

Analisis Tuning Parameter PID Menggunakan Algoritma Genetika pada Pengontrolan Kecepatan Motor DC

Nurhayati A.¹, St. Nawal Jaya², Achmad Nur Aliyansyah³, Luther Pagiling⁴,
Wa Ode Siti Nur Alam⁵, Muh. Nadzirin Anshari Nur⁶

[Submission: 12-10-2022, Accepted: 09-11-2022]

Abstract— The DC motors often experiences rotational speed instability due to disturbance. To overcome this, PID control can be applied to stabilize the speed. PID control is a combination of proportional, integral, and derivative controls. To achieve good performance, it is necessary to tune these parameters using several methods, such as genetic algorithm. The genetic algorithm works by forming a population of individuals that potentially can produce optimal solutions judged by the fitness value. Several parameters are used in genetic algorithms such as population size, number of generations, crossover probability, and mutation probability. This study aims to analyze the genetic algorithm method for tuning PID control parameters in controlling the rotational speed of the DC motor. The results obtained genetic algorithm parameters with population size and the number of generations of 70, crossover probability of 0.9, mutation probability of 0.4 and a fitness value of 6.261e+18. PID parameters with value of $K_p = 9.4429$; $K_i = 19.3255$ and $K_d = 0.45602$ and system response with rise time value of 0.1212 s, settling time of 0.2562 s, overshoot of 0.0366% and steady-state error of 0.1739%. With these PID parameters, the DC motor can follow the setpoint at constant and changing load values.

Keyword — Motor DC, PID, control system, algoritma genetika.

Intisari— Pengaplikasian motor DC sering mengalami ketidakstabilan kecepatan putaran akibat adanya pembebanan saat dioperasikan. Untuk mengatasinya kontrol PID dapat diaplikasikan untuk menstabilkan kecepatan. Kontrol PID merupakan kombinasi dari pengendalian *proportional*, *integral* dan *derivative*. Untuk mendapatkan performa yang baik diperlukan penalaan (*tuning*) ketiga parameter ini menggunakan beberapa metode, salah satunya algoritma genetika. Algoritma genetika bekerja dengan membentuk populasi dari beberapa individu yang berpotensi menghasilkan solusi optimal dinilai dari nilai ketahanannya (*fitness*). Beberapa parameter digunakan dalam algoritma genetika seperti ukuran populasi, jumlah generasi, probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode algoritma genetika untuk *tuning* parameter kontrol PID pada pengontrolan kecepatan putaran motor DC. Hasil pengujian diperoleh parameter algoritma genetika dengan ukuran populasi dan jumlah generasi sebesar 70, probabilitas *crossover* sebesar 0,9 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4 dengan nilai *fitness* sebesar

6,261e+18. Parameter kontrol PID dengan nilai $K_p = 9,4429$; $K_i = 19,3255$ dan $K_d = 0,45602$ dan respon sistem dengan nilai *rise time* sebesar 0,1212 s, *settling time* sebesar 0,2562 s, *overshoot* sebesar 0,0366 % dan *steady-state error* sebesar 0,1739 %. Dengan parameter kontrol PID ini motor DC mampu bekerja mengikuti setpoint baik pada keadaan nilai beban yang tetap maupun berubah.

Kata Kunci— Motor DC, PID, sistem kontrol, algoritma genetika.

I. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan perangkat elektromagnetis yang saat ini skala penggunaannya sangat luas, mencakup bidang industri, robotika, hingga peralatan rumah tangga [1]. Hal ini tidak lepas dari keunggulan motor DC seperti memiliki pengoperasian yang mudah, torsi awal yang tinggi, serta sistem pengontrolan yang lebih sederhana dan ekonomis [2]. Namun dalam pengoperasiannya, kecepatan putaran pada motor DC dapat mengalami penurunan akibat pembebanan. Untuk mengatasinya dapat dilakukan dengan mengatur masukan tegangan untuk menjaga kestabilan kecepatan putaran [3]. Maka dari itu diperlukan sistem pengendali yang mampu mempertahankan kinerja motor DC agar tetap stabil.

Sistem pengendalian sangat penting guna mengoptimalkan kinerja atau performa sebuah sistem, mengurangi *human error* serta mengefisienkan waktu pengoperasian [4]. Pengendali PID digunakan secara luas dalam kontrol proses. Sekitar 95% operasi *closed-loop* pada bidang otomasi menggunakan pengontrol PID [5]. Kontrol PID merupakan pilihan yang paling baik karena memiliki struktur yang simpel, efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pengaplikasiannya. Kontrol PID merupakan kombinasi dari tiga parameter pengendalian yaitu *proportional*, *integral* dan *derivative* [6]. Kontrol PID bekerja menggunakan mekanisme umpan balik untuk mengoreksi penyimpangan nilai aktualnya terhadap setpoint [7]. Untuk mendapatkan performa yang diinginkan diperlukan penalaan (*tuning*) ketiga parameter pengendalian ini. Terdapat beberapa metode tuning parameter PID seperti *trial and error*, Ziegler Nichols, *Coefficient Diagram Method* (CDM), *Fuzzy Tuning*, *Neural Network* dan *Intelligent Search Algorithm*. Namun beberapa metode tersebut masih memiliki kelemahan seperti *trial and error* yang kurang efektif dan tidak memiliki prosedur standar, Ziegler Nichols yang masih menghasilkan *overshoot* tinggi, atau metode Fuzzy yang rumit untuk didesain terutama untuk sistem yang tidak memiliki data eksperimen terdahulu [8].

Intelligent search algorithm merupakan metode tuning lainnya yang bekerja dengan melakukan iterasi berulang untuk mendapatkan nilai parameter terbaik. Kelebihan metode ini

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Jl. HEA Mokodompit Kendari 93132 INDONESIA (e-mail: nurhayati.elektro@gmail.com)

²⁻⁶Dosen, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Jl. HEA Mokodompit Kendari 93132 INDONESIA (e-mail: stnawaljaya@uho.ac.id, ahmadnuraliansyah@uho.ac.id, lutherpagiling@uho.ac.id, wdsitinuralam@uho.ac.id, nadzirin@uho.ac.id)



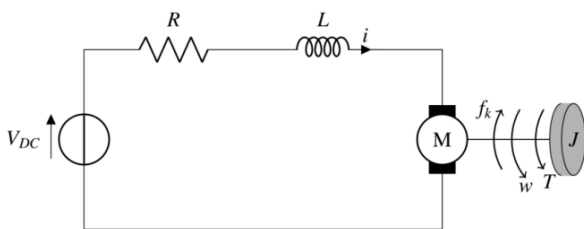
yaitu mampu menyelesaikan permasalahan yang kompleks [8]. Algoritma genetika sebagai salah satunya telah banyak digunakan dalam optimasi permasalahan termasuk dalam sistem pengontrolan. Algoritma ini bekerja dengan membentuk populasi dari beberapa solusi yang potensial dinilai dari nilai ketahanan (*fitness*) masing-masing individu [9]. Algoritma genetika mampu menyelesaikan persoalan yang tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan matematika biasa dan memberikan hasil yang baik untuk permasalahan optimasi [10]. Teknik pencarian ini meniru proses evolusi dimana sekumpulan calon solusi yang memiliki nilai ketahanan terbaik akan bereproduksi dan bermutasi untuk menghasilkan generasi selanjutnya. Proses ini akan terus berlanjut dimana tiap individu pada tiap generasi akan dilakukan evaluasi ketahanannya hingga diperoleh hasil yang paling optimal untuk sistem [11].

Penelitian terhadap proses *tuning* PID dengan algoritma genetika yang telah dilakukan menunjukkan respon sistem yang stabil dan mampu meredam gangguan [12]. Penelitian lain juga dilakukan dalam bentuk simulasi terhadap pengontrolan motor DC [13], [14] maupun impelementasinya secara langsung [15] menunjukkan respon sistem yang baik. Pada proses pengontrolan PID dengan algoritma genetika ada beberapa parameter yang harus ditentukan seperti ukuran populasi, probabilitas *crossover*, probabilitas mutasi, probabilitas seleksi, jumlah generasi, metode seleksi dan fungsi *fitness* [9]. Pemilihan parameter ini dapat memberi pengaruh yang signifikan pada performa algoritma genetika untuk menentukan parameter kontrol PID. Selain parameter tersebut pemilihan fungsi *fitness* juga sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh. Pada penelitian [16] *Inverse Integral Squared Error* digunakan sebagai fungsi *fitness* untuk metode *African Buffalo Optimization*-PID (ABO-PID) pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menunjukkan respon sistem yang baik. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan simulasi kontrol PID dengan metode algoritma genetika dengan fungsi *fitness* berupa *Inverse Integral Squared Error* untuk menganalisa performa sistem yang dihasilkan dalam pengontrolan kecepatan motor DC.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor DC

Motor DC merupakan mesin yang menggunakan energi listrik arus searah untuk menghasilkan energi mekanis. Prinsip kerja motor DC yaitu ketika sebuah kumparan yang dialiri arus listrik ditempatkan pada medan magnet maka akan terbentuk gerak putar atau gaya pada kumparan tersebut [17]. Pemodelan sistem motor DC ditunjukkan dalam rangkaian ekuivalen pada gambar 1.



Gambar 1: rangkaian ekuivalen motor DC

Pemodelan motor DC dapat diperoleh dengan analisa secara elektrikal dan secara mekanikal. Secara elektrikal didasarkan pada Hukum Tegangan Kirchhoff (KVL) [8] Persamaannya sebagai berikut :

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + K_e \omega(t) = v(t) \tag{1}$$

Persamaan (1) diubah ke domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace menjadi :

$$I(s) = \frac{V(s) - K_e \omega(s)}{(Ls + R)} \tag{2}$$

Sedangkan secara mekanikal didasarkan pada Hukum Newton II tentang gerak rotasi. Persamaannya sebagai berikut :

$$K_t i(t) - K_b \omega(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \tag{3}$$

Persamaan (3) diubah ke domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace menjadi :

$$K_t I(s) = (Js + K_b) \omega(s) \tag{4}$$

Persamaan (2) disubstitusikan pada (4) sehingga menjadi :

$$K_t V(s) = [(Ls + R)(Js + K_b) + K_t K_e] \omega(s) \tag{5}$$

Sehingga didapatkan fungsi alih antara kecepatan putaran terhadap tegangan kumparan yaitu :

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(Ls+R)(Js + K_b) + K_t K_e} \tag{6}$$

Keterangan :

- V = tegangan jangkar (V)
- V_{emf} = tegangan balik motor (V)
- L = induktansi jangkar (H)
- R = tahanan jangkar (Ω)
- T = torsi motor (Nm)
- J = momen inersia motor (kgm²)
- ω = kecepatan putaran motor (rad/s)
- K_t = konstanta torsi (Nm/A)
- K_b = konstanta gaya gesek (Nm/rad/s)
- K_e = konstanta tegangan balik (V/rad/s)

B. Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan sistem yang mengintegrasikan proses yang akan dikontrol (*plant*), aktuator, sensor dan kontroler untuk mempertahankan keluaran dan unjuk kerja sistem tetap pada nilai yang ditentukan (*setpoint*) [18].

C. Performa Sistem Kontrol

Sebuah sistem memiliki karakteristik atau ciri khusus yang menggambarkan perilaku dinamik sistem atau yang dikenal juga dengan spesifikasi performa sistem. Respon keluaran muncul ketika sistem diberikan suatu sinyal masukan atau

sinyal uji [19]. Untuk mengukur performa sistem kendali, biasanya digunakan beberapa parameter yang diperoleh dari respon transien sistem yaitu karakteristik nilai waktu tunda (*delay time*), waktu naik (*rise time*), waktu puncak (*peak time*), maksimum *overshoot*, waktu tunak (*settling time*), dan *steady-state error* [20].

D. Kontrol PID

Kontroler PID merupakan kontroler yang menggunakan mekanisme umpan balik untuk menetapkan presisi atau ketelitian suatu sistem instrumentasi. Komponen kontrol PID memiliki tiga jenis yaitu kontrol *proportional*, kontrol *integral* dan kontrol *derivative*. Ketiga parameter kontrol ini sangat mempengaruhi karakteristik kontroler PID [21], [22].

1) *Kontrol Proportional (P)*: Kontrol *proportional* adalah pengendali yang menghasilkan output dengan mengalikan konstanta *proportional gain* (K_p) dengan nilai *error*.

2) *Kontrol Integral (I)*: Kontrol *integral* merupakan pengendali yang bekerja dengan mengakumulasi *error* yang terjadi dalam rentang waktu tertentu kemudian mengalikannya dengan sebuah konstanta *integral gain* (K_i).

3) *Kontrol Derivative (D)*: Kontrol *derivative* (D) merupakan pengendali yang memberikan aksi pengendalian dengan mengalikan konstanta *derivative gain* (K_d) dengan laju perubahan sinyal *error*.

4) *Kombinasi Kontrol Proportional, Integral dan Derivative*: Ketiga jenis kontrol PID dapat digabungkan untuk mendapatkan respon output yang lebih baik. Perubahan pada salah satu konstanta dapat mempengaruhi keseluruhan respon sistem. Pengaruh dari masing-masing konstanta PID dirincikan pada tabel 1 [20].

TABEL I
PENGARUH NILAI PARAMETER PID PADA RESPON SISTEM

Parameter	K_p	K_i	K_d
<i>Rise time</i>	menurunkan	menurunkan	berubah sedikit
<i>Settling time</i>	berubah sedikit	meningkatkan	menurunkan
<i>Overshoot</i>	meningkatkan	meningkatkan	menurunkan
<i>Steady-state error</i>	menurunkan	menghilangkan	berubah sedikit

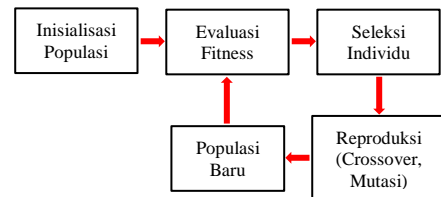
Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa konstanta P bersifat menurunkan nilai *rise time* dan *steady-state error*, mengubah sedikit nilai *settling time* dan meningkatkan *overshoot*. Konstanta I bersifat menurunkan nilai *rise time*, meningkatkan nilai *settling time* dan *overshoot* serta menghilangkan *steady-state error*. Sedangkan konstanta D bersifat mengubah sedikit nilai *rise time* dan *steady-state error* serta menurunkan nilai *settling time* dan *overshoot*. Besarnya keluaran dari kontrol PID merupakan akumulasi dari ketiga pengontrolannya sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

Nurhayati A.: Analisis Tuning Parameter PID...

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{7}$$

E. Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan suatu teknik optimasi dan teknik pencarian yang diadopsi dari proses evolusi alam dan perubahan pada struktur genetika makhluk hidup. John Holland menemukan bahwa algoritma genetika mampu menyelesaikan persoalan yang tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan matematika biasa dan memberikan hasil yang baik untuk permasalahan optimasi [10]. Algoritma genetika berjalan dengan siklus yang diilustrasikan pada gambar 2.



Gambar 2: Siklus algoritma genetika

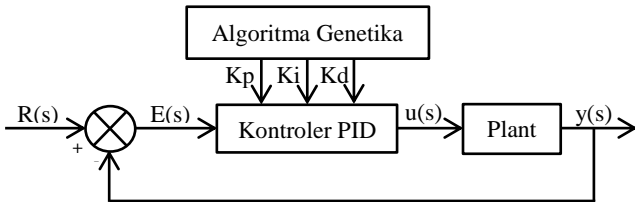
Berdasarkan gambar 2 dapat diuraikan siklus algoritma genetika yang dimulai dengan inisialisasi populasi yaitu pembentukan populasi secara acak yang terdiri atas beberapa individu yang disebut kromosom dimana tiap kromosom merepresentasikan calon solusi yang memiliki potensi untuk penyelesaian masalah. Pada tiap siklus populasi ini akan melalui tahap evaluasi berdasarkan nilai *fitness*-nya, dimana kromosom yang memiliki nilai *fitness* terbaik memiliki peluang besar untuk bertahan pada generasi selanjutnya. Tahap berikutnya yaitu seleksi untuk memilih kromosom-kromosom yang dijadikan sebagai orang tua (*parents*) untuk membentuk kromosom baru. Pada tahap reproduksi kromosom-kromosom yang terpilih sebagai *parents* akan melalui dua operator algoritma genetika, yaitu penyilangan (*crossover*) dan mutasi (*mutation*) yang akan mengubah struktur gen kromosom begitu pula nilai *fitness*-nya. Terakhir yaitu tahap pembentukan populasi baru dimana kromosom-kromosom baru yang terbentuk kemudian akan menggantikan kromosom-kromosom dalam populasi dari generasi sebelumnya. Untuk mencegah terjadinya penurunan nilai *fitness* selama tahap reproduksi kromosom dilakukan prosedur elitisme dengan menyalin kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi sebanyak satu atau dua. Siklus ini akan terjadi berulang dan diharapkan pada generasi selanjutnya kromosom yang terbentuk akan memiliki nilai *fitness* yang semakin baik. Siklus atau proses iterasi akan berhenti ketika tujuan atau persyaratan yang diinginkan terpenuhi [23], [24].

F. Kontroler PID Algoritma Genetika (PID-GA)

Kontroler PID-GA menggunakan metode algoritma genetika dalam mengoptimasi proses *tuning* parameter PID (K_p , K_i dan K_d). Metode optimasi algoritma genetika bekerja dengan



mencari nilai parameter PID terbaik berdasarkan fungsi *fitness* yaitu meminimalkan *error* antara nilai *setpoint* dan nilai aktualnya. Algoritma bekerja dengan mencari nilai awal parameter secara acak dalam batasan ruang pencarian yang ditetapkan dan berhenti ketika memenuhi kondisi *stopping*. Parameter terbaik yang diperoleh kemudian akan diterapkan pada kontroler [14]. Kontroler PID-AG diilustrasikan pada gambar 3.

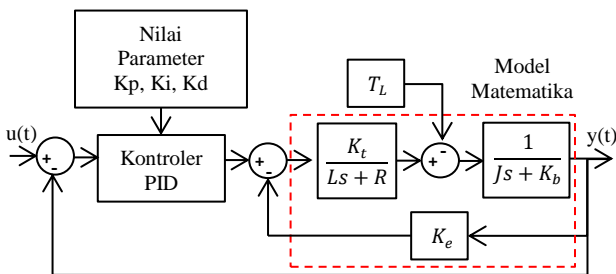


Gambar 3: Diagram blok PID-GA

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Blok Diagram Sistem

Kontrol PID berfungsi untuk mengatur nilai *input* tegangan pada *plant* motor DC. Penentuan nilai sinyal kontrol yang diberikan bergantung pada selisih nilai *error* antara kecepatan referensi (*setpoint*) dengan kecepatan aktualnya. Algoritma genetika digunakan untuk mengoptimasi nilai parameter PID yaitu K_p , K_i dan K_d untuk mendapatkan performa terbaik. Blok model matematika motor DC merupakan gambaran sistem berdasarkan persamaan yang telah dijabarkan pada pembahasan tinjauan pustaka. Blok T_L merupakan gangguan yang diberikan pada *plant* berupa torsi beban dengan nilai tertentu. Blok diagram sistem ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4: Blok diagram sistem

B. Perancangan Sistem Kontrol pada Simulink

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi terhadap *plant* motor DC terkendali jangkar yang digunakan dalam penelitian sebelumnya [25]. Data spesifikasi mengenai motor DC dirincikan pada tabel 2 berikut.

TABEL 2
DATASHEET MOTOR DC

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Tegangan jangkar nominal	Volt	230
2.	Kecepatan nominal	Rpm	1500
3.	Arus jangkar nominal	Ampere	8,5
4.	Daya mekanik	Hp	2
5.	Resistansi jangkar	Ohm	2,45
6.	Induktansi jangkar	Hendry	0,035
7.	Momen inersia	Kgm ² /rad	0,022

Dari parameter daya dan kecepatan nominal motor pada tabel 2 di atas, dapat dihitung nilai torsi yang dihasilkan oleh motor DC dengan persamaan berikut [26].

$$Torsi (ft. lb) = \frac{5252 \times P_{HP}}{Rated\ RPM} \tag{8}$$

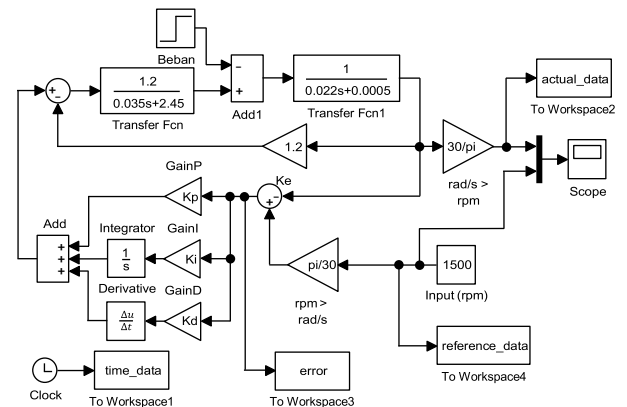
Satuan torsi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Nm, maka perlu dikonversi dengan persamaan berikut.

$$1\ ft.\ lb = 1,356\ Nm \tag{9}$$

Model perancangan diagram blok sistem kontrol motor DC pada *Simulink* dapat diperhatikan pada gambar 5. Sistem diberikan masukan berupa referensi kecepatan sudut sebesar 1500 rpm. Nilai dalam rpm ini dikonversi ke nilai rad/s. Parameter kontrol PID (K_p , K_i dan K_d) diperoleh melalui *tuning* dengan metode optimasi algoritma genetika. Umpun balik dari sistem berupa kecepatan aktual pada motor DC akan dibandingkan dengan kecepatan referensi untuk menghasilkan sinyal dari pengontrolan PID guna menjaga kecepatan motor sesuai dengan *input*. Torsi beban dalam beberapa variasi nilai diberikan sebagai gangguan eksternal pada sistem. Blok *To Workspace* digunakan untuk mengeksport *Scope Simulink* ke *Workspace MATLAB*.

Gambar 5: Rancangan sistem kontrol pada Simulink

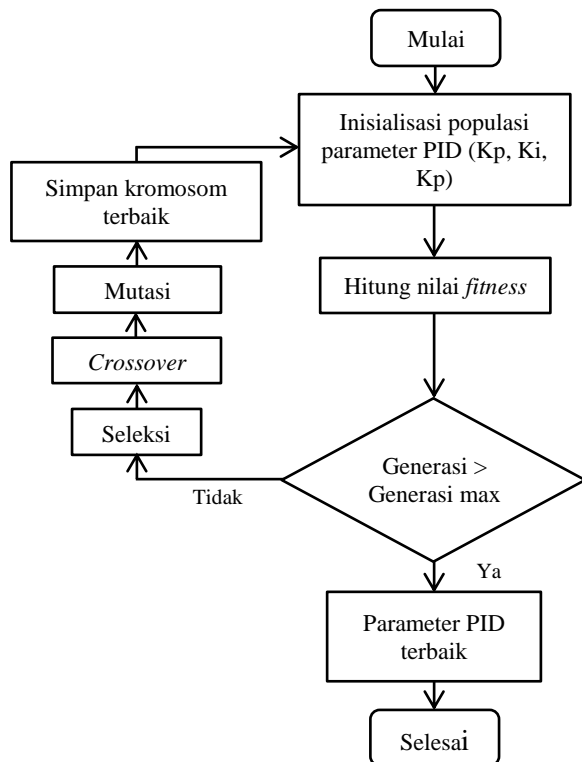
C. Perancangan Program Algoritma Genetika



Program algoritma genetika sebagai metode *tuning* kontrol PID pada penelitian ini dijalankan dengan menggunakan *script coding* pada *editor MATLAB* dengan diagram alir seperti gambar 6. Tiap kromosom dalam populasi algoritma genetika terdiri atas 3 informasi yaitu nilai K_p , K_i dan K_d . Proses pembentukan populasi awal dalam algoritma genetika dilakukan dengan pencarian secara acak dengan pembatasan ruang pencarian berupa nilai batas. Nilai awal ketiga individu akan diperoleh dengan melakukan *tuning* secara *trial and error* digunakan sebagai nilai batas atas. Proses algoritma ini menggunakan dua operator yaitu *crossover* dan mutasi untuk pembentukan populasi baru pada generasi selanjutnya. Tiap generasi akan dilakukan seleksi berdasarkan nilai *fitness* untuk mendapatkan solusi terbaik. Program akan berhenti berjalan ketika mencapai jumlah generasi maksimal.

Fungsi *fitness* yang digunakan yaitu *Inverse Integral Squared Error* dengan persamaan sebagai berikut [16].

$$\int_0^{\infty} t \frac{1}{|e^2|} \Delta t \quad (10)$$

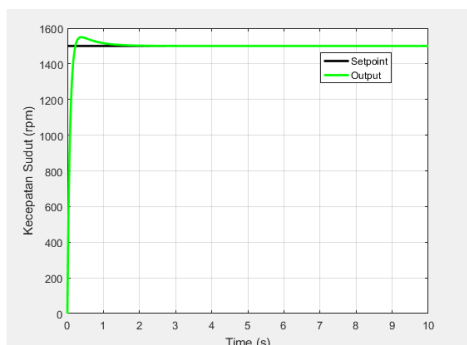


Gambar 6: Diagram alir *tuning* PID-AG

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Kontrol PID pada Sistem

Pada tahap awal percobaan dilakukan proses *tuning* kontrol PID dengan metode *trial and error*. Nilai parameter yang diperoleh yaitu $K_p = 15$; $K_i = 30$ dan $K_d = 1$. Performa sistem yang diperoleh dengan parameter ini dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7: Grafik respon sistem dengan metode *trial and error*

Nurhayati A.: Analisis Tuning Parameter PID...

Grafik respon sistem yang dihasilkan menunjukkan masih terdapat *overshoot* sebesar 3,2928 %, sedangkan nilai *steady-state error* yang dihasilkan sudah kecil sebesar 0,0112%. Nilai *rise time* sebesar 0,1330 s dan *settling time* sebesar 0,6996 s.

B. Simulasi Kontrol PID dengan Metode Algoritma Genetika

Pada tahap ini dilakukan simulasi dengan menggunakan metode *tuning* algoritma genetika untuk memperoleh nilai K_p , K_i dan K_d . Nilai yang diperoleh dari metode *trial and error* digunakan sebagai nilai batas atas dan nilai batas bawah ketiganya sebesar 0,0001. Parameter algoritma genetika yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

TABEL 3
PARAMETER ALGORITMA GENETIKA

Parameter	Tipe/Nilai
Tipe Seleksi	Tournament
Tipe <i>Crossover</i>	<i>Single point</i>
Tipe Mutasi	<i>Bit flip</i>
Ukuran Kromosom	30 bit
Ukuran Populasi	50:70
Jumlah Generasi	50:70
Probabilitas <i>Crossover</i>	0,7;0,8;0,9

Simulasi dilakukan menggunakan enam parameter dengan ukuran populasi, jumlah generasi, probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi yang bervariasi. Tiap kali algoritma dijalankan pada parameter yang sama kemungkinan dapat memberi hasil yang berbeda. Oleh karenanya tiap parameter diuji cobakan sebanyak lima kali untuk mendapatkan nilai *fitness* terbaik.

1) *Parameter Percobaan 1*: Pada parameter percobaan 1, ukuran populasi sebesar 50, jumlah generasi sebesar 50, probabilitas *crossover* sebesar 0,7 dan probabilitas mutasi sebesar 0,3. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 8. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $4,855e+15$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 1 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 8,4605$; $K_i = 14,1936$ dan $K_d = 0,19312$.

2) *Parameter Percobaan 2*: Pada parameter percobaan 2, ukuran populasi sebesar 50, jumlah generasi sebesar 50, probabilitas *crossover* sebesar 0,7 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 9. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $8,469e+15$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 2 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 1,3491$; $K_i = 18,1819$ dan $K_d = 0,2415$.

3) *Parameter Percobaan 3*: Pada parameter percobaan 3, ukuran populasi sebesar 50, jumlah generasi sebesar 50, probabilitas *crossover* sebesar 0,8 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 10. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $2,399e+16$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 3 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 1,3491$; $K_i = 18,1819$ dan $K_d = 0,2415$.

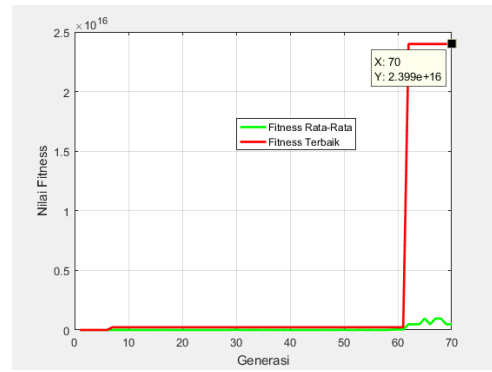


percobaan menggunakan parameter 3 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 1,6716$; $K_i = 22,9619$ dan $K_d = 0,25371$.

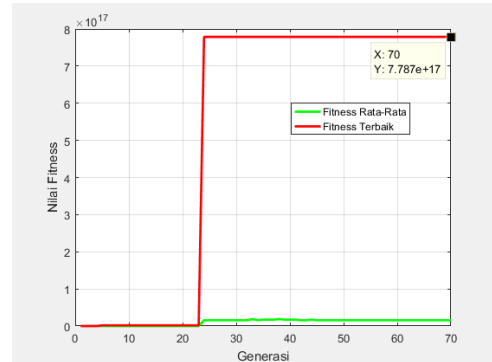
4) *Parameter Percobaan 4*: Pada parameter percobaan 4, ukuran populasi sebesar 50, jumlah generasi sebesar 70, probabilitas *crossover* sebesar 0,9 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 11. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $7,787e+17$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 4 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 4,6188$; $K_i = 20,2053$ dan $K_d = 0,24345$.

5) *Parameter Percobaan 5*: Pada parameter percobaan 5, ukuran populasi sebesar 70, jumlah generasi sebesar 70, probabilitas *crossover* sebesar 0,9 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 12. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $6,261e+18$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 5 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 9,4429$; $K_i = 19,3255$ dan $K_d = 0,45602$.

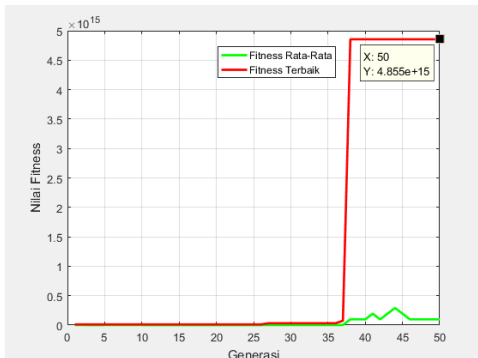
6) *Parameter Percobaan 6*: Pada parameter percobaan 6, ukuran populasi sebesar 70, jumlah generasi sebesar 70, probabilitas *crossover* sebesar 0,9 dan probabilitas mutasi sebesar 0,5. Hasil *running* program ditampilkan dalam bentuk grafik nilai *fitness* pada gambar 13. Grafik menunjukkan nilai *fitness* tertinggi yaitu sebesar $6,341e+17$. Berdasarkan percobaan menggunakan parameter 6 diperoleh hasil *tuning* dengan nilai $K_p = 12,8299$; $K_i = 26,8035$ dan $K_d = 0,41693$.



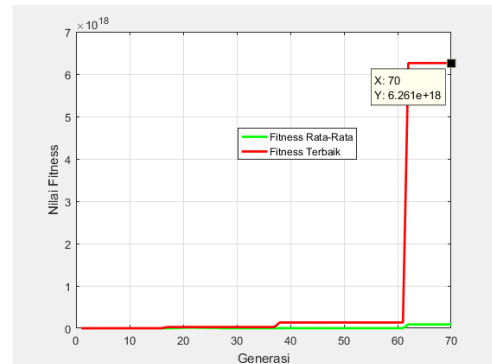
Gambar 10: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 3



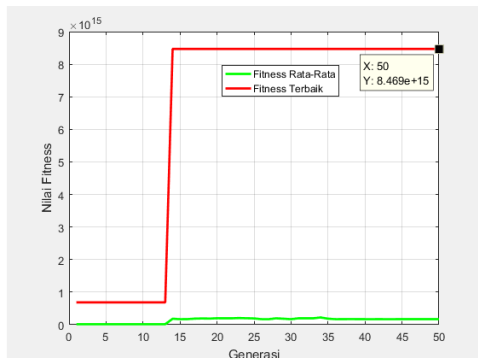
Gambar 11: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 4



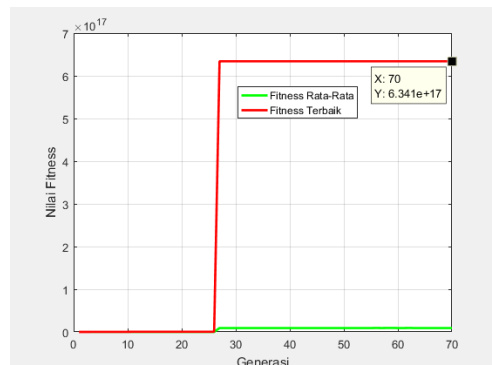
Gambar 8: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 1



Gambar 12: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 5



Gambar 9: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 2

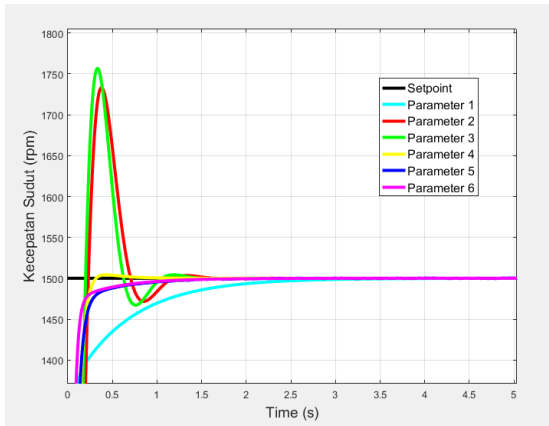


Gambar 13: Grafik nilai *fitness* rata-rata dan *fitness* terbaik parameter 6

C. Simulasi Kontrol PID-AG Tanpa Beban

Pada tahap ini dilakukan simulasi pada sistem tanpa beban dengan menggunakan nilai K_p , K_i dan K_d yang diperoleh dari keenam percobaan sebelumnya. Uji coba dilakukan untuk

mendapatkan parameter yang memberikan respon sistem terbaik saat sistem dijalankan tanpa mendapatkan beban kerja. Grafik respon sistem yang dihasilkan dari hasil *tuning* PID dengan keenam parameter percobaan dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14: Grafik respon sistem dari keenam parameter percobaan

TABEL 4
 PERFORMA SISTEM KEENAM PARAMETER PERCOBAAN

Par.	Kp	Ki	Kd	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)	Steady-state error (%)
1	8,4605	14,1936	0,19312	0,0897	1,0047	0,0992	0,0261
2	1,3491	18,1819	0,2415	0,1725	0,6492	15,5668	0,0260
3	1,6716	22,9619	0,25371	0,1492	0,8118	17,1323	0,0263
4	4,6188	20,2053	0,24345	0,1295	0,2209	0,3170	0,0406
5	9,4429	19,3255	0,45602	0,1212	0,2562	0,0366	0,1739
6	12,8299	26,8035	0,41693	0,0816	0,1783	0,0393	0,2827

Data respon sistem dari keenam parameter percobaan dapat dilihat pada tabel 4. Dari parameter percobaan tersebut diperoleh nilai *rise time* dan *settling time* terbaik pada parameter percobaan keenam sebesar 0,0816 s dan 0,1783 s berturut-turut. Untuk nilai *overshoot* terbaik diperoleh pada parameter percobaan kelima sebesar 0,0366 %. Sedangkan untuk nilai *steady-state error* terbaik diperoleh pada parameter percobaan kedua sebesar 0,0260 %, akan tetapi parameter ini masih menghasilkan *overshoot* yang tinggi sebesar 15,5668 %. Terdapat 2 parameter terbaik pada percobaan ini yaitu parameter 5 dan parameter 6. Untuk percobaan selanjutnya parameter 5 akan digunakan dengan nilai K_p sebesar 9,4429; K_i sebesar 19,3255 dan K_d sebesar 0,45602. Performa sistem yang diperoleh dengan metode algoritma genetika ini kemudian Nurhayati A.: Analisis Tuning Parameter PID...

dibandingkan dengan metode *trial and error* seperti pada tabel 5.

TABEL 5
 PERBANDINGAN PERFORMA SISTEM

Metode Tuning	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)	Steady-state error (%)
Algoritma genetika	0,1212	0,2562	0,0366	0,1739
<i>Trial and error</i>	0,1330	0,6996	3,2928	0,0112

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa hasil *tuning* dengan metode algoritma genetika dapat memberikan nilai *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* yang lebih baik dari metode *trial and error*. Akan tetapi nilai *steady-state error* yang dihasilkan dengan metode algoritma genetika masih lebih besar dibandingkan dengan metode *trial and error*. Secara keseluruhan performa sistem yang dihasilkan dengan metode algoritma genetika mampu memberikan respon sistem yang lebih optimal.

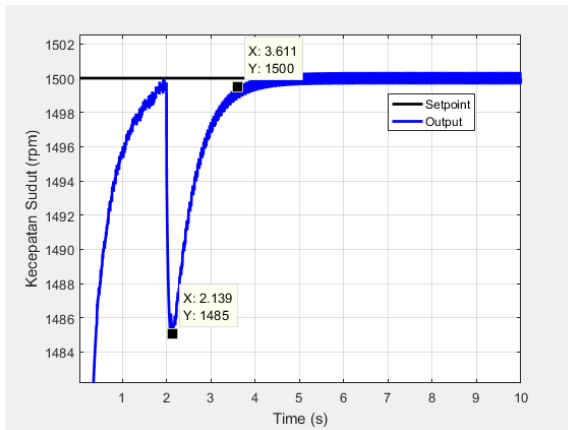
D. Simulasi Kontrol PID-AG dengan Beban

Pada tahap ini dilakukan simulasi dengan memberikan gangguan berupa beban tetap dan beban yang berubah. Parameter kontroler PID yang digunakan yaitu $K_p = 9,4429$; $K_i = 19,3255$ dan $K_d = 0,45602$. Untuk menghitung beban nominal yang diberikan dapat dihitung dengan mengacu pada (8) dan (9) dan *datasheet* motor DC pada tabel 2.

$$\begin{aligned} Torsi &= \frac{5252 \times 2}{1500} = 7,0027 \text{ ft. lb} \\ &= 7,0027 \times 1.356 \\ &= 9,49 \text{ Nm} = 9,5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

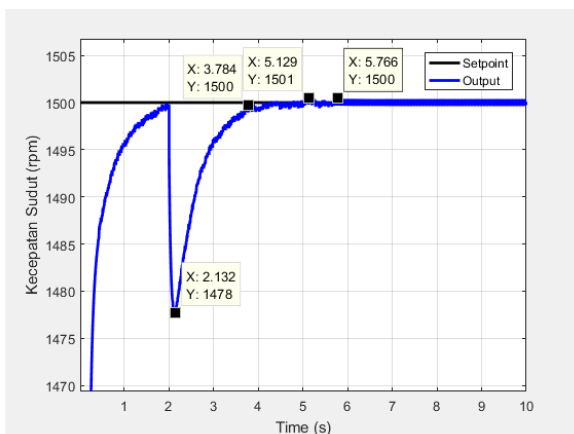
1) *Pemberian Beban Tetap*: Percobaan pertama dilakukan dengan memberikan beban kerja bernilai tetap pada sistem sebesar 9,5 Nm pada saat $t = 2$ s. Respon sistem dapat dilihat pada gambar 15. Grafik menunjukkan ketika beban diberikan terjadi penurunan kecepatan hingga 1485 rpm, berkurang 15 rpm. Kecepatan motor kembali ke nilai *setpoint* pada saat $t = 3,6$ s yang berarti dibutuhkan waktu kurang dari 2 s untuk mencapai kondisi stabil ketika motor diberi beban kerja.





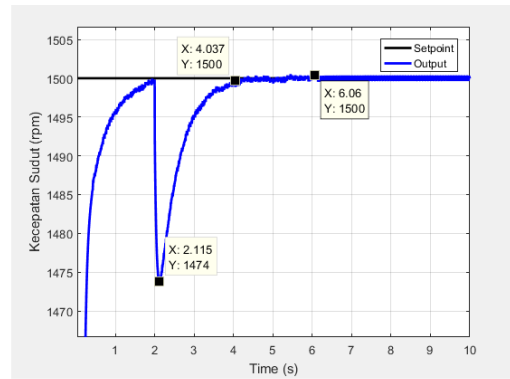
Gambar 15: Respon sistem dengan beban tetap sebesar 9,5 Nm pada t = 2 s

Percobaan kedua dilakukan dengan memberikan gangguan berupa beban tetap pada sistem sebesar 14 Nm pada saat t = 2 s. Respon sistem dapat dilihat pada gambar 16. Grafik menunjukkan bahwa ketika beban diberikan sebesar 14 Nm terjadi penurunan kecepatan hingga 1478 rpm. Kecepatan motor kembali ke nilai *setpoint* pada saat t = 3,8 s, meskipun masih terdapat fluktuasi sebesar 1 rpm. Nilai kecepatan stabil ketika t = 5,8 s, sehingga dibutuhkan waktu kurang dari 6 detik untuk sistem dapat kembali berjalan mengikuti nilai *setpoint*.



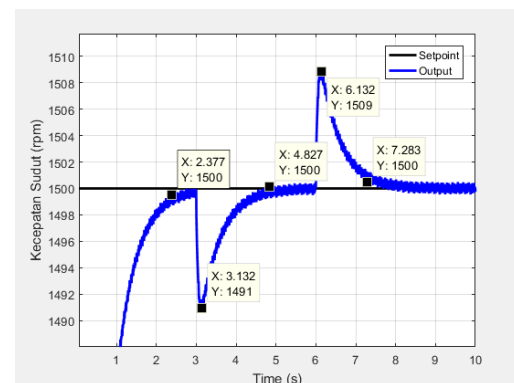
Gambar 16: Respon sistem dengan beban tetap sebesar 14 Nm pada t = 2 s

Percobaan ketiga dilakukan dengan memberikan gangguan berupa beban tetap pada sistem sebesar 16.5 Nm pada saat t = 2 s. Respon sistem dapat dilihat pada gambar 17. Grafik menunjukkan bahwa ketika beban diberikan sebesar 16,5 Nm terjadi penurunan kecepatan hingga 1474 rpm. Kecepatan motor kembali ke nilai *setpoint* pada saat t = 4 s yang berarti membutuhkan waktu 2 detik. Akan tetapi kecepatan masih mengalami fluktuasi sebesar 1 rpm. Nilai kecepatan stabil ketika t = 6 s, sehingga dibutuhkan waktu 4 detik untuk sistem dapat kembali berjalan mengikuti nilai *setpoint* meski diberikan beban di atas nilai nominalnya.



Gambar 17: Respon sistem dengan beban tetap sebesar 9,5 Nm pada t = 2 s

2) *Pemberian Beban Tidak Tetap*: Pada pengujian ini sistem dijalankan dengan diberi nilai torsi beban yang bervariasi. Pada saat t = 0 s beban diberikan sebesar 9,5 Nm, lalu pada saat t = 3 s beban dinaikkan menjadi 15 Nm, kemudian saat t = 6 s beban kembali diturunkan pada nilai 9,5 Nm. Respon sistem dapat dilihat pada gambar 18. Pada percobaan motor DC diberikan beban sebesar 9,5 Nm dari awal dijalankan. Sehingga dibutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai nilai *setpoint* yaitu 2,4 s. Ketika beban dinaikkan menjadi 15 Nm kecepatan turun menjadi 1491 rpm. Kemudian saat beban diturunkan lagi menjadi 9,5 Nm kecepatan naik hingga 1509 rpm dan dibutuhkan kurang dari 1,5 detik untuk kembali stabil di nilai *setpoint*. Melalui percobaan ini maka diketahui bahwa sistem mampu mempertahankan nilai kecepatan pada *setpoint* meskipun dalam keadaan nilai beban yang berubah.



Gambar 18: Respon sistem ketika diberi beban bervariasi (t = 0 s, $T_L = 9,5$ Nm ; t = 3 s, $T_L = 15$ Nm, t = 6 s, $T_L = 9,5$ Nm).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diperoleh solusi dengan nilai *fitness* tertinggi sebesar $6,261e+18$ dengan parameter ukuran populasi dan jumlah generasi sebesar 70, probabilitas *crossover* sebesar 0,9 dan probabilitas mutasi sebesar 0,4. Parameter PID terbaik diperoleh dengan nilai $K_p = 9,4429$; $K_i = 19,3255$ dan $K_d = 0,45602$. Respon sistem yang dihasilkan dengan parameter ini memiliki nilai *rise time* sebesar 0,1212 s, *settling time* sebesar 0,2562 s, *overshoot* sebesar 0,0366 % dan *steady-state error* sebesar 0,1739 %. Kontrol PID dengan *tuning* menggunakan metode algoritma genetika terbukti mampu menjaga kecepatan motor pada nilai *setpoint* ketika diberi beban kerja baik dengan nilai tetap maupun nilai yang berubah. Untuk pengembangan ke depannya diharapkan

tuning PID dengan metode algoritma genetika dapat diterapkan dalam berbagai sistem pengontrolan lainnya. Selain itu pengkajian mendalam mengenai algoritma genetika dapat dilakukan terutama mengenai fungsi *fitness* guna menghasilkan respon sistem yang lebih optimal.

REFERENSI

- [1] A. Ma'rifat, N. R. Setiawan, and E. S. Rahayu, "Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm," *IT Journal Research and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 30–42, 2021, doi: 10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125.
- [2] D. A. Barkas, G. C. Ioannidis, C. S. Psomopoulos, S. D. Kaminaris, and G. A. Vokas, "Brushed DC Motor Drives for Industrial and Automobile Applications with Emphasis on Control Techniques: A Comprehensive Review," *Electronics*, vol. 9, p. 887, 2020, doi: 10.3390/electronics9060887.
- [3] A. MA'ARIF, R. ISTIARNO, and SUNARDI, "Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning," *ELKOMIKA Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi*, vol. 9, no. 2, pp. 374–388, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.374.
- [4] A. Budiyananto and A. Intan Ekaputri Supriyo, "PERBANDINGAN METODE PID, MPC, DAN LQR PADA SISTEM PEMANAS AIR BOTTLE WASHER BERBASIS MATLAB," *AJIE - Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, vol. 05, no. 03, pp. 35–43, 2020.
- [5] Z. Peng, "PID Control of Temperature and Humidity in Granary Based on Improved Genetic Algorithm," in *2019 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)*, 2019, pp. 428–432.
- [6] S. K. Pandey, C. Bera, and S. S. Dwivedi, "Design of robust PID controller for DC Motor using TLBO algorithm," in *2020 IEEE International Conference on Advances and Developments in Electrical and Electronics Engineering (ICADEE)*, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICADEE51157.2020.9368952.
- [7] M. Irhas, Ifitah, and S. Asyiqah Azizah Ilham, "Penggunaan Kontrol PID dengan Berbagai Metode untuk Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC," *Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 7, no. 1, pp. 78–86, 2020.
- [8] A. Ma'rifat, H. Nabila, and O. Wahyunggoro, "Application of Intelligent Search Algorithms in Proportional-Integral-Derivative Control of Direct-Current Motor System Application of Intelligent Search Algorithms in Proportional-Integral-Derivative Control of Direct-Current Motor System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1373, pp. 1–10, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012039.
- [9] M. Ünal, A. Ak, V. Topuz, and H. Erdal, *Optimization of PID Controllers Using Ant Colony and Genetic Algorithms*. Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-32900-5.
- [10] Y. Arkeman, K. B. Seminar, and H. Gunawan, "Algoritma Genetika," in *ALGORTIMA GENETIKA Teori dan Aplikasinya untuk Bisnis dan Industri*, Bogor: PT Penerbit IPB Press, 2012, pp. 13–30.
- [11] S. Tiwari, A. Bhatt, A. C. Unni, J. G. Singh, and W. Ongsakul, "Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller," *Proceedings of the Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy*, no. October, 2018, doi: 10.23919/ICUE-GESD.2018.8635662.
- [12] Z. Abidin and E. Ihsanto, "Perancangan Kontroler PID Level Deaerator Dan Kondensor Pada Steam Power Plant Berbasis Algoritma Genetika," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 153–159, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.009.
- [13] E. L. Talakua, Y. A. K. Utama, and I. Andriyanto, "Optimasi Kontrol PID untuk Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Metaheuristik," *Seminar Nasional Ilmu Terapan*, pp. 1–8, 2020.
- [14] A. A. M. Zahir, S. S. N. Alhady, W. A. F. W. Othman, and M. F. Nurhayati A.: Analisis Tuning Parameter PID...
- [15] Ahmad, "Genetic Algorithm Optimization of PID Controller for Brushed DC Motor," in *Intelligent Manufacturing & Mechatronics, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer Nature Singapore, 2018, pp. 427–437, doi: 10.1007/978-981-10-8788-2_38.
- [16] E. W. Suseno and A. Ma'rifat, "Tuning of PID Controller Parameters with Genetic Algorithm Method on DC Motor," *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 41–53, 2021, doi: 10.31763/ijrcs.v1i1.249.
- [17] J. Beneoluchi, A. Noraziah, and A. Eunice, "A new fitness function for tuning parameters of Periphxal Integral Derivative Controllers," *ICT Express*, no. xxx, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1016/j.icte.2021.10.006.
- [18] H. Sutrisno, Suryono, and P. H. Hastunggoro, *Mengenal Motor Listrik Arus Searah*, 1st ed. Klaten: Saka Mitra Kompetensi, 2019.
- [19] B. Siswojo, *ELEKTRONIKA KONTROL*, 1st ed. Malang: UB Press, 2017.
- [20] Fahmizal, F. Fathuddin, and R. Susanto, "Identifikasi Sistem Motor DC dan Kendali Linear Quadratic Regulator Berbasis Arduino-Simulink Matlab," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, 2018.
- [21] A. H. Rahardjo and W. B. Mursanto, *Bahan Ajar Sistem Kendali. POLITEKNIK NEGERI BANDUNG*, 2020.
- [22] C. P. R. Tuuk, V. C. Poekoel, and J. Litouw, "Implementasi Pengendali PID Untuk Kestabilan Posisi Terbang Wahana Tanpa Awak," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 53–62, 2018.
- [23] G. A. Salamena and V. Salamena, "Analisis Penentuan Konstanta Pengendali PID Menggunakan Garis Singgung Metode Ziegler-Nichols I pada Titik Koordinat Kurva Tanggapan Keluaran Plant," *JURNAL SIMETRIK*, vol. 10, no. 2, pp. 333–343, 2020.
- [24] Z. Zuhri, *ALGORITMA GENETIKA Metode Komputasi Evolusioner untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi*, 1st ed. Yogyakarta: ANDI, 2014.
- [25] T. H. Fratiwi, M. Sudarma, and N. Pramaita, "Sistem Klasifikasi Musik Gamelan Angklung Bali Terhadap Suasana Hati Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor Berbasis Algoritma Genetika," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 2, pp. 265–272, 2021.
- [26] B. Y. Suprpto, A. Azmi, F. Nora, and S. Dwijayanti, "Penalaan Parameter Pengendali PID untuk Pengendalian Kecepatan Motor Arus Searah Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 15–23, 2020, doi: 10.30595/jrst.v4i1.5050.
- [27] "Motor Torque Calculator, Full Load Torque of a Motor." <http://www.electricalclassroom.com/full-load-motor> (accessed Jan. 24, 2022).

Nurhayati A.: Analisis Tuning Parameter PID...



{ Halaman ini sengaja dikosongkan }