

# ANALISA PENGGUNAAN KRITERIA INTEGRAL GALAT MINIMUM ITSE UNTUK MENEMUKAN PARAMETER KONTROL PID PADA AVR MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO

Ari Asriyanto<sup>1)</sup>, Nurhalim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293  
E-mail : [ari.asriyanto@student.unri.ac.id](mailto:ari.asriyanto@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The automatic voltage regulator (AVR) is a major component in generating electrical energy. To improve the performance of the AVR system, controlling the proportional integral derivative (PID) is needed because it has a simple structure, is very strong in system variations, and easy to understand. The main problem for the PID controller is determining the appropriate parameter values for the values of the proportional constant ( $K_p$ ), the integral constant ( $K_i$ ), and the differential constant ( $K_d$ ) to obtain the optimal transient response. In the conventional method based on trial and error, a more efficient method is needed, namely Particle Swarm Optimization (PSO), an optimization method based on a flock of bird population. The criteria the minimum error integral used as a fitness function in the PSO is the integral of time multiplied by squared error (ITSE). The parameter values used must meet the stability requirements, namely the stability characteristics of the Root Locus. PID control has a significant impact on the plant, this can be seen from the results that have a good level of stability. As for the criteria using the PSO-ITSE algorithm has a better transient response. In finding these values and analysis using the Matlab software tools.*

*Keywords: AVR, PSO, ITSE, Root Locus. transient response, Matlab*

## I. PENDAHULUAN

Pembangkitan listrik menggunakan AVR harus memenuhi syarat beban penuh daya aktif dan daya reaktif dalam fungsinya sebagai pengontrol tegangan terminal generator. Beban listrik tidak konstan selamanya, akan tetapi sebagian besar beban bervariasi secara teratur atau acak sepanjang waktu. Untuk meningkatkan kinerja sistem AVR, pengendalian *proportional, integral, derivative* (PID) biasanya digunakan karena memiliki struktur yang sederhana, sangat kuat untuk variasi sistem dan mudah dipahami untuk diimplementasikan. Pada umumnya, masalah yang ditemukan pada kontrol PID adalah menemukan parameter, yaitu menentukan nilai parameter kontrol  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dari

kontrol PID untuk mendapatkan performansi sistem secara optimal (Laksono, 2016)

Umumnya proses tersebut masih dilakukan secara manual, *trial and error* sehingga memakan waktu yang lama. Untuk membantu menemukan nilai parameter yang optimal, beberapa metode dikembangkan diantaranya, metode *linear quadratic regulator* (LQR), *genetic algorithm* (GA), *ant colony optimization* (ACO), *simulated annealing* (SA), *bacterial foraging optimization* (BFO), dan *particle swarm optimization* (PSO). PSO merupakan algoritma *heuristic* modern yang diinspirasi oleh perilaku organisme, seperti kawanan burung atau ikan. Penggunaan Algoritma ini lebih unggul dari metode-metode konvensional, salah satunya adalah metode

yang umum digunakan yaitu Zeigler-Nichols (ZN)(Alrijadjis, 2010).

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Kontrol

Beberapa proses atau sebuah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran berupa variabel atau parameter sehingga berada pada harga atau range tertentu merupakan bagian dari sebuah sistem yang disebut sistem kontrol. Sebuah sistem kontrol dengan pasti mengandung beberapa aspek yaitu rencana yang jelas, dapat melakukan pengukuran dan dapat melakukan tindakan. Sistem kontrol kini melekat pada hamper semua aspek kehidupan, dan hamper digunakan pada berbagai macam keperluan. Sistem kontrol mempunyai tiga elemen penting, diantaranya: *input*, *ouput* dan proses (Sulasno, 2006).

### 2.2 Automatic Voltage Regulator (AVR)

AVR memiliki fungsi untuk menjaga agar tegangan generator yang dihasilkan tetap konstan pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah. Sistem AVR memiliki 4 komponen utama yang membentuk sistem AVR, yaitu: *amplifier*, *exciter*, generator dan sensor, yang setiap masing-masing komponen memiliki model matematis dan fungsinya masing-masing. Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Apabila tegangan *output* generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan memperbesar arus penguatan pada *exciter*, begitu juga sebaliknya. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan keluaran generator, AVR akan mampu menstabilkan tegangan teersebut secara otomatis. (Juba, 2015).

#### a. Model Amplifier.

Model *amplifier* diwakili dengan *gain*  $K_a$  dan konstanta waktu  $T_a$ , dengan fungsi transfer sebagai berikut:

$$\frac{V_R(s)}{V_e(s)} = \frac{K_a}{1+sT_a} \dots\dots\dots 1$$

Dengan batasan nilai untuk  $K_a$  berada pada 10 sampai 40, dan untuk  $T_a$  berada pada kisaran nilai yang sangat kecil yaitu diantara 0.02 detik hingga 0.1 detik (Saadat, 1999)

#### b. Model Exciter.

Model *exciter* pada fungsi transfernya diwakili oleh konstanta gain  $K_e$  dan konstanta waktu  $T_e$  yang dapat digambarkan pada persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_e}{1+sT_e} \dots\dots\dots 2$$

#### c. Model Generator.

Model ini diwakili oleh konstanta gain  $K_g$  dan konstanta waktu  $T_g$ , dengan batasan nilai untuk  $K_g$  bervariasi antara 0.7 hingga 1, dan  $T_g$  antara 1.0 hingga 2.0 detik. Model ini diwakili dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_t(s)}{V_F(s)} = \frac{K_g}{1+sT_g} \dots\dots\dots 3$$

#### d. Model Sensor.

Sensor dimodelkan dengan fungsi transfer orde satu sederhana, dengan nilai konstanta waktu  $T_r$  yang sangat kecil, dan nilai yang dapat diasumsikan pada variasi 0.001 detik hingga 0.06 detik. Persamaan model sensor dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_S(s)}{V_t(s)} = \frac{K_r}{1+s} \dots\dots\dots 4$$

## 2.3 Kontrol PID

Kontrol PID adalah salah satu kontrol yang pengaturan parameter-parameeter pengontrol PID untuk sebuah kontrol optimal sebuah *plant* yang sangat bergantung kepada perilaku *plant* tersebut sendiri. Parameter PID;  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang diberikan harus memenuhi respon yang diinginkan (*settling time*, *rise time*, *overshoot*) dalam ukuran yang minimal. Kontrol PID dapat digambarkan secara sederhana dalam persamaan fungsi transfer dari sseluruh parameter PID sebagai berikut (Gaing, 2004):

$$U_c(s) = \left[ K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right] E(s) \dots\dots\dots 5$$

## 2.4 Zeigler-Nichols PID (ZN-PID)

Metode Zeigler-Nichols (ZN) merupakan metode pencariann nilai parameter PID konvensional yang biasa digunakan untuk menentukan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dari PID dengan konsep matematis (Routh-Huwritz) atau dengan cara lain yaitu

*trial and error* dengan bantuan Matlab simulink. Dengan mengatur besaran nilai Kp yang diubah-ubah untuk menemukan titik osilasi pada pengamatan gelombang keluaran (*yout*) maka nilai Ki dan Kd dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Kp = 0.6 \times Ku \text{ (III.7)}$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \text{ (III.10)}$$

$$Kd = Td \times Kp \text{ (III.11)}$$

Dengan nilai Ti dan Td:

$$Ti = \frac{TU}{2} \text{ (III.8)}$$

$$Td = \frac{Tu}{8} \text{ (III.9)}$$

dimana:

Ku adalah *ultimate gain* yang mengarah pada terjadinya osilasi yang stabil.

Tu adalah periode waktu osilasi yang terjadi.

## 2.5 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO adalah sebuah teknik optimasi yang dikembangkan berdasarkan teknik komptasi evolusi. Algoritma PSO memiliki konsep yang didasarkan kepada sekawanan burung, algoritma ini meniru perilaku social organisme ini. Perilaku ini terdiri dari tindakanan sebuah individu dan pengaruh tindakan individu tersebut terhadap individu lain maupun pengaruh individu lain tersebut sekalian terhadap keputusan yang dibuat oleh sekawanan individu. Setiap individu berperilaku dengan menggunakan kecerdasannya juga dipengaruhi oleh kelompok kolektifnya. Dengan demikian jika satu individu menemukan rute terpendek maka individu lainnya akan mengikuti rute tersebut hingga ditemukannya rute terpendek lainnya (Juba, 2015).

Dalam penyusunan algoritmanya, pada PSO terdapat parameter awal yang terlebih dahulu ditentukan antara lain:

1. *Personal* dan *Global best*, yang merupakan nilai yang dapat diraih individu ketika kawanan bergerak. *Personal best* merupakan nilai yang ditemukan individu, sedangkan *global best* adalah nilai optimum yang diraih oleh kawanan yang didapat berdasarkan kalkulasi nilai optimum yang ditemukan oleh masing-masing individu, *personal* dan *global best* didapat dengan

persamaan sebagai berikut (Kennedy & Eberhart, 1995):

$$P_{i.best}(t) = \begin{cases} P_{i.best}(t-1); & \text{if } f[i(t)] \geq f[P_{i.best}(t-1)] \\ i(t); & \text{sebaliknya} \end{cases} \dots\dots\dots 6$$

$$G_{best}(t) = \arg \min \{f[P_{1.best}(t)], f[P_{2.best}(t)] \dots f[P_{N.best}(t)]\} \dots 7$$

Dimana:

$P_{i.best}(t)$  adalah *personal best position* dari partikel i pada iterasi ke-t.

$f[i(t)]$  adalah *fitness function* yang digunakan untuk mengevaluasi posisi  $i(t)$

$i(t)$  adalah posisi partikel i pada iterasi ke-t

$G_{best}(t)$  adalah *global best position* yang ditemukan oleh kawanan dari iterasi dimulai hingga iterasi ke-t

$\arg \min$  fungsi pengulangan yang menyebabkan nilai minum dari fungsi f.

2. *Particle Velocity*, Kecepatan partikel berganti posisi dari posisi (t-1) menuju posisi t, digambarkan sepeerti pada persamaan berikut:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 r_1 [P_{best.i}(t) - i(t)] + c_2 r_2 [G_{best.i}(t) - i(t)] \dots\dots\dots 8$$

Dimana :

$i(t)$  adalah kecepatan partikel pada waktu step "t"

$P_{best.i}(t)$  posisi terbaik partikel kunjungi sejauh ini dimulai dari algoritma bekerja

$G_{best.i}(t)$  posisi terbaik sejauh ini yang dikunjungi oleh seluruh populasi dari partikel

$c_1$  dan  $c_2$  koefisien akselerasi

$r_1$  dan  $r_2$  adalah koefisien random terbatas pada *range* [0;1]

## 2.6 Integral of Time Multiplied by Squared Error (ITSE)

ITSE merupakan kriteria penalaan integral error yang digunakan pada algoritma PSO sebagai dasar dari *fitness function*, sangat berbeda dengan metode penalaan error lainnya. ITSE memiliki pengali waktu tambahan dari galat fungsi yang mengutamakan dari lama waktunya galat tersebut terjadi, kriteria ini akan sangat optimal pada sistem yang membutuhkan

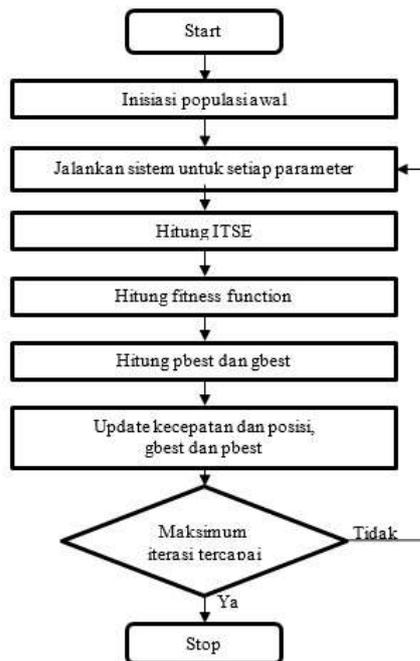
waktu penetapan yang cepat. ITSE dilihat pada persamaan berikut (Saadat, 1999):

$$ITSE = \int_0^{\infty} t\{e(t)\}^2 dt \dots\dots\dots 9$$

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Flowchart Algoritma PSO-PID ITSE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan data sistem dari salah satu sistem pembangkit. Algoritma yang disusun adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Flowchart Algoritma PSO-PID ITSE

#### 3.2 Data Parameter AVR

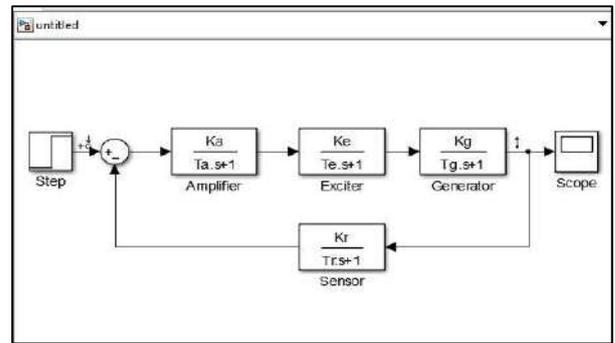
Data parameter AVR yang digunakan sebagai dasar dari PSO-PID yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data parameter AVR

Parameter	Nilai
Ka	40
Ta	0.056
Ke	1
Te	0.4
Kg	0.85
Tg	2
Ks	1

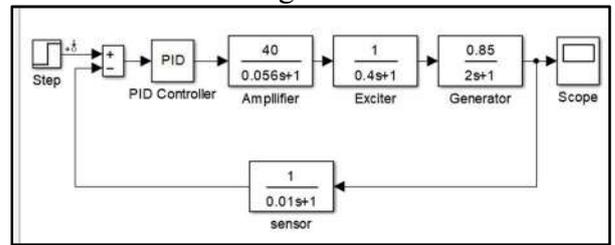
Ts 0.01

Model AVR pada simulink adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Model AVR tanpa pengontrolan

Model AVR dengan pengendali PID pada simulink adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Model AVR dengan pengendali

#### 3.3. Fungsi Objektif

Fungsi objektif dalam kasus PID AVR menggunakan algoritma PSO dapat dijelaskan dengan model matematis dari fungsi objektif, fungsi kendala dan *variable decision* seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Fungsi objektif PSO-PID ITSE

Fungsi Objektif	ITSE = $\int_0^{\infty} t\{e(t)\}^2 dt$ $ITSE \geq 0$
Fungsi Kendala	$e \geq 0$
Variable Decision	Kp Ki Kd

### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Proses analisa menggunakan software Matlab dalam menyusun algoritma dan menjalankan model AVR untuk dapat melihat respon transien dan kestabilan sistem. Dengan

respon karakteristik model AVR tanpa pengendali sebagai berikut:

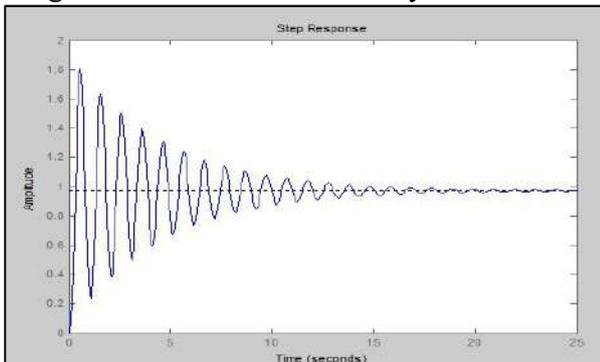
*Rising time* = 0.1813 detik

*Settling time* = 17.3648 detik

*Overshoot* = 85.4235%

#### 4.1. Respon Karakteristik AVR Tanpa Pengendali

Dengan menggunakan data parameter AVR, terlebih dahulu adalah mengetahui respon transien karakteristik dari AVR tanpa pengendali untuk melihat dan perbandingan dengan hasil PSO-PID berikutnya.



Gambar 4. Respon AVR tanpa pengendali

#### 4.2. ZN-PID

Pada pencarian nilai parameter PID menggunakan metode ZN-PID didapatkan nilai-nilai parameter ZN-PID sebagai berikut:

$K_u=0.5$ ,  $T_u=18$

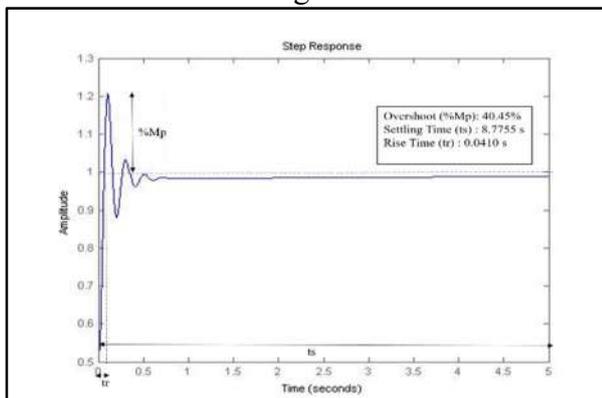
Maka untuk nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  akan menjadi:

$$K_p = 0.6 \times 0.5 = 0.3000$$

$$K_i = \frac{0.3000}{9} = 0.0333$$

$$K_d = \left(\frac{18}{8}\right) \times 0.3000 = 0.6750$$

Dengan respon karakteristik transien yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Respon karakteristik ZN-PID

Respon sistem ZN-PID dengan karakteristik sebagai berikut:

*Rise time* : 0.0410 detik

*Settling time* : 8.7755 detik

*Overshoot* : 40.45%

#### 4.3. AVR PSO-PID ITSE

Sebelum memulai pencarian nilai parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) AVR dengan metode algoritma PSO, terlebih dahulu parameter-parameter yang digunakan diinisialisasi. Dan beberapa tahapan berikutnya.

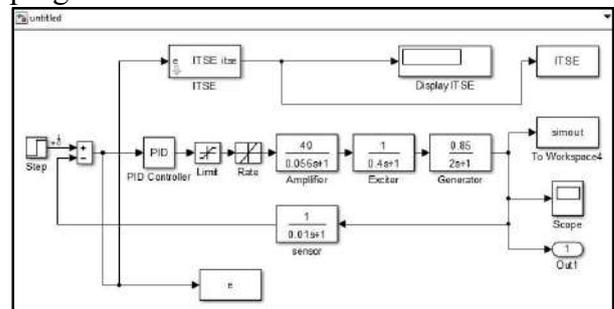
##### 4.3.1. Inisialisasi Parameter Awal PSO

Untuk parameter awal dari algoritma PSO didapat sebagai berikut :

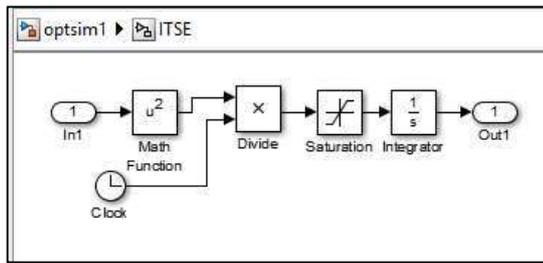
1. Ukuran populasi ( $n$ ) = 25, jumlah iterasi atau jumlah langkah dari particle ( $bird\_step$ ) = 50.
2. *Acceleration factors* (faktor akselerasi)  $C_1$  dan  $C_2$  masing-masing sama dengan 2.
3. *Inertia weight* (momentum atau inersia) PSO  $w = 0.9$ .
4. *Fitness function* yang digunakan kriteria ITSE.

##### 4.3.2. PSO-PID ITSE

Model blok diagram pada simulink dari model AVR dan kriteria ITSE dapat diamati pada gambar 4 dan gambar 5. Pada model AVR ditambah dengan blok ITSE untuk menghitung nilai ITSE, yang nilai keluarannya akan disimpan pada *workspace* Matlab, yang kemudian akan dieksekusi oleh program Matlab PSO-PID.



Gambar 6. Model AVR pada simulink perhitungan nilai kriteria ITSE



Gambar 7. Model blok diagram kriteria ITSE

Dengan nilai *error* atau galat yang dimiliki sistem sebesar 0.0868, dengan menggunakan persamaan fungsi ITSE maka didapatkan nilai ITSE seperti dibawah ini:

$$ITSE = \int_0^{\infty} t\{e(t)\}^2 dt,$$

dengan nilai *error* sebesar 0.0868, maka  $ITSE = 6.63$

Nilai ITSE tersebut yang akan digunakan sebagai *fitness function* pada algoritma PSO-PID.

#### 4.3.3. Respon Karakteristik PSO-PID ITSE

Dengan menggunakan nilai ITSE sebagai *fitness function* sebagai pembanding dalam seatiap iterasi untuk menemukan nilai parameter PID yang optimum, dengan nilai ITSE minimum. Nilai parameter PID yang didapat adalah :

$$K_p = 0.3926$$

$$K_i = 0.1099$$

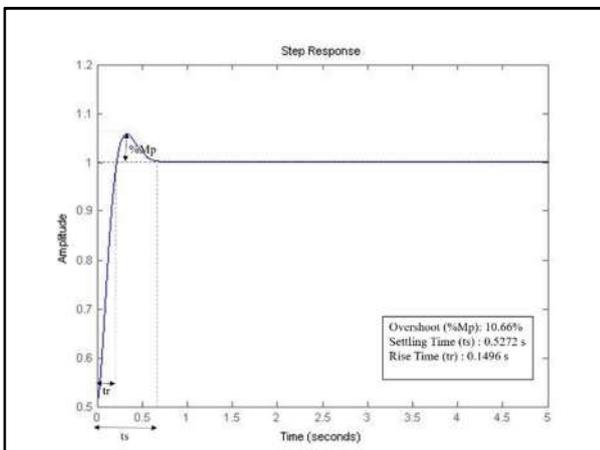
$$K_d = 0.1072$$

Dengan respon karakteristik :

$$Rise\ time = 0.1496\ detik$$

$$Settling\ time = 0.5272\ detik$$

$$Overshoot = 10.66\%$$



Gambar 8. Respon Karakteristik PSO-PID ITSE

#### 4.4. Analisis Respon Karakteristik Transien Step

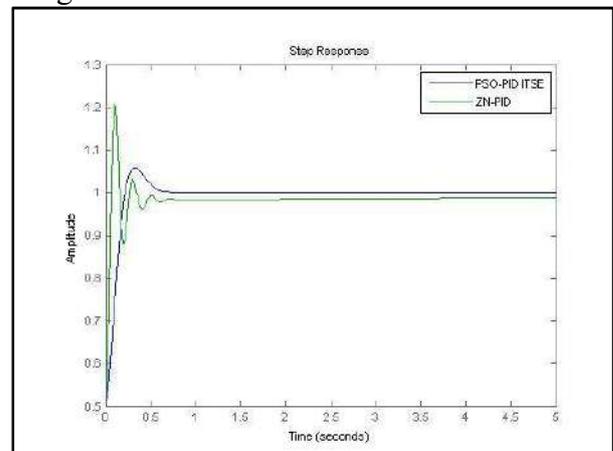
Tabel 3. Perbandingan hasil parameter PID

Metode	K <sub>p</sub>	K <sub>i</sub>	K <sub>d</sub>
ZN-PID	0.3000	0.0333	0.6750
PSO-PID ITSE	0.3926	0.1099	0.1072

Tabel 4. Perbandingan respon PID

Metode	Rise Time	Settling Time	Overshoot
ZN-PID	0.0410 s	8.7755 s	40.45%
PSO-PID ITSE	0.1496 s	0.5272 s	10.66%

Berdasarkan tabel diatas dapat diamati bahwa secara keseluruhan pada umumnya PSO-PID ITSE memberikan respon yang lebih baik jika dibandingkan dengan respon ZN-PID. PSO-PID lebih unggul dalam *settling time* dan *overshoot* yaitu, 94% *settling time* yang lebih cepat dan 73.64% *overshoot* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan ZN-PID.



Gambar 9. Perbandingan respon step ZN-PID dengan PSO-PID ITSE

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang dilakukan mengenai pencarian nilai parameter PID pada AVR menggunakan algoritma PSO dengan kriteria integral minimum ITSE, menghasilkan dan mendapatkan nilai parameter PID (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, K<sub>d</sub>) yang mampu

mengurangi dan membuat sistem jauh lebih stabil.

Tentu saja dengan peambahan kontrol PID membuat sistem lebih baik, tetapi algoritma PSO-PID ITSE mampu menemukan nilai parameter yang optimal

dengan perbedaan yang sangat jauh dari model AVR dengan metode konvensional seperti ZN-PID, dengan respon karakteristik PSO-PID ITSE yaitu *rising time* selama 0.1496 detik, *settling time* selama 0.5272 detik, dan *overshoot* sebesar 10.66%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alrijadjis. (2010). Optimasi Kontroler PID Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Sistem dengan Waktu Tunda. *ITS*, 1–4.
- Gaing, Z. (2004). A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System, *19*(2), 384–391.
- Juba, A. (2015). *Control Particle Swarm Optimization Based PID Parameters Tuning for the Automatic Voltage Regulator System*. Algeria.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization, 1942–1948.
- Laksono, H. D. (2016). Perancangan Dan Analisa Performansi Tanggapan Tegangan Sistem Kendali Automatic Voltage Regulator ( AVR ) Dalam Domain Waktu Dengan Pendekatan Tanggapan Frekuensi. *Amplifier Universitas Andalas*, 6(2).
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis. Power System Stability: Modelling, Analysis and Control*. Newyork: McGraw-Hill. [https://doi.org/10.1049/pbpo076e\\_ch5](https://doi.org/10.1049/pbpo076e_ch5)
- Santosa, B. (2017). *Pengantar Mateheuristik* (Pertama). Surabaya: ITS Tekno Sains.
- Sulasno. (2006). *Teknik Sistem Kontrol* (I). Yogyakarta: Graha Ilmu.

