

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI BALL DAN BEAM MENGUNAKAN METODE GA-PID

Andiko Pridiantoko Putro*, M. Abdullah Bahris, Fahmi Nasrudien,
Benny Ferdiansyah, Arjun Bagus Mulyono, Wahyu S. Pambudi.

Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-ITATS.

**Email: andikopridiantoko@gmail.com*

Abstrak

Proportional-Integral-Derivative (PID) adalah pengendali yang terkenal dimanfaatkan di bidang industri dan peralatan instrumentasi. Pada dasarnya memiliki prosedur desain yang sederhana, tetapi tuning parameter-parameter PID (Kp, Ki dan Kd) untuk mendapatkan nilai yang optimal maka perlu percobaan yang sulit. Implementasinya menggunakan metode Algoritma Genetika untuk mendapatkan parameter PID sehingga menghasilkan performa atau hasil yang maksimal. Algoritma Genetika ialah metode yang digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai di dalam sebuah permasalahan optimasi berdasarkan pada seleksi alam dan evolusi genetika. Pada penelitian yang kami lakukan, Algoritma Genetika digunakan untuk memperoleh parameter pengendali PID. Pada penelitian ini digunakan metode GA-PID pada pemodelan sistem ball and beam yang terbukti mampu berjalan sesuai tujuan yang diinginkan. Hasil penelitian ini didapatkan nilai dari error steady state sebesar 0,0041%

Kata kunci: *PID, Algoritma Genetika, Keseimbangan.*

Pendahuluan

Pada penelitian disiplin ilmu elektronika kerap kali terjadi sebuah permasalahan dalam bidang sistem kendali. Mengatur keseimbangan dari suatu benda terhadap benda lainnya sering dipakai sebagai contoh dari aspek keseimbangan pada penerapan sistem kendali [1][2]. Salah satu contoh sederhana dalam penerapan sistem kendali yaitu sistem kendali keseimbangan bola di atas papan[3]. Pemodelan sistem tersebut bisa dilakukan dengan menggunakan pemodelan sistem *ball and beam*.

Sistem *ball and beam* bisa digunakan pada aplikasi yang berhubungan dengan robot.[2][4]. Sistem *ball and beam* juga digunakan untuk prinsip dasar keseimbangan gerak vertikal dan horizontal pesawat[4]. Sistem ini hanya dapat dilakukan pengujian dalam laboratorium dengan memakai pemodelan sistem tersebut karena sistem ini terbukti berbahaya jika dilakukan percobaan langsung dalam kontrol vertikal pesawat udara dan pesawat ruang angkasa[5].

Sistem *ball and beam* merupakan sebuah sistem yang terdiri dari sebuah bola (*ball*) dan bidang (*beam*) dengan sensor jarak untuk mendeteksi letak bola dan aktuator untuk menggerakkan balok ke sudut yang diinginkan agar bola mencapai *setpoint*.

[6]. Metode yang dapat diterapkan pada sistem ini diantaranya seperti metode PID, fuzzy logic, dll[6].

Pada pemodelan sistem *ball and beam* ini pengendali yang digunakan yaitu metode GA-PID yang berfungsi menjaga posisi bola agar tetap pada posisi yang diinginkan. Metode GA-PID yaitu penggabungan metode GA (*Genetic Algorithm*) ke metode PID.

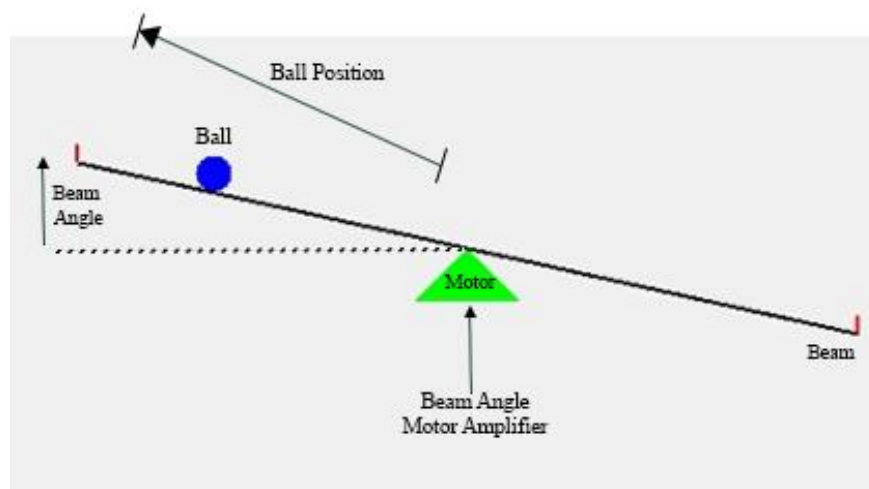
Tinjauan Pustaka

Pada suatu pemodelan sistem kontrol *Ball and Beam*, salah satu contoh yang kerap kali diterapkan adalah mengenai pengendalian sebuah keseimbangan yang mana diberikan berbagai macam gangguan pada suatu batang yg di atasnya diletakkan sebuah bola.

Menjaga posisi sebuah bola tentunya dibutuhkan sebuah pengendali agar bola tetap berada pada posisi awal dan tidak terpengaruh oleh gangguan, dalam hal ini Pengendali PID lah yang diterapkan untuk mengendalikan posisi sebuah bola.

Di dalam disiplin ilmu elektronika khususnya pada pengembangan bidang robotika yang menjadi sebuah dasar dari kestabilan dan keseimbangan pergerakan sebuah robot adalah pemodelan sistem *Ball and Beam*. Hal tersebut adalah salah satu bukti nyata yang dapat kita amati mengenai penerapan pemodelan sistem *Ball and Beam*. Selain contoh tersebut, pemodelan sistem *Ball and Beam* masih banyak contoh implementasinya yang bisa kita kembangkan.

Menjaga dan mengendalikan sebuah keseimbangan merupakan prinsip kerja dari pemodelan sistem *Ball and Beam*. Posisi setimbang dan tercapainya set yang diinginkan merupakan sebuah hal yang perlu diketahui sebuah kontroler dalam menjaga keseimbangan sebuah bola seperti yang dapat kita amati pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Sistem *Ball And Beam*

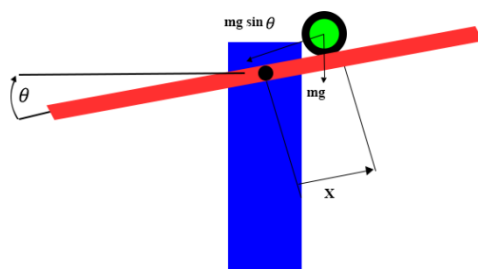
Sebuah sistem *Ball and Beam* atau juga bisa disebut bola dan balok secara sederhana dapat dimodelkan seperti yang tampak pada Gambar 1. Gambar di atas menunjukkan sebuah balok yang dimiringkan dalam suatu sudut dan di atasnya diposisikan sebuah bola. Posisi sebuah bola tergantung pada arah motor, apakah motor berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Ketika posisi sebuah bola berada pada ujung paling kiri maka motor diputar berlawanan arah jarum jam dengan tujuan menjaga bola di atas balok demikian sebaliknya diputar ke arah atau sisi yang lain. Proses ini diulang sampai bola mencapai posisi sesuai harapan atau posisi yang diinginkan. Sudut sebuah balok diubah sesuai dengan umpan balik sistem dengan tujuan menyeimbangkan posisi sebuah bola. Gambar 2. menunjukkan representasi skemabola pada sistem keseimbangan sebuah balok. Memodelkan sebuah sistem dengan melakukan sebuah pendekatan, yaitu pendekatan Lagrangian. Gerakan bola yang cenderung relatif pada sebuah balok berhubungan dengan sebuah energi, yaitu energi potensial. Dengan mengasumsikan bahwa lokasi poros sesuai dengan energi potensial nol, energi potensial total dapat dituliskan seperti pada persamaan (1).

$$U = -mgx \sin \theta \quad (1)$$

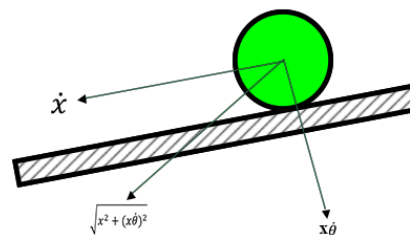
di mana m merupakan massa dari sebuah bola, x merupakan posisi translasi (dengan arah positif mengarah ke bawah) dan θ merupakan sudut poros balok. Energi kinetik, T , juga dapat dihitung dari menggunakan persamaan (2).

$$T = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I_b \omega^2 + \frac{1}{2} I_a \dot{\theta}^2 \quad (2)$$

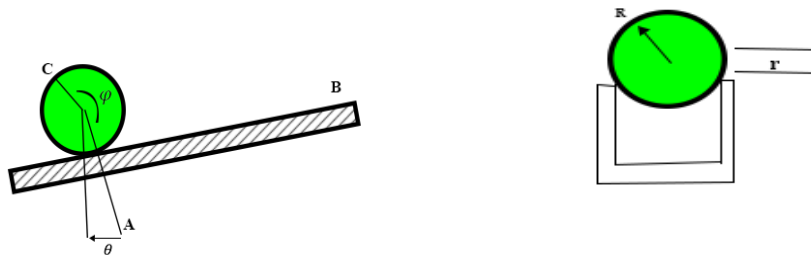
Dimana, v merupakan kecepatan translasi dari suatu bola, ω merupakan kecepatan sudut bola, I_a adalah inersia balok, dan I_b adalah inersia bola.



(A) Hubungan Keseimbangan Bola Dengan Energi Potensial



(B) Kecepatan Translasi Suatu Bola



(C) Hubungan Rotasi Bola Dengan Porosnya (D) Luasan dan Momen Inersia Bola

Gambar 2. Skema Bola Pada Sistem *Beam Balancer*

Karena sensor dalam sistem ini mengukur posisi translasi bola (x) dan posisi sudut poros (θ), kemudian tulis ulang persamaan energi kinetik dalam dua variabel ini dengan mencari hubungan antara r , ω dan x , maka jarak yang ditempuh bola dinyatakan dengan persamaan (3).

$$X = r \varphi \quad (3)$$

Dimana φ adalah sudut rotasi bola terhadap poros dan r adalah radius menggelinding atau efektif bola. Sudut total bola adalah jumlah sudut bola terhadap poros φ dan sudut poros θ , maka kecepatan rotasi bola dinyatakan dengan persamaan (4).

$$\omega = \dot{\varphi} + \dot{\theta} = \frac{\dot{x}}{r} + \dot{\theta} \quad (4)$$

Rumus dari kecepatan translasi bola (v) yaitu : (seperti pada gambar 2B) dapat menggunakan persamaan (5).

$$v = \sqrt{\dot{X}^2 + (X\dot{\theta})^2} \quad (5)$$

Mengganti kecepatan rotasi dan translasi dalam persamaan energi kinetik menghasilkan persamaan (6).

$$T = \frac{1}{2} \{m[\dot{X}^2 + (X\dot{\theta})^2] + I_b\left(\frac{\dot{X}}{r} + \dot{\theta}\right)^2 + I_a\dot{\theta}^2\} \quad (6)$$

Persamaan gerak dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Euler-Lagrange, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (7).

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} \quad (7)$$

Dimana L adalah lagrangian yang diberikan oleh persamaan (8).

$$L = T - U \quad (8)$$

Dengan mengganti L dalam persamaan Euler-Lagrange didapatkan seperti pada persamaan (9).

$$\left(m + \frac{I_b}{r^2}\right)\ddot{X} + \frac{I_b}{r}\ddot{\theta} - mx\dot{\theta}^2 - mg \sin \theta = 0 \quad (9)$$

Kami mengabaikan turunan dari sudut poros dengan asumsi gerakan poros tetap relatif kecil. Persamaan gerak yang disederhanakan kemudian menghasilkan persamaan (10).

$$\left(m + \frac{I_b}{r^2}\right)\ddot{X} = mg\theta \quad (10)$$

Menerapkan transformasi Laplace ke persamaan (10) menghasilkan fungsi transfer seperti persamaan (11).

$$G(s) = \frac{X(s)}{\theta(s)} = \frac{mg}{\left(m + \frac{I_b}{r^2}\right)s^2} \quad (11)$$

Dalam persamaan (11), inersia bola didapatkan dengan persamaan (12)

$$I_b = \frac{2}{5}mR^2 \quad (12)$$

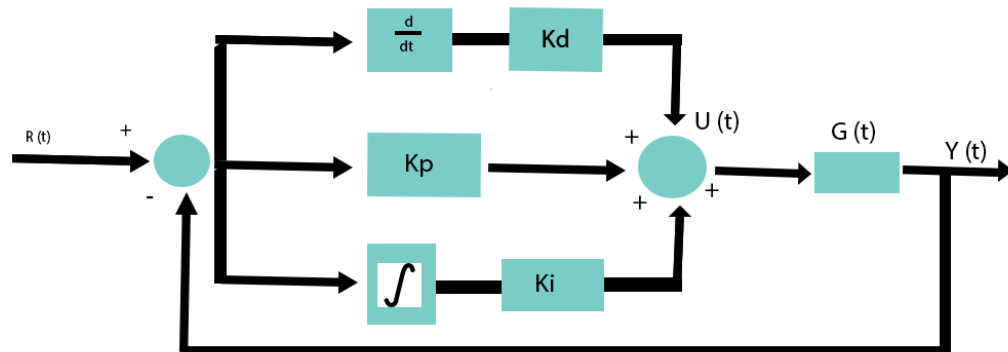
Memasukkan I_b ke dalam fungsi transfer $G(s)$, didapatkan persamaan (13).

$$G(s) = \frac{X(s)}{\theta(s)} = \left(\frac{g}{1 + \frac{2}{5}\left(\frac{R}{r}\right)^2}\right) \frac{1}{s^2} \quad (13)$$

Sistem Pengendali PID

Parameter Kontroler dari sebuah sistem kendali ada tiga macam yaitu Kontroler Proportional (K_p), Kontroler Integral (K_i) dan Kontroler Derivative (K_d). Pengendali PID merupakan sebuah sistem kendali yang menggabungkan ketiga parameter kontroler tersebut seperti yang dapat kita amati pada Gambar 3.

Dalam Implementasinya tiap-tiap kontroler bisa dikombinasikan serta mampu berdiri sendiri. Mengatur nilai P, I, dan D supaya didapatkan respon suatu sinyal output sistem terhadap input tertentu sesuai terhadap yang kita inginkan.



Gambar 3. Kontroller PID

Kontrol Proporsional

Kontrol proporsional sering kali disebut suatu gain dengan tidak diberikan pengaruh dinamik terhadap kerja dari kontroler. Penerapan kontroler proporsional menyebabkan sinyal yang *error* menjadi membesar sehingga resiko terjadinya overshoot akan semakin besar. Tetapi pada kontrol proporsional bisa mempengaruhi kecepatan keluaran pada sistem sehingga menjadi lebih cepat untuk mencapai setpoint. Adanya kontroler proporsional ini dapat memperbaiki *rise time* dan *settling time* pada sistem.

Kontrol Integral

Kontrol integral ini dipakai untuk menghapuskan nilai *offset* pada hasil dari system kontrol proporsional. Namun harus diperhatikan pula dalam menetapkan nilai K_i karena jika tidak tepat bisa menimbulkan ketidakstabilan pada sistem. Ketika menetapkan nilai K_i yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan nilai keluaran menjadi berisolasi. Adanya penambahan sistem kontrol integral ini juga dapat mempengaruhi respon sistem sehingga menjadi lebih lambat. Jadi, dalam penerapan kontrol integral ini harus digabungkan dengan kontrol proporsional.

Kontrol Derivative

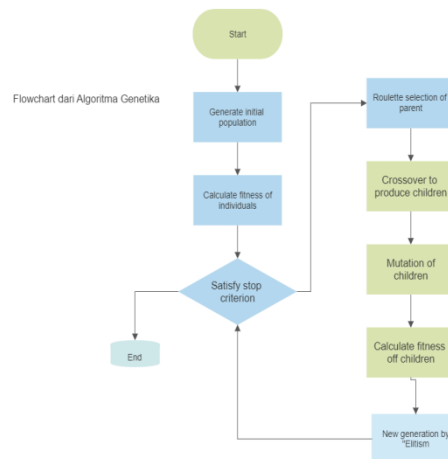
Keuntungan dalam penggunaan kontrol *derivative* ini adalah bisa mempengaruhi respon perubahan error actuator. Sebelum terjadinya magnitude dari *error actuator* akan membesar, control derivative ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan. Jadi, seakan-akan kontrol *derivative* dapat memprediksi hasil *error* yang akan terjadi, hal ini dikarenakan efek dari perhitungan error sebelumnya. Pada kontrol *derivative* ini tidak bisa berdiri dengan sendiri, hal tersebut diakibatkan kinerja dari

kontrol *derivative* ini didasarkan pada perubahan *error* aktuaternya dan tidak pada actuator itu sendiri

Genetic Algorithm (GA)

Sebuah algoritma yang merupakan suatu pencarian penyelesaian masalah atau solusi dengan pencarian secara acak adalah algoritma genetika, hal ini dapat kita amati dari awal pembangkitan populasi yang menyatakan beberapa kumpulan solusi yang secara acak dipilih.

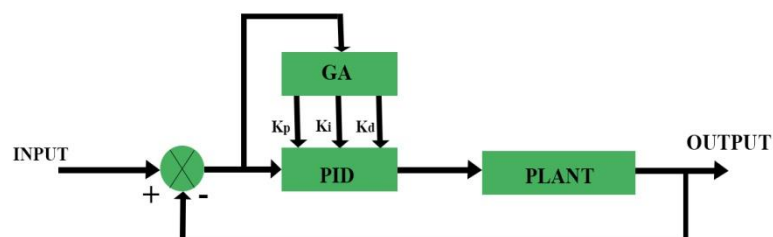
Selanjutnya dalam melakukan pencarian didasarkan pada tahap-tahap dari teori genetika dengan mempertimbangkan hasil pemikiran tentang bagaimana cara untuk mendapatkan individu yang lebih baik, jadi diharapkan pada saat tahap evolusi didapatkan individu yang sangat baik dari yang lain.



Gambar 4. Flowchart Algoritma Genetika

Metodologi Penelitian

Blok Diagram



Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Tabel 1. Spesifikasi dari nilai parameter Algoritma Genetika

LEVEL			
	Kp	Ki	Kd
a (batas bawah)	0	0,001	0,001
b (batas atas)	10	10	10
n (presisi)	2	2	2
L	8	8	8
Jumlah	Panjang Kromosom = 24		

Pembangkitan populasi awal

Populasi awal dibangkitkan menggunakan fungsi random atau acak. Inisialisasi dari pembangkitan populasi awal dilakukan secara acak dengan alel yang berjumlah tiga, serta jumlah populasi dan panjang kromosom yang bisa diatur oleh pengguna yang dapat kita lihat pada Tabel 1.

Hasil acak dari nilai desimal lalu dikonversi menjadi bilangan biner. Nilai biner yang didapatkan kemudian dipotong sesuai dengan panjang masing-masing alel. Setelah didapatkan nilai alel, maka nilai tersebut akan dikonversi kembali ke dalam bentuk biner persamaan rumus alel diatas dapat digunakan untuk mencari besar nilai alel. Hal ini dilakukan sampai batas populasi yang ditentukan.

Tabel 2. Nilai acak biner pada satu populasi

Populasi	Kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	100010110	1010010	1011111
Kromosom 2	110101110	1010011	1100101
Kromosom 3	101100011	1101010	1101100
Kromosom 4	1010011	110011	1010011
Kromosom 5	101010110	1011111	110011
Kromosom 6	100110010	1000110	111110

Merujuk pada hasil pengujian data yang dapat kita lihat pada Tabel 2., setelah itu nilai parameter kromosom dirubah atau dikonversi kedalam bentuk bilangan desimal pada setiap nilai alel untuk masing-masing kromosom. Hasil penkonversian data acak kromosom diatas dapat ditampilkan pada Tabel 3. sebagai berikut :

Tabel 3. Nilai acak biner pada satu populasi

Populasi	Kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	278	82	95
Kromosom 2	430	83	101
Kromosom 3	355	106	108
Kromosom 4	83	51	83

Kromosom 5	342	95	51
Kromosom 6	306	70	62

Perhitungan dari nilai fitness dan alel dapat dihitung dari merujuk data spesifikasi pada Tabel 3.

Nilai alel (x) dapat dihitung dengan persamaan (14). sebagai berikut:

$$x = a + [(b-a) / 2^L - 1] * v \quad (14).$$

Keterangan :

L = Panjang sebuah kromosom

v = Hasil konversi nilai dari data biner ke data desimal alel

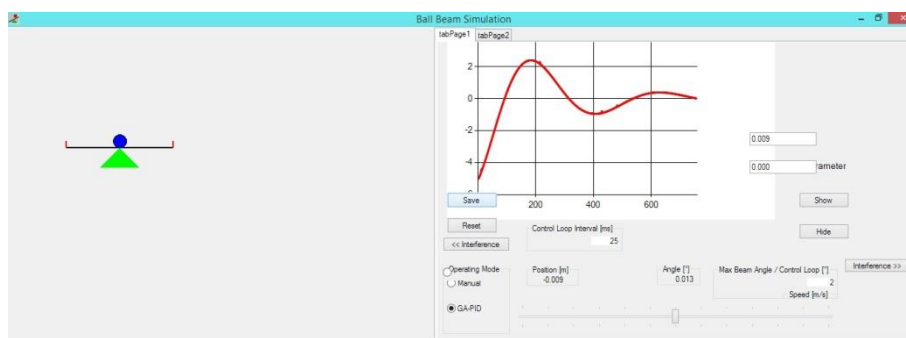
Tabel 4. Nilai acak biner pada satu populasi

Populasi	Kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	10,90	3,22	3,73
Kromosom 2	16,86	3,26	3,96
Kromosom 3	13,92	4,16	4,24
Kromosom 4	3,25	2,00	3,26
Kromosom 5	13,41	3,73	2,00
Kromosom 6	12	2,75	2,43

Hasil Perhitungan dari nilai fitness dan alel pada kromosom seperti yang dapat kita lihat pada Tabel 4. Pada Tabel 4. diatas adalah hasil akhir dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (14).

4.1 Hasil pengujian

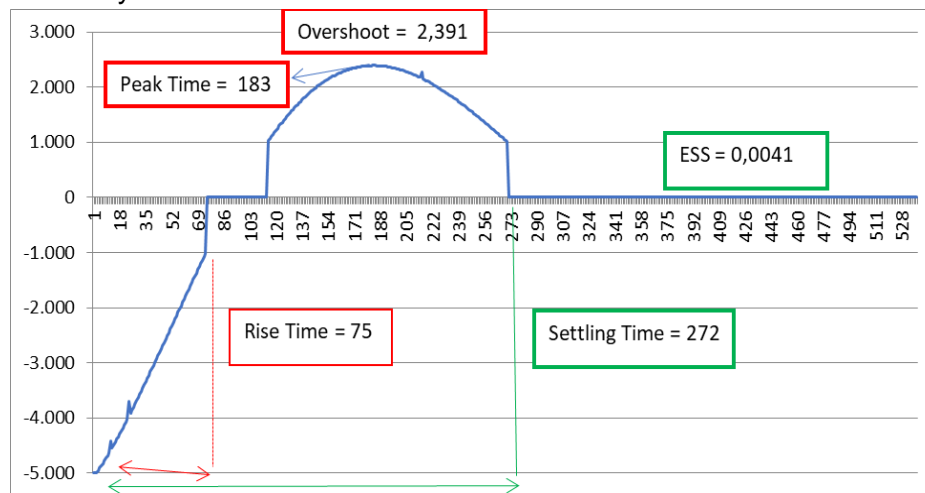
Berikut adalah data hasil percobaan dari penggunaan metode GA-PID ke pemodelan sistem *ball and beam*.



Gambar 6. pemodelan sistem *ball and beam*.

Pada gambar 6. diatas, merupakan hasil dari pengujian *ball and beam* menggunakan metode GA yang digunakan untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd agar bola mencapai setpoint. Gambar 7 dan tabel 1 dibawah ini merupakan data hasil dari pengujian

yang dilakukan dengan mencari nilai rise time, settling time, peak time, overshoot dan error steady state.



Gambar 7. Grafik Data grafik dari hasil pengujian

Tabel 5. Nilai serta error dari hasil pengujian

Rise Time (ms)	Settling Time (ms)	Peak Time (ms)	Error Steady State (%)	Overshoot (degree)
75	272	183	0,0041	2,391

Setelah dilakukan pengujian diperoleh nilai seperti yang ditampilkan pada Tabel 5. yaitu diperoleh nilai rise time 75 ms, settling time = 272 ms, peak time = 183 ms, overshoot = 2,391 degree dan error steady state = 0,0041%

Kesimpulan

Penggunaan metode GA-PID pada pemodelan sistem *ball and beam* terbukti mampu berjalan sesuai tujuan yang diinginkan, tetapi pada pengujian ini dalam prosesnya masih terdapat banyak noise. Berdasarkan hasil pengujian ini, agar bola mencapai steady state didapatkan hasil rise time = 75 ms , settling time = 272 ms, peak time = 183 ms, overshoot = 2,391 degree dan error steady state = 0,0041%

Daftar Pustaka

- [1] N. Dyan Oktaviana and V. Anneesa, "Rancang Sistem Keseimbangan Ball and Beam Berbasis PID,".
- [2] E. O. Merti Wijaya and B. Suprianto, "Perancangan Sistem Keseimbangan Ball and Beam dengan Menggunakan Pengendali PID Berbasis Arduino Uno,"
- [3] L. Al Labib, "Sistem Keseimbangan Bola di Atas Papan,"2016.
- [4] S. Al Tameemi, A. Fernandez, and A. De Juan, "Ball and Beam Control System,".
- [5] A. Thaifur Ali, Ahmed A. M., Almahdi H. A., Osama A.Taha, and A. Naseraldein A., "Design and Implementation of Ball and Beam System Using PID Controller,"2017, Vol. 3, No. 1, 1-4.
- [6] H. Muhammad, M. Ramadani, and A. Suryo Wibowo, "Desain dan Implementasi Kendali PID pada Beam and Ball System,"2017, Vol.4, No.3
- [7] Nanta Fakhri, Wahjoe Tjatur Sesulihatien, Taufiqurrahman, Rusminto Tjatur Widodo, "Pengembangan Modul Pembelajaran Proses Kontrol Dengan Menggunakan Metode Genetik Algoritma Berbasis Open Source".