

PENALAN PARAMETER PENGENDALI PID DENGAN ALGORITMA GENETIK

Dwi Joko PWA¹, Agung Warsito², Aris Triwiyatno²

Abstrak---Pengendali Proporsional Integral Derivative (PID) merupakan pengendali konvensional yang masih banyak digunakan dalam dunia industri karena kehandalan dan kesederhanaan strukturnya. Berbagai metode penalaan parameter PID telah diusulkan tetapi kebanyakan memerlukan pengetahuan yang mendalam tentang sistem kontrol.

Pada tugas akhir ini Algoritma Genetik sebagai sebuah mekanisme optimasi digunakan untuk penalaan parameter pengendali PID pada plant orde tinggi dengan transportasi lag. Penggunaan Algoritma Genetik akan mempermudah penalaan karena tidak memerlukan pengetahuan yang mendalam tentang sistem kontrol, ia hanya memerlukan fungsi evaluasi yang berupa indeks performansi ITAE dan lonjakan maksimum. Metoda ini diharapkan mampu memberikan tanggapan sistem dengan indeks performansi dan respon transien yang lebih baik dibandingkan dengan Metoda PID tuning for Improved Performance dan Metoda Ziegler-Nichols.

I. PENDAHULUAN

Pengendali *Proporsional Integral Derivative* (PID) merupakan pengendali konvensional yang masih banyak digunakan dalam dunia industri dibandingkan jenis kendali lain yang lebih modern.

Dalam merancang pengendali PID ada 3 parameter yang harus ditentukan, yaitu: K_p , K_i , dan K_d , tujuannya adalah untuk mendapatkan respon sistem yang optimal sesuai dengan spesifikasi perancangan yang diinginkan. Teknik penalaan PID ada beberapa metode diantaranya metode Ziegler-Nichols, metode Fuzzy, dan metode Astrom-relay. Kebanyakan metode ini membutuhkan pengetahuan yang luas tentang sistem kontrol. Sehingga perlu ada alternatif untuk otomatisasi penalaan dan praktisi tidak memerlukan basis pengetahuan ilmu kontrol yang terlalu dalam.

Pada Tugas Akhir ini, Algoritma Genetik digunakan untuk menentukan parameter pengendali PID sehingga pengendali dapat menghasilkan tanggapan sistem yang baik (*satisfactory response*), khususnya pada kasus-kasus *plant* sampel yang memiliki orde tinggi plus transportasi lag (*transport lag/pure time delay*). Algoritma Genetik merupakan suatu teknik optimasi berbasis evolusi alam yaitu melalui proses mutasi, pindah silang dan seleksi. Setelah mendapatkan model sistem, Algoritma Genetik digunakan secara *off-line* dengan simulasi untuk menentukan parameter pengendali PID. Ketiga parameter yang tidak diketahui yaitu K_p , K_i , dan K_d akan dikode sebagai kromosom [5] dalam kode biner dan akan dievaluasi dengan suatu fungsi fitness yang berbasis indeks performansi ITAE dan lonjakan maksimum. Setelah kriteria terminasi terpenuhi kromosom dengan fitness terbaik akan didekode menjadi parameter K_p , K_i , K_d .

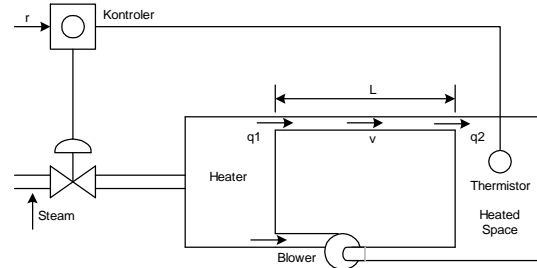
Hasil-hasil yang diperoleh pada pengujian dan simulasi akan dibandingkan dengan Metoda *PID Tuning for Improved Performance* [11] dan Metoda Ziegler-Nichols.

II. DASAR TEORI

A. Sistem dengan Elemen Transportasi Lag

Beberapa sistem memiliki elemen waktu mati, waktu tunda atau kelambatan transportasi (*transport lag*) yang tidak dapat dihindari dalam aliran sinyal antar komponen-komponennya. Waktu tunda tersebut biasanya terjadi akibat adanya pemisahan secara fisik komponen-komponen yang terdapat dalam suatu sistem, sehingga terdapat tundaan antara perubahan pada variabel yang digunakan dan pengaruhnya terhadap *plant* atau terhadap elemen pengukuran.

Gambar 1 menunjukkan suatu sistem pengaturan suhu berupa udara panas yang disirkulasikan untuk menjaga temperatur suatu ruang agar konstan [10].



Gambar 1 Sistem pengaturan suhu dengan elemen transportasi lag dalam arah maju.

Pada sistem ini elemen ukur, yaitu *thermistor* dipasang pada bagian hilir sejauh L m dari elemen pemanas, dan jarak ini cukup panjang. Bila kecepatan udara dalam pipa v m/det, maka tundaan sebesar $T=L/v$ detik akan berlalu sebelum setiap perubahan temperatur udara yang meninggalkan elemen pemanas dirasakan oleh elemen ukur. Waktu tunda dalam pengukuran, waktu tunda dari aksi pengendali, atau waktu tunda dari operasi aktuator dan sebagainya disebut waktu mati atau kelambatan transportasi.

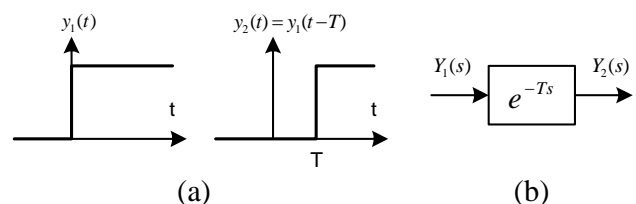
Masukan $x(t)$ dan keluaran $y(t)$ dari suatu elemen transportasi lag direlasikan oleh:

$$y(t) = x(t - T) \quad (1)$$

di mana T adalah transportasi lag. Fungsi alih dari elemen transportasi lag diberikan oleh:

$$\frac{\mathcal{L}[x(t - T)I(t - T)]}{\mathcal{L}[x(t)I(t)]} = \frac{X(s)e^{-Ts}}{X(s)} = e^{-Ts} \quad (2)$$

Hubungan antara *input* dan *output* elemen transportasi lag terhadap masukan tangga satuan diperlihatkan pada Gambar 2.

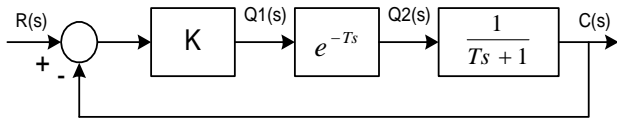


Gambar 2 (a) Tanggapan waktu input dan output.
(b) Diagram blok elemen transportasi lag.

¹ Mahasiswa Teknik Elektro Undip

² Staf Pengajar Teknik Elektro Undip

Misalkan *plant* pada Gambar 1 dimodelkan sebagai sistem orde pertama dan pengendali yang digunakan adalah pengendali proporsional, maka diagram blok sistem pengaturan suhu ditunjukkan pada Gambar 3.

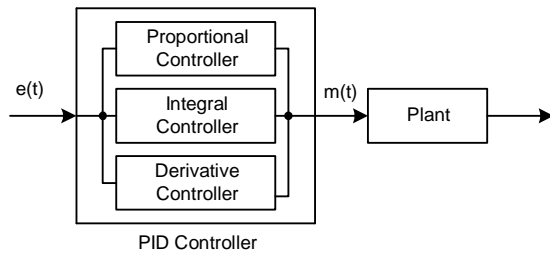


Gambar 3 Diagram blok kendali proporsional pada *plant* orde satu (sistem pengendali suhu).

Aliran udara panas dari elemen pemanas adalah $q_1(t)$ dan pengaruhnya pada *plant* adalah $q_2(t)$. Sehingga, $q_2(t) = q_1(t - T)$ atau $Q_2(s) = e^{-Ts} Q_1(s)$.

B. Konsep Dasar Pengendali Proporsional-Integral-Turunan (PID)

Pengendali PID merupakan gabungan dari tiga macam pengendali, yaitu pengendali proporsional (*Proportional Controller*), pengendali Integral (*Integral Controller*), dan pengendali turunan (*Derivative Controller*). Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem di mana masing-masing pengendali akan saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing. Gambar 4 menunjukkan diagram blok pengendali PID.



Gambar 4 Diagram blok pengendali PID secara umum.

Persamaan umum pengendali PID diberikan oleh

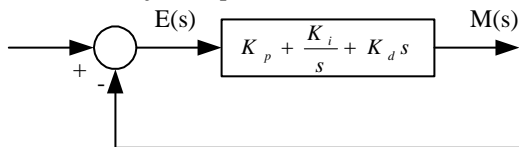
$$m(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Fungsi alih menggunakan transformasi Laplace adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (4)$$

Diagram blok pengendali PID dengan fungsi alih pada Persamaan (4) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram blok fungsi alih pengendali PID.

B.1 Pengendali Proporsional

Pada pengendali proporsional, besarnya keluaran selalu sebanding dengan besarnya masukan sesuai dengan konstanta pembanding tertentu. Dalam sistem pengaturan loop tertutup, pengendali proporsional digunakan untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak sehingga mempercepat keluaran sistem

untuk mencapai titik referensi. Persamaan umum sinyal keluaran pengendali proporsional adalah

$$m(t) = K_p e(t) \quad (5)$$

dengan $e(t)$ adalah sinyal kesalahan penggerak.

Sedangkan fungsi alihnya adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (6)$$

Pada keadaan tunak, keluaran sistem dengan pengendali proporsional masih terdapat *offset*, artinya keluaran yang dihasilkan tidak sama dengan nilai referensinya.

B.2 Pengendali Integral

Pengendali integral digunakan untuk menghilangkan *offset* pada keadaan tunak. *Offset* biasanya terjadi pada *plant* yang tidak mempunyai faktor integrasi ($1/s$). Sifat dari pengendali integral adalah dapat menghasilkan keluaran pada saat masukan sama dengan nol. Pada pengendali integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$, sehingga

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (7)$$

atau

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (8)$$

dengan K_i adalah konstanta yang dapat diatur, dan $e(t)$ adalah sinyal kesalahan penggerak. Fungsi alih pengendali integral adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (9)$$

Pengendali integral mampu menghilangkan *offset* pada keadaan tunak.

B.3 Pengendali Turunan (*Derivative*)

Pengendali turunan memberikan respon terhadap laju perubahan sinyal kesalahan penggerak dan dapat menghasilkan koreksi berarti sebelum sinyal kesalahan penggerak menjadi terlalu besar. Jadi, pengendali turunan mendahului sinyal kesalahan penggerak, mengawasi aksi koreksi dini, dan cenderung memperbesar kestabilan sistem.

Walaupun pengendali turunan tidak mempengaruhi kesalahan keadaan tunak secara langsung, akan tetapi menambah redaman sistem sehingga memungkinkan penggunaan harga penguatan K yang lebih besar sehingga akan memperbaiki ketelitian keadaan tunak.

Persamaan keluaran untuk pengendali turunan adalah

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (10)$$

Fungsi alih pengendali turunan adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d s \quad (11)$$

C. Algoritma Genetik

Algoritma genetik adalah suatu metoda optimisasi yang memodelkan mekanisme seleksi alam. Pencarian solusi penyelesaian dilakukan dengan iterasi untuk mengatur populasi individu kandidat solusi yang direpresentasikan dalam bentuk string.

Algoritma genetik mengevaluasi dan memanipulasi string-string individu dengan operator genetika sehingga

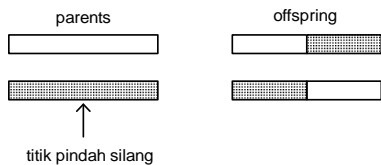
dihasilkan individu baru yang meningkat kualitasnya untuk generasi selanjutnya. Tiga operator dasar yang sering digunakan adalah reproduksi, pindah silang, dan mutasi.

1. Reproduksi

Reproduksi adalah proses penyalinan string individu sesuai dengan nilai fitnessnya. Setiap individu dalam populasi pada suatu generasi akan diseleksi berdasarkan nilai fitnessnya. Probabilitas terpilihnya satu individu untuk bereproduksi adalah sebesar nilai fitness individu tersebut dibagi dengan jumlah nilai fitness seluruh individu dalam populasi. Banyak salinan satu individu sebanding dengan nilai fitness individu tersebut. Sehingga individu dengan nilai fitness lebih besar akan diproduksi lebih banyak. Salah satu cara mengimplementasikan proses reproduksi adalah dengan piringan rolet.

2. Pindah Silang

Pindah silang bertujuan menambah keanekaragaman individu dalam populasi dengan mengawinkan individu-individu dalam populasi (P_t) sehingga menghasilkan keturunan berupa individu-individu baru untuk ditempatkan pada populasi (P_{t+1}). Individu baru akan memiliki bagian dari struktur kedua orang tuanya. Gambar 6 menunjukkan proses pindah silang pada satu titik dari sepasang *parent* hingga diperoleh sepasang individu baru hasil pindah silang (*offspring*).



Gambar 6. Proses pindah silang satu titik.

3. Mutasi

Melalui mutasi individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih gen pada individu yang sama. Mutasi memastikan bahwa probabilitas untuk pencarian dalam sembarang wilayah dalam ruang persoalan tidak akan pernah nol dan mencegah hilangnya materi genetik setelah reproduksi dan pindah silang. Gambar 7 menunjukkan individu/kromosom yang termutasi.

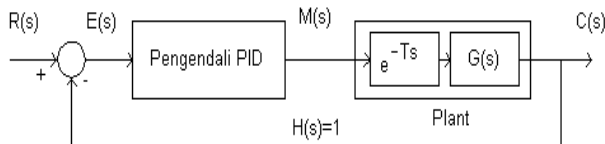


Gambar 7. Kromosom yang mengalami mutasi pada bit ke empat.

III. PERANCANGAN

A. Pemodelan Sistem

Gambar 8 menunjukkan diagram blok sistem pengaturan lup tertutup menggunakan pengendali PID pada plant orde tinggi plus transportasi lag.



Gambar 8 Diagram blok pengendali PID pada plant orde tinggi dengan transportasi lag.

Menurut persamaan (4) fungsi alih pengendali PID adalah:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = G_c(s) \tag{12}$$

Bila fungsi alih plant didefinisikan sebagai $G_p(s) = e^{-Ts} \times G(s)$ maka fungsi alih lup tertutup Gambar 8 adalah:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \tag{13}$$

dimana persamaan (13) tersebut merupakan persamaan yang mengandung parameter K_p, K_i dan K_d. Apabila parameter tersebut diketahui maka akan didapatkan respon sistem dengan melakukan transformasi laplace balik dari persamaan:

$$C(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \times R(s) \tag{14}$$

dimana R(s) adalah fungsi tangga satuan.

B. Pemilihan Plant

Pada tugas akhir ini plant yang digunakan untuk pengujian dan simulasi adalah plant sampel orde tinggi dengan transportasi lag. Plant sampel tersebut diambil dari pustaka nomor 11, yaitu:

1. $Gp(s) = \frac{e^{-2s}}{(s+3)^3}$
2. $Gp(s) = \frac{e^{-0.5s}}{(s+1)(s+5)^2}$
3. $Gp(s) = \frac{e^{-0.3s}}{(s^2+2s+3)(s+3)}$
4. $Gp(s) = \frac{e^{-0.1s}}{(s^2+s+1)(s+2)}$
5. $Gp(s) = \frac{e^{-0.3s}}{(s^2+2s+3)^3(s+3)}$
6. $Gp(s) = \frac{e^{-0.1s}}{(s^2+s+1)(s+2)^2}$

C. Fungsi Obyektif dan Fungsi Fitness

Fungsi obyektif sangat menentukan performansi algoritma genetik karena akan menghubungkan sistem dengan algoritma genetik. Fungsi obyektif yang digunakan dalam penalaan parameter PID ditunjukkan persamaan (15).

$$f = \min(ITAE + OS) \tag{15}$$

dengan : $ITAE = \int_{t=0}^{\infty} t|e(t)|dt$

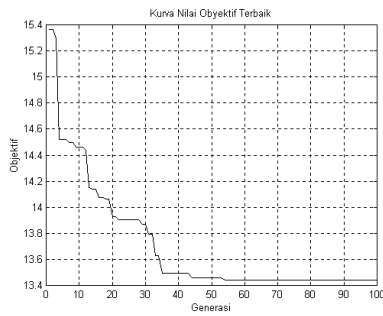
OS = lonjakan maksimum

Nilai obyektif yang diperoleh disebut *raw fitness*, bila nilai obyektif digunakan secara langsung tanpa penskalaan maka ada tendensi individu super akan mendominasi proses seleksi sehingga pencarian akan konvergen secara cepat, kompetisi pencarian tidak ketat dan hasilnya tidak begitu bagus. Penskalaan yang digunakan adalah metoda rangking secara linier dengan *selective pressure* 2 yaitu *default* rangking menurut [1].

- D. Penentuan Parameter genetik
 Parameter genetik yang ditentukan disini merupakan nilai parameter yang dijadikan acuan untuk simulasi dan pengujian.
1. Generasi
 Banyaknya generasi adalah 100 generasi.
 2. Populasi
 Berdasarkan pustaka nomor 6 populasi didefinisikan menjadi 2 jenis yaitu populasi 30 individu dan sebanyak 100 individu. Banyaknya populasi yang dijadikan acuan adalah 30 individu tiap populasi.
 3. Probabilitas pindah silang
 Berdasarkan pustaka nomor 6 untuk populasi 30 maka besarnya probabilitas pindah silang yang adalah 0.9.
 4. Probabilitas mutasi
 Berdasarkan pustaka nomor 6 untuk populasi 30 maka besarnya probabilitas mutasi yang digunakan adalah 0.01.
 5. Gap antar generasi (GGAP)
 Berdasarkan contoh implementasi *Simple Genetic Algorithm* pada pustaka nomor 1 maka GGAP = 0.9.
 6. Penentuan *range* optimasi parameter
 Penentuan *range*, $[U_{min}, U_{max}]$, dilakukan secara *trial and error*. Besar *range* untuk setiap plant berbeda-beda, tetapi *range* optimasi selalu dimulai dari 0 ($U_{min} = 0$) karena nilai parameter K_p , K_i , dan K_d tidak mungkin negatif.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

- A. Plant No. 1
 Hasil simulasi untuk plant no. 1 adalah sebagai berikut:



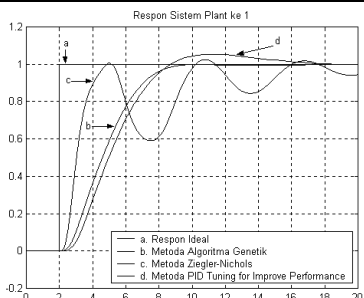
Gambar 9 Performansi algoritma genetik pada plant no. 1.

Pada gambar 9 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 15.365. Pada generasi ke 57, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 57 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 13.440.

TABEL I

PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK PLANT NO. 1.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	97.852	58.621	178.1973
K_i	56.204	49.782	49.1927
K_d	50.049	22.094	161.3771

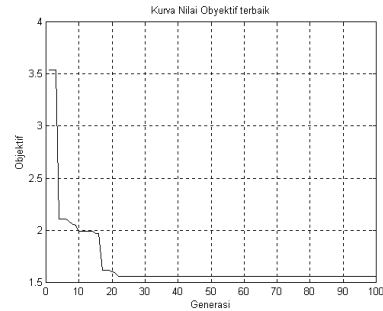


Gambar 10 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup plant no.1.

TABEL II
 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM PLANT NO.1

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	8.97	16.4	tidak settling
Lonjakan Maksimum (%)	0.00	5.50	tidak settling

- B. Plant No. 2
 Hasil simulasi untuk plant no. 2 adalah sebagai berikut:

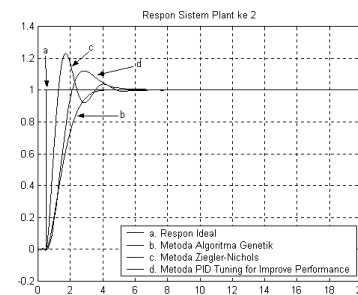


Gambar 11 Performansi algoritma genetik pada plant no. 2.

Pada gambar 11 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 3.5363. Pada generasi ke 25, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 25 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 1.5558.

TABEL III
 PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK PLANT NO. 2.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	19.746	26.995	44.8390
K_i	15.616	21.067	32.3760
K_d	3.3236	6.4520	15.5249

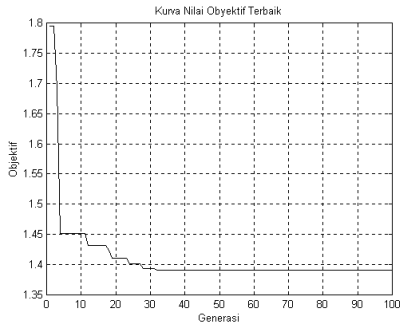


Gambar 12 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup plant no.2.

TABEL IV
 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM PLANT NO.2

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	3.58	5.0	4.66
Lonjakan Maksimum (%)	0.0028%	12.1 %	22.9156 %

- C. Plant No. 3
 Hasil simulasi untuk plant no. 3 adalah sebagai berikut:

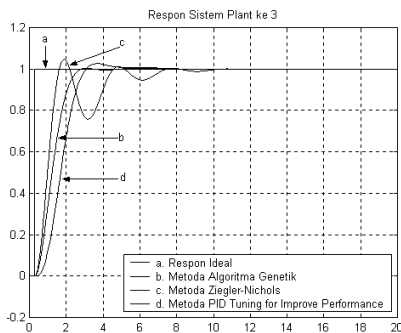


Gambar 13 Performansi algoritma genetik pada *plant* no. 3.

Pada gambar 13 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 1.7949 Pada generasi ke 32, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 32 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 1.3905.

TABEL V
PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK *PLANT* NO. 3.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	3.6070	3.885	9.7762
K_i	5.4448	5.388	6.5499
K_d	1.6422	2.153	3.6479



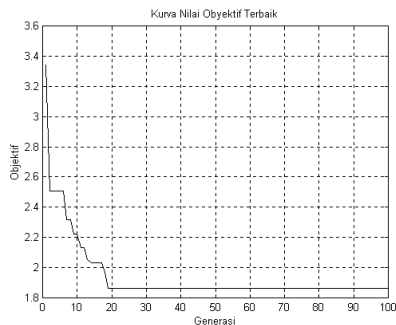
Gambar 14 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup *plant* no.3.

TABEL VI
PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM *PLANT* NO. 3

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	2.62	5.3	9.47
Lonjakan Maksimum (%)	0.3526 %	3.2 %	4.6620 %

D. *Plant* No. 4

Hasil simulasi untuk *plant* no. 4 adalah sebagai berikut:

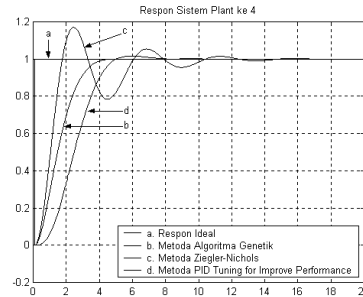


Gambar 15 Performansi algoritma genetik pada *plant* no. 4.

Pada gambar 15 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 3.3409. Pada generasi ke 19, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 19 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 1.8646.

TABEL VII
PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK *PLANT* NO. 4.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	0.54839	0.785	3.2647
K_i	0.74976	0.797	1.6294
K_d	0.06117	0.922	1.6354



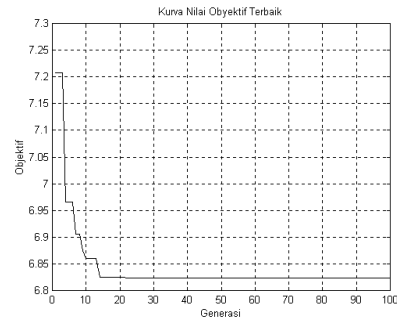
Gambar 16 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup *plant* no. 4.

TABEL VIII
PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM *PLANT* NO. 4

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	4.04	7.1	13.72
Lonjakan Maksimum (%)	0.1093 %	2.3 %	16.9011%

E. *Plant* No. 5

Hasil simulasi untuk *plant* no. 5 adalah sebagai berikut:

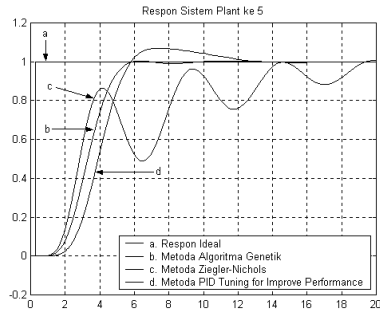


Gambar 17 Performansi algoritma genetik pada *plant* no. 5.

Pada gambar 17 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 7.207. Pada generasi ke 22, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 22 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 6.8238.

TABEL IX
PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK *PLANT* NO. 5.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda PID Tuning for Improved Performance	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	17.986	17.562	43.1985
K_i	20.308	22.485	14.3701
K_d	8.5288	14.130	32.4652

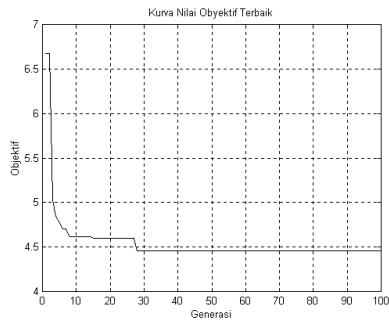
Gambar 18 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup *plant* no. 5.

TABEL X
PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM
PLANT No. 5

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda <i>PID Tuning for Improved Performance</i>	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	5.59	12.0	tidak settling
Lonjakan Maksimum (%)	0.4449%	7.2%	tidak settling

F. *Plant* No. 6

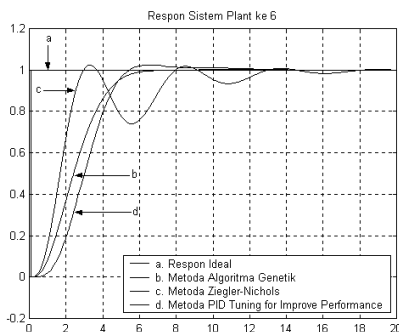
Hasil simulasi untuk *plant* no. 6 adalah sebagai berikut:

Gambar 19 Performansi algoritma genetik pada *plant* no. 6.

Pada gambar 19 terlihat bahwa generasi pertama menghasilkan nilai obyektif sebesar 6.6788 kemudian pada generasi ke 8 nilai obyektif yang dihasilkan adalah 4.6188. Pada generasi ke 28, Algoritma Genetik menemukan solusi optimal hal itu terlihat dari nilai obyektif yang diperoleh sama mulai generasi ke 28 sampai generasi ke 100. Nilai obyektif terbaik adalah 4.4609.

TABEL XI
PERBANDINGAN PARAMETER PID UNTUK *PLANT* No. 6.

Parameter Pengendali PID	Metoda Algoritma Genetik	Metoda <i>PID Tuning for Improved Performance</i>	Metoda Ziegler-Nichols
K_p	1.7204	1.503	4.2331
K_i	1.5543	1.366	1.6277
K_d	1.4467	1.715	2.7522

Gambar 20 Grafik tanggapan waktu sistem lup tertutup *plant* no. 6.

TABEL XII
PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TANGGAPAN WAKTU SISTEM
PLANT No. 6

Karakteristik	Metoda Algoritma Genetik	Metoda <i>PID Tuning for Improved Performance</i>	Metoda Ziegler-Nichols
Waktu Mantap 1% (detik)	5.98	9.4	17.09
Lonjakan Maksimum (%)	0.2527 %	3.0 %	2.4967 %

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa terhadap 6 buah sampel *plant* orde tinggi plus transportasi *lag*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Interval optimasi penalaan parameter PID, $[U_{min}, U_{max}]$, setiap kasus tidak bisa disamakan, nilai U_{max} tergantung dari jenis *plant* yang digunakan sementara nilai U_{min} untuk semua *plant* sama yaitu 0.
- Algoritma genetik untuk penalaan parameter pengendali PID ini dengan jumlah generasi 100 sudah bisa menemukan solusi optimal global, untuk *plant* ke 1 pada generasi ke 57, untuk *plant* ke 2 pada generasi ke 25, untuk *plant* ke 3 pada generasi ke 32, untuk *plant* ke 4 pada generasi ke 19, untuk *plant* ke 5 pada generasi ke 22, dan untuk *plant* ke 6 pada generasi ke 28.
- Metoda Algoritma Genetik memberikan hasil sistem yang memiliki waktu mantap lebih cepat dan lonjakan maksimum yang lebih kecil dibandingkan metoda *PID Tuning for Improvement Performance* dan Metoda Ziegler-Nichols untuk semua jenis *plant* yang digunakan dalam simulasi.
- Ditinjau dari waktu naik maka metoda Algoritma Genetik menghasilkan sistem dengan waktu naik yang lebih baik dibandingkan metoda *PID Tuning for Improvement Performance* untuk *plant* 1, 3, 4, 5, dan 6 sedangkan metoda Ziegler-Nichols lebih baik dibanding metoda Algoritma Genetik untuk semua *plant*.

B. Saran

- Penentuan besar parameter genetik sebaiknya mengikuti *guideline* yang ada mengingat penentuan ini merupakan persoalan optimasi tersendiri yang rumit.
- Operator genetika yang digunakan dalam penelitian ini merupakan operator genetika yang dasar, untuk itu bisa ditingkatkan lagi dengan operator genetika yang *advance*.
- Penelitian ini hanya bersifat simulasi atau *off-line*, untuk penelitian lebih lanjut bisa dilakukan secara *on-line*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chipperfield, Andrew., *Genetic Algorithm Toolbox User's Guide*, Version 1.2, Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield.
- Davis, L., *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- Goldberg, David E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1989.
- Hassul, Michael dan Bahram Shahian, *Control System Design Using Matlab*, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- Jones, AH, Dr and Olievera, Moura, *Genetic Auto-Tuning of PID Controllers*, Genetic Algorithms in Engineering System: Innovations and Applications 12-14 September 1995, Conference Publication No. 414, @IEEE, 1995.
- Man, K.F., K.S. Tang, S.Kwong, W.A. Halang, *Genetic Algorithms for Control and Signal Processing*, Springer-Verlag London, 1997.

- [7] Michalewicz, Zbigniew., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Third, revised and Extended Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1995.
- [8] Ogata, Katsuhiko, *System Dynamics*, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [9] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1*, Penerbit Erlangga. Jakarta, 1995.
- [10] Palm, William J. III, *Modelling, Analysis, and Control of Dynamic Systems*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- [11] Wang, Qing-Guo, Tong-Heng Lee, Ho-Wang Fung, Qiang Bi, dan Yu Zhang, *PID Tuning for Improved Performance*, IEEE Transaction on Control System Technology, Vol.7, No.4, July 1999.
- [12] www.d.umn.edu/lis/ga



Dwi Joko Pramudito W.A. lahir di Batang 19 Juli 1979. Lulus dari SMU Negeri 1 Pekalongan pada tahun 1997 dan lolos seleksi UMPTN 1997 untuk melanjutkan kuliah di Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan konsentrasi kontrol. E-mail: wied97@yahoo.com

Mengetahui
Pembimbing II

Aris Triwiyatno, ST
NIP 132 230 559