

## DESAIN OPTIMASI LFC PADA *MICRO-HYDRO* MENGUNAKAN METODE *ANT COLONY* *OPTIMIZATION (ACO)*

Dwi Ajiatmo<sup>1</sup>, Agus Raikhani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>)Teknik Elektro, Universitas Darul 'Ulum, Jombang  
E-mail [ajiatmo@ft-undar.ac.id](mailto:ajiatmo@ft-undar.ac.id), [agus.raikhani@ft-undar.ac.id](mailto:agus.raikhani@ft-undar.ac.id)

**Abstrak.** Sistem mikro-hidro sering dipilih karena memiliki keunggulan ekonomis, teknis, dan ramah lingkungan. Pembangkit Mikro-hidro cocok untuk digunakan di daerah yang sulit atau jauh dari jangkauan jaringan listrik. Sering terjadi masalah di pembangkit mikro-hidro terutama ketidakstabilan penyaluran yang disebabkan oleh perubahan beban. Sehingga menyebabkan fluktuasi frekuensi dalam sistem yang dapat mengakibatkan peralatan listrik rusak. Oleh karena itu dalam penelitian ini mengoptimalkan frekuensi controller dengan pengaturan PID controller untuk mengatur Load Frequency Control (FLC). Untuk mendapatkan parameter optimal PID kontroler kemudian digunakan beberapa metode untuk perbandingan metode. Perbandingan antara metode pengendalian tanpa kontroler, PID dengan konvensional Ziegler-Nichols, PID Auto Tuning dengan Matlab dan dengan PID disetel Ant Colony Optimization (ACO). sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro dalam penelitian ini menggunakan generator induksi, servo dioperasikan sebagai gubernur, dan beberapa komponen. Pembangkit ini dimodelkan dalam simulasi menggunakan program Matlab-Simulink. Hasil simulasi Menunjukkan bahwa aplikasi tuning PID-ACO mempunyai waktu respon frekuensi tercepat dan overshoot respon terkecil.

**Kata Kunci:** ACO, LFC, Micro-hydro

**Abstract:** Micro-hydro systems are often preferred because it has economic advantages, technical, and environmental friendliness. Micro-hydro plants are suitable for use in areas that are difficult or far away from the reach of the electricity grid. Often there are problems at the micro-hydro plants mainly instability caused by changes in the distribution of the load. Thus causing

frequency fluctuations in the system that may result in faulty electrical appliances. Therefore in this study to optimize the frequency controller with PID controller to adjust the settings Load Frequency Control (FLC). To get the optimal parameters PID controller is then used several methods for comparison method. Comparison between methods of control without a controller, PID with conventional Ziegler-Nichols, PID Auto Tuning with Matlab and tuned PID Ant Colony Optimization (ACO). system of micro-hydro power plants in this study using an induction generator, servo operated as governor, and several components. The power plant is modeled in simulation using MATLAB-Simulink program. The simulation result shows that the application tuning PID-ACO has the fastest response time and overshoot frequency response of the smallest.

**Keyword:** ACO, LFC, Micro-hydro

### 1. PENDAHULUAN

Frekuensi (Hz) dan tegangan listrik (Volt) yang dihasilkan generator mikro-hidro sangat dipengaruhi oleh perubahan beban sehingga menyebabkan perubahan kecepatan putar generator. Jika frekuensi listrik terlalu tinggi akan merusak alat-alat elektronik yang digunakan di rumah-rumah. Maka pengendalian frekuensi dibutuhkan agar selalu berada pada daerah kerja antara yang diharapkan antara 49 Hz – 51 Hz sangat diperlukan. Pengontrolan dilakukan secara otomatis yaitu dengan mengatur posisi *gate* sehingga aliran air yang masuk dapat disesuaikan dengan beban, ataupun menyesuaikan daya beban pada sistem dengan pembangkitan untuk peredaman osilasi frekuensi yang terjadi [1,6]. Maka dibutuhkan sebuah teknologi untuk

mengoptimalkan kinerja dari unit pembangkit mikro hidro, yaitu dengan mengaplikasikan *Load Frequency Control (LFC)*.

Mekanisme LFC ini dirancang dengan menggunakan *Proportional-Integral-Derivative (PID)* Controller, yang memiliki kemampuan untuk memposisikan frekuensi pada daerah kerja secara cepat dan tepat [2,3]. Penentuan parameter PID dapat dilakukan dengan metode konvensional *Ziegler-Nochols*, bisa menggunakan *tunning* dari *Artificial Inteligent (AI)*; *Ant Colony Optimization (ACO)*.

## 2. LANDASAN TEORI

Energi yang digunakan untuk pembangkit listrik saat ini sebagian besar berasal dari energi fosil. Selain harganya yang relatif mahal, energi fosil ini juga terbatas persediaannya serta menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Beberapa alternatif sumber energi tersebut antara lain adalah angin, surya (matahari), serta air. Indonesia merupakan negara tropis dengan sumber daya alam yang melimpah. Selain itu, Indonesia juga merupakan negara kepulauan yang mempunyai banyak dataran tinggi yang mengalir sungai ataupun air terjun.

### 2.1 Pembangkit Mikro Hidro

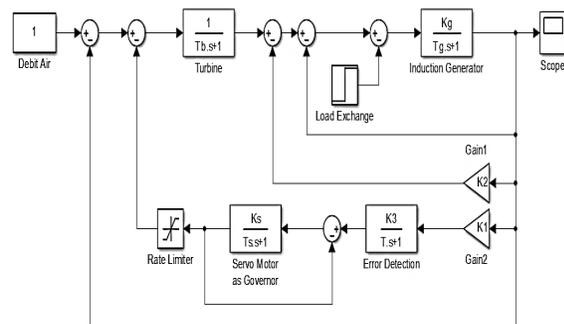
Mikro hidro adalah sebuah istilah yang digunakan untuk unit instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air dalam skala kecil. Pembangkit listrik mikro hidro termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, pembangkit listrik mikro hidro dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Adapun daya output yang dihasilkan dari pembangkit listrik mikro hidro tidak lebih dari 100 kilowatt. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relative murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Ditinjau dari aspek sosial, pembangkit listrik mikro hidro mudah diterima masyarakat luas, apalagi jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik mikro hidro sering dibuat dalam skala desa di

daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari grid PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung, ataupun air terjun.

Pembangkit listrik mikro hidro 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. Lokasi pembangkit listrik mikro hidro yang paling baik adalah lokasi yang memiliki sumber air yang debit airnya selalu mengalir sepanjang tahun. Secara teori, nilai daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit Pth sangat bergantung pada nilai debit air yang melewati pipa pesat  $Q$  dan juga tinggi terjun air  $H$ .

Adanya efisiensi dari turbin  $\eta_{turbin}$  dan efisiensi generator  $\eta_{gen}$  yang ditentukan oleh masing-masing pabrikan dengan nilai di sekitar 0.85 menyebabkan nilai daya listrik nyata  $P_{real}$  yang terhasil akan lebih rendah dibandingkan dengan Pth. Untuk pompa yang digunakan sebagai turbin, nilai efisiensinya bervariasi antara 0,6 sampai 0,8. Adapun untuk cross-flow turbines, nilainya bervariasi antara 0,5 sampai 0,7.

Sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada penelitian ini menggunakan sebuah generator induksi, sebuah motor servo yang dioperasikan sebagai governor, dan beberapa komponen-komponen yang dimodelkan pada simulasi menggunakan program Matlab-Simulink. Gambar berikut menunjukkan konfigurasi dari pembangkit Listrik tenaga mikro hidro yang dirancang pada penelitian penelitian ini [2,3,4,5,6].

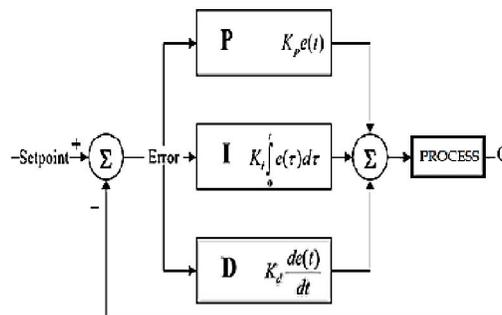


Gambar 1. Diagram blok sistem PLTMH

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

### 2.2 Tuning PID Kontroller

PID (*Proportional Integral Derivative*) *Controller* 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*. [3,4,6]



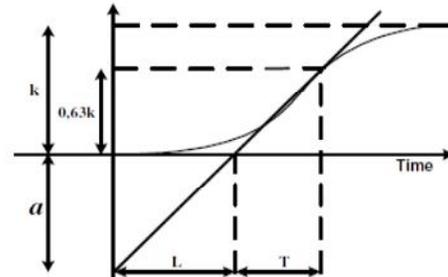
Gambar 2. Macam Kontrol PID

Ada 3 macam kontrol PID yaitu control PI, PD, dan PID. PI adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional dan integratif. PD adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional dan derivatif. Dan PID adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional, integratif, dan derivatif.

#### 2.2.1 Metode Ziegler-Nichols

Metode ke-1 didasarkan pada respon plan terhadap masukan tangga dalam kalang terbuka. Plan yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf

S pada Gambar 2. Kurva tanggapan plant digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T.



Gambar 3. Kurva tanggapan berbentuk S.

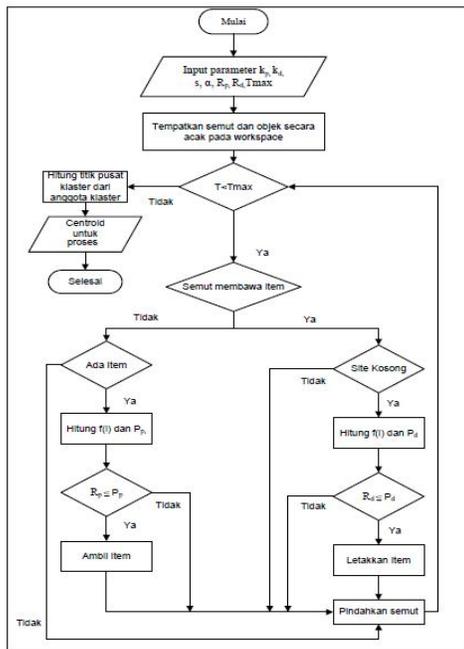
Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameterparameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris *Ziegler-Nichols*. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-1

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3L$	-
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

#### 2.2.1 Ant Colony Optimization (ACO)[7]

Algoritma ACO diperkenalkan oleh Lumer dan Faieta (1994). Algoritma merupakan algoritma yang meniru perilaku semut mayat dan menyortir larva semut. Prinsip semut dalam mengumpulkan dan memilah larva semut ini dipakai acuan dalam algoritma ini. Algoritma ACO menyediakan partisi yang relevan dari data tanpa pengetahuan pusat klaster awal. Terdapat semut agen yang melakukan perpindahan secara acak pada grid dua dimensi dimana dalam grid tersebut terdapat objek yg tersebar secara acak, dan ukuran grid tergantung pada jumlah objek. Agen semut yang dipilih atau diizinkan untuk bergerak dalam grid, akan mengambil objek dan juga menjatuhkan objek yang dipengaruhi oleh kesamaan dan kepadatan objek. Algoritma ACO dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Algoritma ACO

### 3. PEMODELAN

#### 3.1. Parameter PLTMH

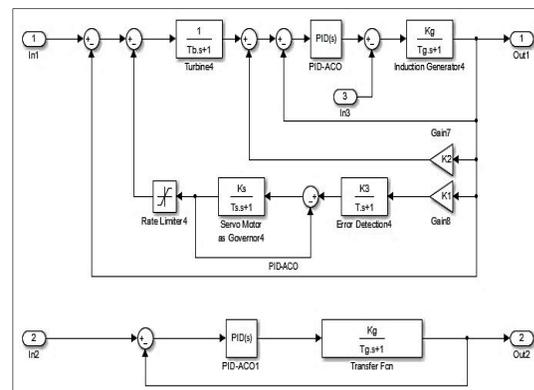
Pada diagram blok diatas terdapat parameter-parameter yang menunjukkan masing-masing bagian dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Dimulai dari bagian input sistem yang nilainya diperoleh dari besarnya debit air untuk memutar turbin air. Selanjutnya masuk pada blok Turbin Air yang memiliki parameter  $T_w$  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 diumpkan balikan 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. Nilai sinyal ini dapat berubah-ubah nilainya, tergantung besar atau kecilnya beban daya listrik yang digunakan oleh pelanggan.[6]

Tabel 2. 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)

#### 3.3 Model Kontrol

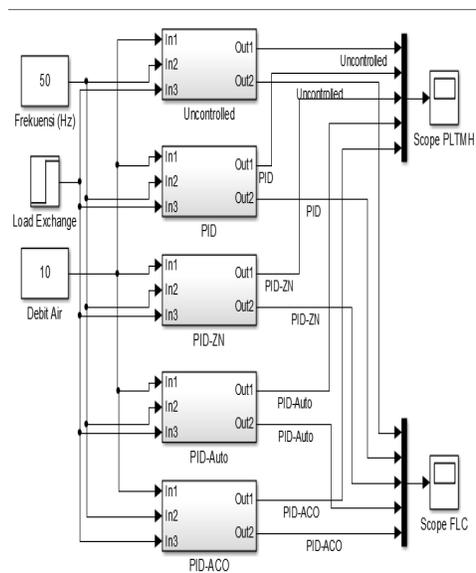


Gambar 4. Pengaturan Frekuensi pada PLTMH

Konstanta Kp, Ki dan Kd pada PID dapat dilihat pada table dibawah ini:

	Un-controlled	PID	PID-Auto	PID-ZN	PID-ACO
Kp	-	1	15,664	10,00	28,234
Ki	-	1	21,619	1,21	0,6095
Kd	-	0	-2,711	0	0,802

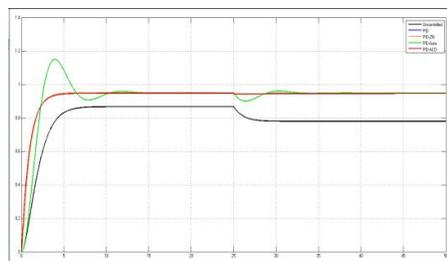
Gambar simulasi dapat dilihat pada gambar 5:



Gambar 5. Model Simulasi beberapa macam kontrol dengan memberikan perubahan beban pada t = 25 detik

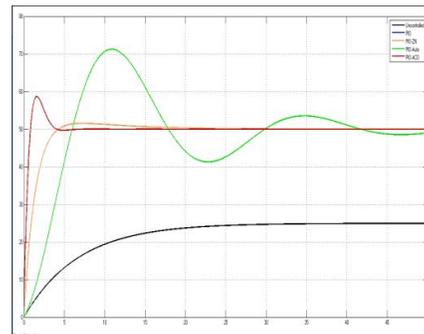
#### 4. HASIL PENELITIAN

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. Saa t = 25, terjadi *undershoots* pada *uncontrolled* = 0,22, PID = 0.1, PID-ZN = 0,06, PID-Auto = 0,09 dan PI-ACO = 0,05



Gambar 7. Hasil respon FLC

Dari gambar grafik Hasil respon FLC 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-ACO memiliki *settling time* tercepat, namun terjadi *overshot* yg tinggi saat *strating*.

## 5. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil penelitian dari beberapa model control PID dipadatkan bahwa *overshoot* terkecil (0) pada model pengaturan PID-ACO, *undershoots* terkecil ( $1,18 \times 10^{-5}$ ) pada PID-ACO dan *settling time* tercepat (4,22 detik) pada starting juga pada PID-ACO. Hal ini menunjukkan bahwa dengan model kontrol PID-ACO sistem akan lebih cepat merespon dan memperbaiki frekuensi agar tetap konstan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kundur, P, (1994), Power System Stability and Control, EPRI, Mc.Graw Hill, Inc, New York.
- [2] Tsabit Mustarin, Teguh Yuwono, Imam Robandi, "Desain Optimal Load Frequency Control (LFC) dengan Superconducting Magnetic Energy Storage(SMES) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Firefly Algorithm(FA)", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2015) 1-6
- [3] DS. Henderson, "An advanced electronic load governor for control of Micro hydroelectric power generation", IEEE Transactions Energy Conversion, Vol.13, No.3, September 1998.
- [4] Muh Budi R Widodo, Soediby, Ali Musyafa, dan Imam robandi "Aplikasi Fuzzy PIPD pada Pengendali Wicket Gate pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro" Prosiding Seminar Nasional Basic Science 7, Malang, 2010
- [5] Imam Robandi, "Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2006.
- [6] M. Hammandlu, H. Goyal, "Proposing a new advanced control technique for

micro hydro power plants", Electrical power and Energy System, 2008.

- [7] Y. Jingan, Z. Yanbin, An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem, Applied Soft Computing 10 (2010) 653–660