

# Optimasi AVR Pada Pembangkit Listrik Mikro-hidro Menggunakan Metode Differential Evolution (DE)

<sup>1</sup> Rio Firmansyah, <sup>2</sup> Budiman, <sup>3</sup> Dwi Ajiatmo, <sup>4</sup> Agus Raikhani, <sup>5</sup> Machrus Ali

<sup>1,3,4</sup> Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>2</sup> Teknik Informatika, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>1</sup> reiopanter@gmail.com, <sup>2</sup> budimanjombang1@gmail.com, <sup>3</sup> ajiatmo@gmail.com, <sup>4</sup> agus.raikhani@gmail.com, <sup>5</sup> [machrus7@gmail.com](mailto:machrus7@gmail.com)

**Abstract** –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. Perubahan beban dapat menyebabkan seringnya fluktuasi pada frekuensi dan tegangan system. Perihal ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Karena itu digunakan Automatic Voltage Regulator (AVR) agar mengontrol tegangan dapat lebih stabil. Untuk mendapatkan parameter kontrol optimal pada sistem pembangkit listrik tenaga air mikro digunakan PID controller. Penelitian ini membandingkan metode tanpa control, metode kontrol PID-ZN, metode PID-DE, agar diperoleh metode kontrol yang paling baik. Dari perbandingan hasil simulasi didapatkan, bahwa respon terbaik pada sistem pembangkitan mikro-hidro diperoleh dari model control PID-DE controller dan respon terbaik pada sistem AVR pada model kontrol PID-DE controller. Hasil penelitian ini nantinya akan dicoba dengan metode lain, yang hasilnya mungkin akan lebih baik.

**Kata Kunci** – AVR, Differential Evolution, mikro-hidro, PID Kontroler

**Abstract** - Micro-hydro has three main components in the generation, namely water (as an energy source), turbine, and generator. Water flowing with a certain capacity is channeled to the height of a certain house (turbine house). At the house (powerhouse) the water installation will pound the turbine, it is certain that the turbine will receive energy directly from the water and convert it into mechanical energy which causes the turbine shaft to spin. Changes in load can cause frequent fluctuations in system frequency and voltage. This can cause damage to electrical equipment. Therefore Automatic Voltage Regulator (AVR) is used to control the voltage can be more stable. To obtain optimal control parameters on a micro-hydroelectric power plant system, a PID controller is used. This study compared methods without control, the PID-ZN control method, PID-DE method, in order to obtain the best control method. From the comparison of simulation results, it was found that the best response in the micro-hydro generation system was obtained from the controller PID-DE control model and the best response on the AVR system in the controller PID-DE control

model. The results of this study will be tested by other methods, the results of which may be better.

**Keywords** – AVR, Differential Evolution, micro-hydro, PID Controller

## I. PENDAHULUAN

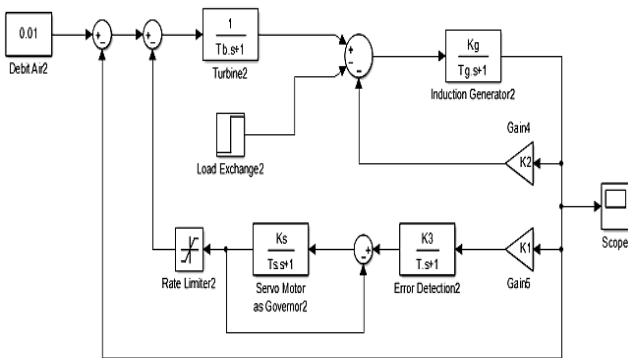
Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro 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 Intelligence (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan[4], sebagai kontrol sudu turbin angin [5], sebagai kontrol mikrohidro [2][6]<sup>i</sup>, sebagai kontrol kecepatan motor DC[7]. Diantaranya juga menggunakan metode Differential Evolution (DE)[8][9]. Maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang PID controller sebagai Optimasi AVR berbasis Differential Evolution (DE).

## II. MIKROHIDRO

### A. Pembangkit Listrik 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[10]

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.[11][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  $Ks$  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 ditelita 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 indksi (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)

**C. Proporsional Integral Derivatif (PID)**

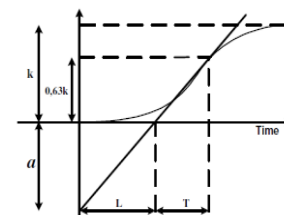
**III. METODE PENELITIAN**

**A. PID Controller**

Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (derivative). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional.  $Kp$ , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis  $Kp$ , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama[12][13]. Nilai kritis  $Kp$  ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated period*,  $Tu$ , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi[14] [6].

**Metode Ziegler Nachols**

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  $T$ [15].



Gambar 2. Kurva tanggapan berbentuk S.

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Ziegler-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

**B. Differential Evolution (DE)**

Differential Evolution (DE) adalah sebuah metode yang dikembangkan oleh Kenneth Price. Metode ini merupakan metode optimasi matematis fungsi multidimensional dan termasuk dalam kelompok *evolutionary algorithm*. Munculnya metode DE ini berawal dari usaha penyelesaian permasalahan *fitting* polinomial Chebychev dan menghasilkan ide penggunaan perbedaan vektor untuk mengacak populasi vektor. Kemudian seiring dengan perkembangannya, dalam ICEO (*International Contest on Evolutionary Optimization*) yang pertama, DE menjadi salah satu algoritma genetika terbaik dan dapat menemukan global optimum yang multidimensi (yaitu menunjukkan lebih dari satu nilai optimum) dengan probabilitas yang baik. Kelebihan DE dibandingkan dengan metode algoritma evolusioner sebelumnya adalah adanya evolusi yang dialami oleh setiap individu dalam populasi dimana diferensiasi dan *crossover* terjadi secara berurutan pada setiap individu yang terpilih acak dari populasi setiap waktu. Hasil dari variasi ini dikenal sebagai *child* (turunan) atau *trial individual* yang akan menggantikan *parents* pada populasi apabila *fitness* yang dihasilkan lebih baik atau sama dengan yang dihasilkan *parents*.

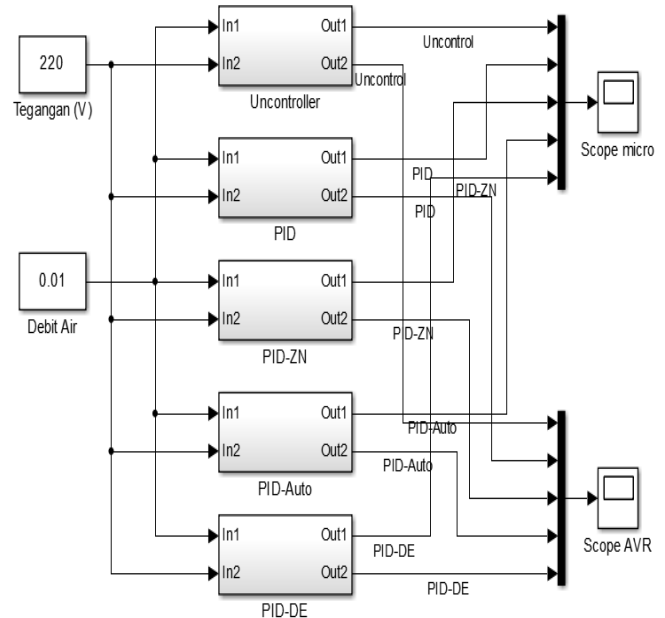
```

function hasil = DEport(N,D,CR,F)
%%% inisialisasi
x = rand(N,D);
while fnew > retTrue
fval = risk(x);
%%% mutasi-crossover
v = r1 + F*(r2-r3);
u(rd <= CR,:) = v(rd<=cr, :);
%%% seleksi
fit = risk(u);
if fit <= fval
new_x = u;
new_f = fit;
%%% update populasi
fnew = minf;
retTrue = xs' * ret';
end
    
```

Gambar 3. Pseudocode DE

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pembangkit Listrik Mikro-hidro, 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.



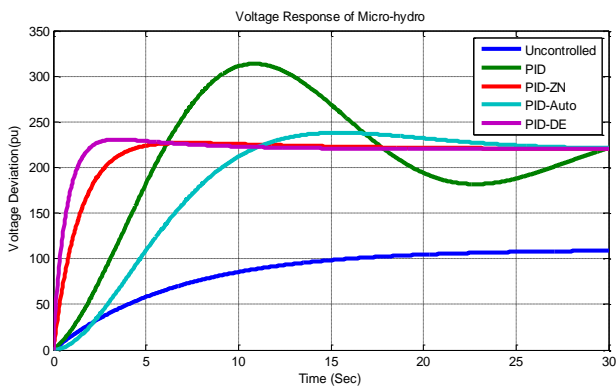
Gambar 4. Desain control mikrohidro

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

Tabel 3. Konstanta Hasil Tuning

	Uncontrol	PID	PID-Auto	PID-ZN	PID-DE
Kp	-	1	15.664	10	31.212
Ki	-	1	21.619	1.21	0.711
Kd	-	0	2.711	0	0.943

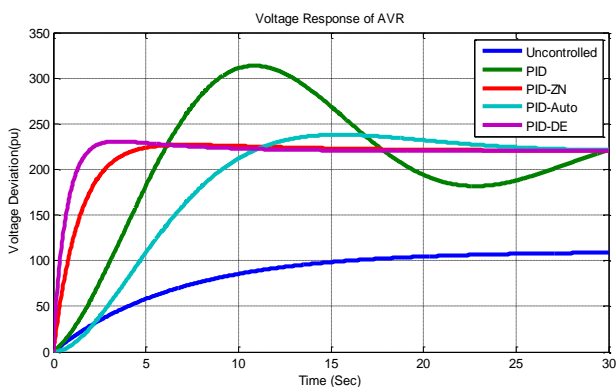
Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 5 dan gambar 6 dibawah ini:



Gambar 5. Hasil respon mikrohidro

Dari gambar 5 dapat diartikan bahwa: respon sistem mikro-hidro Tanpa kontroler didapatkan *undershoots* = 130 volt, dengan *settling time* = 76 detik. PID standar kontroler didapatkan *undershoots* = 178 volt, *overshoots* = 312 volt, dengan *settling time* = 46 detik. PID Ziegler Nichols kontroler didapatkan *undershoots* = 218 volt, *overshoots* = 228 volt, dengan *settling time* = 22 detik. PID Auto tuning kontroler didapatkan *undershoots* = 219 volt, *overshoots* = 243 volt, dengan *settling time* = 28 detik. PID-DE kontroler didapatkan *undershoots* = 220, *overshoot* = 224 volt, dengan *settling time* = 8 detik.

Untuk respon pada AVR dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Hasil respon AVR

Dari gambar 6 hasil respon AVR diatas dapat di jelaskan bahwa, Tanpa kontroler didapatkan *undershoots* = 118 volt, dengan *settling time* = 81 detik. PID standar kontroler didapatkan *undershoots* = 182 volt, *overshoots* = 311 volt, dengan *settling time* = 44 detik. PID Ziegler Nichols kontroler didapatkan *undershoots* = 217 volt, *overshoots* = 227 volt, dengan *settling time* = 20 detik. PID Auto tuning kontroler didapatkan *undershoots* = 219 volt, *overshoots* = 239 volt, dengan *settling time* = 26 detik. PID-DE kontroler didapatkan *undershoots* = 220, *overshoot* = 225 volt, dengan *settling time* = 11 detik.

## V. KESIMPULAN

Dari perbandingan hasil simulasi didapatkan, bahwa respon terbaik pada system pembangkitan mikro-hidro diperoleh dari model control PID-DE kontroler didapatkan *undershoots* = 220, *overshoot* = 224 volt, dengan *settling time* = 8 detik. Dan respon terbaik pada sistem AVR pada model kontrol PID-DE kontroler didapatkan *undershoots* = 220, *overshoot* = 225 volt, dengan *settling time* = 11 detik. Hasil penelitian ini nantinya akan dicoba dengan metode lain, yang hasilnya mungkin akan lebih baik.

## VI. 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 *2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*, 2016, pp. 18–22.
- [5] 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.
- [6] M. R. Djalal and M. Ali, "Particle Swarm Optimization Untuk Mengontrol Frekuensi Pada Hibrid Wind-Diesel," *J. Intake*, vol. 7, no. 2, pp. 1–13, 2016.
- [7] M. Ali and M. Muhlasin, "Auto-Tuning Method for Designing Matlab DC Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative)," *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2017.
- [8] K. V. Price, "Differential Evolution," *Intell. Syst. Ref. Libr.*, vol. 38, pp. 187–214, 2013.
- [9] S. Das and P. N. Suganthan, "Differential evolution: A survey of the state-of-the-art," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 15, no. 1, pp. 4–31, 2011.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] M. Ali, A. Raikhani, B. Budiman, and H. Sopian, “Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen (Imperialist Competitive Algorithm As PID Optimization and ANFIS Controller at Permanent Magnet Synchronous Machine),” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 57, Apr. 2019.
- [13] 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.
- [14] G. Y. Hartlambang, M. Ali, and A. Raikhani, “Unjuk Kerja Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) Dalam Mengoptimalkan Kecepatan Motor Dc Dengan Menggunakan Metode Imperialist Competitive Alghorithm (ICA),” *J. Intake*, vol. 6, no. 1, pp. 51–67, 2015.
- [15] M. Ali, Soedibyoy, and I. Robandi, “Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” in *SENTIA-2015, Polinema, Malang*, 2015, pp. B128–B131.
-