimalkan indeks yang komprehensif redaman fungsi tujuan (CDI) untuk koordinasi antara AVR dan AGC dapat diatur dengan tepat sehingga stabilitas kinerja PLTMH menjadi lebih baik.

2. Metode Penelitian

2.1 Automatic Voltage Regulator (AVR)

AVR berfungsi untuk menjaga tegangan output generator dalam keadaan konstan. Model AVR tergantung pada jenis DC sumber injeksi arus ke sistem eksitasi. Bagian penting dari AVR terdiri dari amplifier, exciter, pembatas tegangan eksitasi, generator, dan transduser. Transfer fungsi AVR dapat ditulis seperti dalam Persamaan. (1).

$$\frac{V_R(s)}{V_C(s)} = \frac{K_A}{1 + sT_A} \quad (1)$$

dimana $V_R(s)$, $V_C(s)$, K_A dan T_A adalah penguat output, sinyal kontrol, gain dari AVR dan amplifier gain dan masing-masing mempunyai interval waktu yang konstan.

Nilai dari amplifier KA ditentukan antara 10-400 dengan waktu yang konstan T_A memiliki nilai antara 0,02-0,1 s. tegangan eksitasi terbatas menggunakan limiter untuk menghindari over eksitasi atau di bawah eksitasi.

Pemodelan sistem eksitasi yang digunakan dalam PLTMH terdiri dari AVR dan exciter ditunjukkan pada Gambar 1.

baik sehingga perubahan posisi partikel sebelumnya dengan posisi saat ini memiliki nilai fitness yang lebih baik dan nilai fitness menjadi acuan dari nilai fitness berikutnya.

- d. Mencari nilai fitness terbaik global, yaitu nilai minimal fitness terbaik lokal.
- e. Menentukan posisi terbaik global. Ini diperoleh dengan mengganti setiap solusi kandidat partikel dengan posisi terbaik lokal partikel yang memenuhi persyaratan fitness terbaik global.
- f. Memperbarui kecepatan dan posisi
- g. Ulangi langkah b sampai f untuk mendapatkan hitungan yang akurat.

Sebuah nilai inersia yang besar ini sangat cocok untuk membantu dalam pencarian global, sedangkan nilai inersia yang lebih kecil memfasilitasi eksplorasi lokal. Oleh karena itu, dalam praktek penggunaan nilai faktor inersia yang berukuran lebih besar selama eksplorasi awal dan menurun secara bertahap nilai sebagai hasil pencarian di iterasi lebih lanjut. Konsep berat inersia untuk meningkatkan kinerja algoritma PSO diberikan oleh Persamaan. (4)

$$w = w_{\max} - \left(\frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{MaxIt}} \right) \times It \tag{4}$$

Dimna It adalah jumlah iterasi, dan MAXIT adalah jumlah maksimum iterasi. Biasanya nilai w bervariasi antara 0,9 dan 0,4.

Model PLTMH linear dilengkapi dengan AVR dan AGC dikombinasikan dan diubah menjadi persamaan. (5) - (6). Dengan menggunakan matriks A dari model linear dari sistem tenaga secara keseluruhan, nilai eigen dalam Pers. (7) dapat dievaluasi. gain optimalisasi AVR (KA) dan AGC (Ki) dengan menghitung eigenvalue dari matriks A. Eigenvalue sistem tenaga bisa digeser ke arah negatif dengan mencari nilai maksimum rasio redaman untuk setiap eigenvalue. Cari nilai maksimum rasio redaman yang sama untuk mencari nilai minimum indeks redaman yang luas (CDI). Persamaan (8) adalah formula dari CDI yang bisa digunakan sebagai fungsi fitness dari partikel dalam proses optimasi. Dengan meminimalkan Persamaan. (9), eigen value dari sistem tenaga bisa digeser ke arah negatif.

$$\Delta \dot{x} = \mathbf{A} \Delta x + \mathbf{B} \Delta u \tag{5}$$

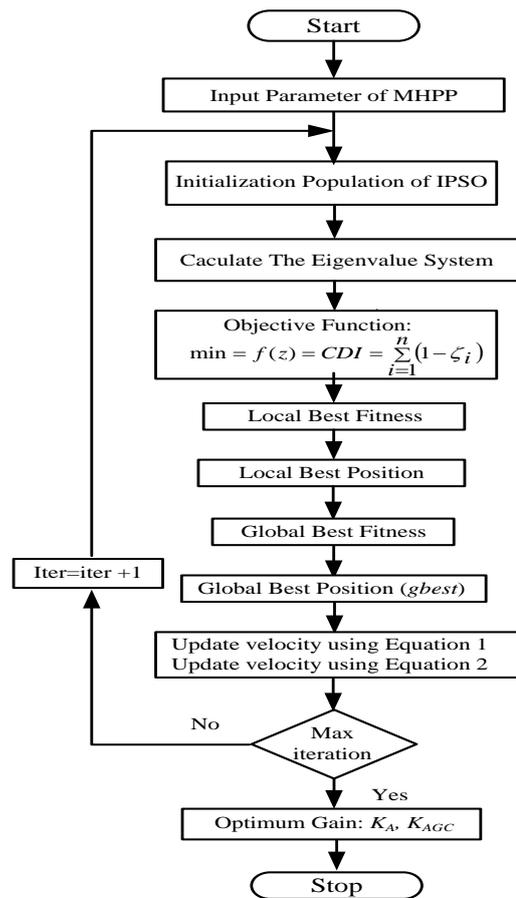
$$\Delta y = \mathbf{C} \Delta x + \mathbf{D} \Delta u \tag{6}$$

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \tag{7}$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \tag{8}$$

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \tag{9}$$

Dimana; $\Delta x, \Delta y, \Delta u, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \lambda_i, \sigma_i, \omega_i, \zeta_i$ adalah variable tetap, output variable, input variable, matrix system, matrix input, matrix output, *i*-th eigenvalue, bagian nyata dari eigenvalue ke-*i*, nyata bagian imajiner dari eigenvalue ke-*i* dan rasio redaman dari *i*-th, masing-masing.



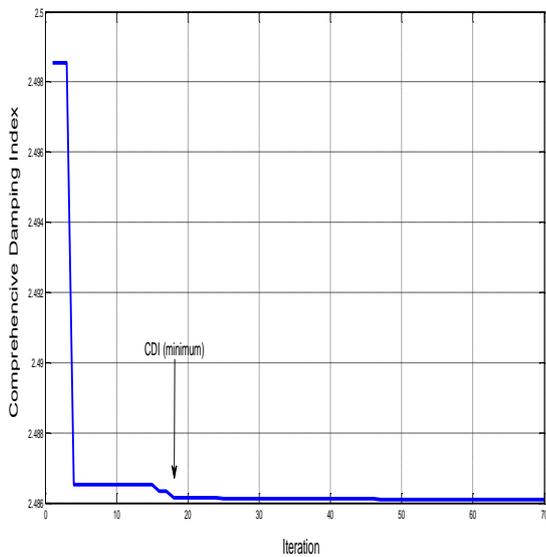
Gambar 5. PSO algorithm implementation

Optimalisasi gain AVR (KA) dan AGC (Ki) dengan menggunakan metode IPSO dimana metode ini juga digunakan CDI sebagai fitness dan keuntungan nilai diperbolehkan sebagai pembatas dalam proses optimasi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan. (10). Selain keuntungan, rasio redaman juga digunakan sebagai faktor pembatas. CDI adalah fungsi dari z, z matriks baris dan unsur-unsur adalah gain dari AVR (KA) dan AGC (Ki). Pada metode IPSO, z disebut sebagai posisi partikel dengan ruang masalah d-dimensi. Diagram alir algoritma optimasi ditunjukkan pada Gambar (5).

$$\min = f(z) = CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \tag{10}$$

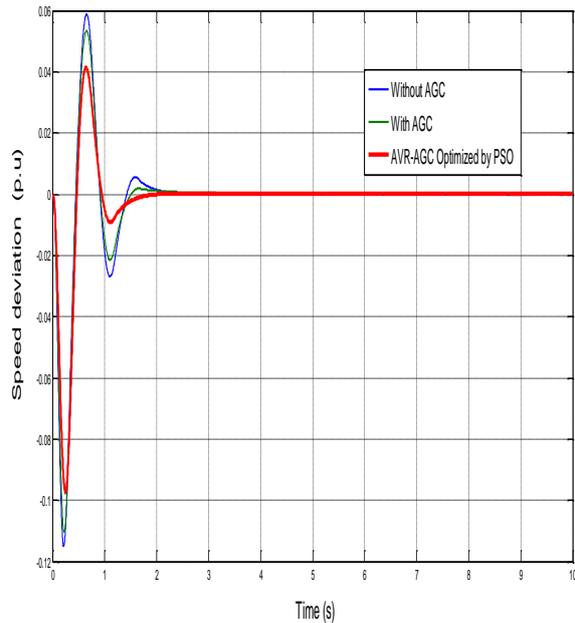
4. Hasil Penelitian dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab 7.1 diaplikasikan ke sistem untuk memberikan informasi tentang kinerja dinamis dari sistem dengan penyimpangan kecepatan rotor, sudut rotor dan tegangan pada PLTMH. Gambar (6) menunjukkan bahwa fitness partikel global minimum dicapai pada iterasi ke-18. Hal ini menunjukkan bahwa nilai minimum dari CDI dapat dicapai dalam iterasi ke-18.



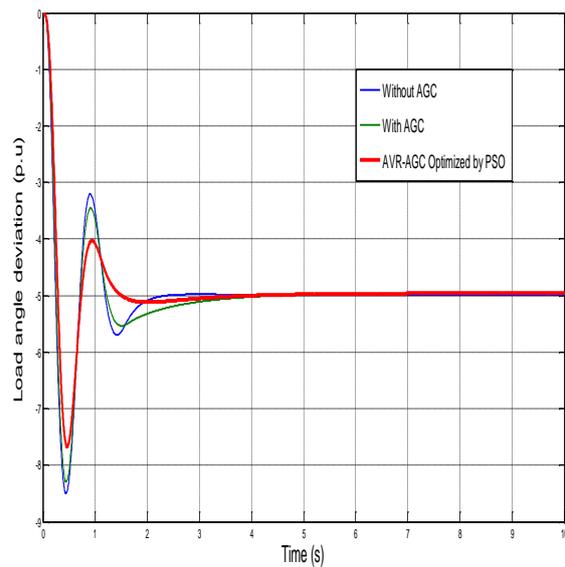
Gambar 6. Graphics CDI sebagai fungsi iterasi

Gambar (7) - (9) menunjukkan bahwa respon dari kecepatan rotor deviasi, sudut rotor dan tegangan pada PLTMH.

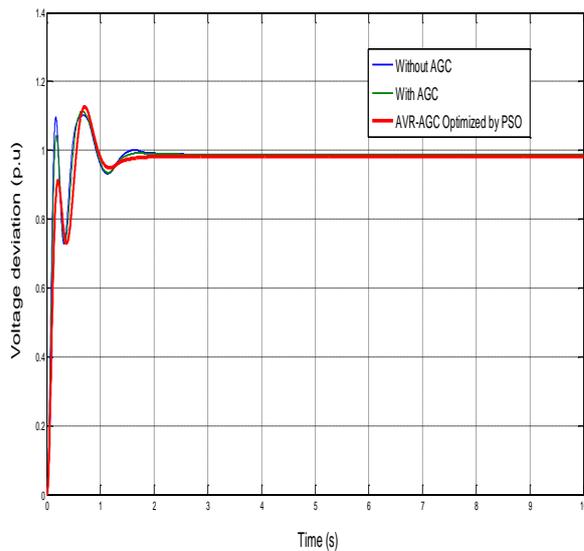


Gambar 7. Kecepatan sudut deviasi

Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan algoritma IPSO untuk mengoptimalkan keuntungan dari AVR dan AGC menghasilkan sistem yang lebih stabil dengan osilasi redaman selama gangguan yang terjadi menjadi lebih baik. Perbandingan indeks yang komprehensif redaman (CDI), rasio redaman eigenvalue, eigenvalue, overshoot dan settling time ditunjukkan pada Tabel 1 dan 3.



Gambar 8. Respons sudut deviasi terhadap beban



Gambar 9. Respons dari voltase deviation

Optimasi keuntungan dari AVR dan AGC menggunakan IPSO menghasilkan nilai minimum CDI bila dibandingkan dengan CDI tanpa koordinasi. Tabel 1, menunjukkan bahwa nilai CDI menurun secara signifikan yang menunjukkan bahwa stabilitas yang lebih baik.

Table 1. *Comprehensive Damping Index (CDI)*

Without AGC	With AVR-AGC	AVR-AGC With IPSO
3.9796	5.6830	3.8033

Table 2. *Overshoot (PU)*

	Open Loop	With AVR-AGC	AVR-AGC With IPSO
$\Delta\omega$	-0.1157	-0.1077	-0.1028
$\Delta\delta$	-8.464	-8.23	-7.933
ΔV_t	1.08	1.039	0.9798

Tabel 2, menunjukkan bahwa penurunan sudut beban overshoot pada kondisi loop terbuka dan menggunakan MPSO berdasarkan PSS-AVR adalah 6,7%, sedangkan menggunakan PSS-AVR dan PSS-AVR berbasis MPSO adalah 3,7%. Perbedaan dalam menyelesaikan pengurangan waktu sudut rotor dalam loop terbuka menggunakan MPSO berdasarkan PSS-AVR adalah 24% dan menggunakan PSS-AVR dengan PSS-AVR berbasis MPSO adalah 11,6%. Demikian hasil ditunjukkan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa stabilitas sistem tenaga listrik semakin baik. Table 3. *Settling Time (Second)*

	Open Loop	With AVR-AGC	AVR-AGC With IPSO
$\Delta\omega$	2.1	1.9	1.8
$\Delta\delta$	2.67	2.39	2.141
ΔV_t	2.064	1.759	1.513

5. Kesimpulan

Penggunaan *Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)* dapat diterapkan untuk pemodelan dan pengendalian sistem eksitasi dan governor pada generator melalui optimalisasi gain dari AVR (KA) dan AGC (Ki). Metode Tuning koordinasi kontrol mampu mengurangi CDI dari PLTMH nilai CDI dari minimum yang dapat digunakan pada generasi ke-18. Metode kontrol berdasarkan IPSO mampu memberikan hasil terbaik dengan meningkatkan stabilitas sistem governor selama gangguan dan lebih cepat mencapai kondisi stabil dari sebelumnya.

Daftar Pustaka

- [1] Hanmandlu, M., & H. Goyal. (2008). Proposing a New Advanced Control Technique for Micro Hydro Power Plants. *Electrical Power and Energy Systems*, 30, 272-282
- [2] Hanmandlu, M., H. Goyal, & D.P. Kothari. (2006). An Advanced Control Scheme for Micro Hydro Power Plants. *International Conference on Power Eletronis, Drives and Energy Systems*, 06, 1-7
- [3] Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies. (1992). *Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies. Transactions on Power Systems*, 7 (1), 167-179
- [4] Mansoor, S. (2000). *Behaviour and Operation of Pumped Storage Hydro Plants*. Doktoral thesis, University of Wales
- [5] Vournas, C.D., & G. Papaionnou. (1995). Modeling and Stability of a Hydro Plant with Two Surge Tanks. *IEEE Trans. Energy Conversion*, 10 (2), 368-375
- [6] Wozniak, L, F. Collier, & J. Foster. (1991). Digital Simulation of an Impulse Turbine: the Bradley Lake Project. *IEEE Trans. Energy Conversion*, 6 (1), 39-45
- [7] Hong Qing, F., & S. Zu-yi. (2005). Modeling and Simulation of Hydraulic Transients for Hydropower Plants. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, China*
- [8] Park H. Gao, & C. Wang. (2006). Effect of Detailed Hydro Turbine Models on Power System Analysis. *Power Systems Conference and Exposition*, 1577-1581
- [9] Djukanovic, M., M. Novicevic, Dj. Dobrijevic, B. Babic, Dejan J. Sobajic, & P. Yoh-Han. (1995). *Neural Net Based Coordinated*

- Stabilizing Control for the Exciter and Governor Loops of Low Head Hydropower Plants. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10 (4)
- [10] Chang, J., Z. Xiao, & S. Qingwag. (2003). Neural Network Predict Control for Hydro Turbine Generator set. *The Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2-5
- [11] Mohamed, H.A. (2005). Wavelet Neural Network Load Frequency Controller. *Energy Conversion and Management*, 1613-1630
- [12] Kishor, S. P. Singh, A. S. Raghuvanshi, & P. R. Sharma. (2006). Fuzzy Models for the Study of Hydro Power Plant Dynamics. *International Symposium on Evolving Fuzzy Systems*, September
- [13] Shu-qing, W., L. Su-yi, & Z. Zi-peng. (2007). Research on the Improved Learning Algorithm of FNNC for the Control of Hydraulic Turbine Generating Units. *Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong*, 617-622
- [14] Khodabakhshian, & M. Edrisi. (2008). A New Robust PID Load Frequency Controller. *Control Engineering Practice*, 16, 1069-1080
- [15] Gagan Singh, & D. S. Chauhan. (2011). Simulation and Modeling of Hydro Power Plant to Study Time Response during Different Gate States. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technology*, 10 (1), 42-47
- [16] Ebenhart, R., & Kennedy. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proc. IEEE Inter Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, Piscataway, NJ, 4, 1942-1948