



Surabaya, 6 Juli 2023

## SEMINAR NASIONAL HASIL RISET DAN PENGABDIAN

"Peran Riset, Inovasi dan Pengabdian Kepada Masyarakat Bagi Pembangunan Indonesia Berkelanjutan"



# SIMULASI KONTROL BALL AND BEAM UNTUK KESEIMBANGAN BOLA TENIS

**Rizky Caesaria Putri\*, Afta Fakhiri Ali Aziz\*, Lugas Jabar Waskito\*,  
Adam RizkyAchmadi\*, Tamiran\*, Muhammad Oktavian Mariono\*,  
Ikhtiara Adabsari\*, Wahyu Setyo Pambudi**

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

\*Email: rcaesariaputri@gmail.com

### Abstrak

Simulasi kontrol Ball and Beam menggunakan Simulink MATLAB untuk mencapai keseimbangan bola tenis pada platform Beam. Sistem Ball and Beam digunakan sebagai model kontrol yang populer untuk menguji berbagai algoritma kontrol. Dalam simulasi ini, pengontrol PID (Proporsional-Integral-Derivatif) akan diterapkan untuk mengatur posisi bola tenis pada platform Beam agar tetap seimbang. Simulink MATLAB digunakan sebagai lingkungan pengembangan simulasi yang kuat dan intuitif. Komponen utama yang digunakan dalam model ini adalah blok Transfer Function untuk merepresentasikan karakteristik dinamis dari sistem Ball and Beam, serta blok PID Controller untuk mengimplementasikan algoritma kontrol PID. Sinyal input yang mewakili posisi referensi bola tenis dan sinyal output yang mewakili posisi aktual bola tenis dihubungkan ke blok PID Controller untuk menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai. Dalam proses simulasi, sistem Ball and Beam akan menerima sinyal kontrol yang dihasilkan oleh PID Controller, dan kemudian merespons dengan menggerakkan platform Beam untuk mempertahankan keseimbangan bola tenis. Hasil dari simulasi ini akan dievaluasi berdasarkan kriteria kinerja seperti waktu penyesuaian, overshoot, dan error steady-state, yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan parameter PID Controller. Hasil simulasi kontrol PID untuk mencapai keseimbangan bola tenis pada platform Beam yang menggunakan Simulink MATLAB, dengan cara tuning pada parameter Kp, Ti, dan Td dengan mengatur rise time yang cepat, overshoot dan setting time.

**Kata kunci:** *Ball and Beam; Proporsional-Integral-Derivatif; MATLAB; overshoot.*

### PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengontrol keseimbangan bola tenis pada sebuah alat yang disebut Ball Beam menggunakan simulasi Simulink MATLAB. Penelitian sebelumnya, telah dibuat sistem kendali ball & beam dengan bidang persegi panjang dan bola sebagai alat peraga pembelajaran. Fokus penelitian ini adalah pemodelan dan perancangan sistem kendali ball & beam menggunakan PID. Pada pemodelan, fungsi transfer menentukan respons open loop

terhadap input step. Penggunaan proportional controller ( $K_p$ ) diperlukan untuk mendapatkan respons close loop yang diinginkan. Desain PID Controller dapat dilakukan setelah memperoleh respons sistem. Penting untuk menetapkan kriteria sistem sebelum merancang agar keluaran sesuai harapan. Dalam perancangan PID, P (Proportional control) untuk perbaikan rise time, I (Integral control) untuk remove steady state error, dan D (Derivative control) untuk perbaikan overshoot (Maharani & Putri, 2019).

Penelitian sebelumnya juga mengkaji tentang simulator sistem ball and beam dengan perancangan dan implementasi kendali full state feedback pada hardware in the loop (HIL). Sistem ball and beam yaitu suatu alat peraga yang terdiri dari sebuah balok panjang yang tingkat kemiringannya dapat diaur menggunakan motor listrik. Metode pole placement perancangan kendali yang menyesuaikan dengan performa yang diinginkan. Hal ini digunakan karena menggunakan metode pendekatan permodelan state-space. Kendali full state feedback menghasilkan respon yang dapat menstabilkan sistem ball and beam pada seluruh skema pengujian yang dilakukan dengan nilai error steady state terbesar 0,19cm pada skema simulasi real plan (Irsyadi et al., 2019).

Telah dilakukan penelitian sebelumnya terhadap sistem Ball and Beam yang melibatkan penggunaan bidang balok persegi panjang dan bola sebagai elemen penggerak. Metode kendali Root Locus digunakan sebagai pendekatan untuk mengatur sistem secara efisien. Tujuan utama dari sistem Ball and Beam ini adalah mencapai stabilisasi posisi bola dengan sudut kemiringan bidang balok yang sesuai dengan keinginan. Implementasi metode kendali Root Locus dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab untuk melakukan pengujian simulasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa diperoleh nilai Gain sebesar 20, waktu naik sekitar 0,783 detik, persentase overshoot sebesar 1,531%, waktu pemulihan sekitar 1,39 detik, dan kesalahan steady state sebesar 0,147% (Fadillah, 2022).

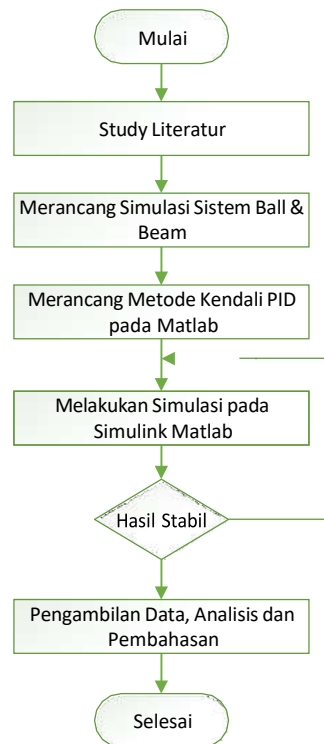
Selain itu, penelitian sebelumnya juga mencoba penggunaan model atau simulasi dalam Sistem Ball and Beam untuk mengontrol keseimbangan. Penggunaan bola (ball), bidang persegi empat atau balok (beam), dan sensor yang dipasang pada salah satu sisi balok digunakan untuk mendeteksi posisi bola. Tanpa pengendali atau kontroler yang sesuai, mencapai keseimbangan pada sistem ini menjadi sulit. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan sistem ball and beam yang menggunakan Fuzzy Logic Controller untuk mencapai keseimbangan dan menganalisis respons dinamisnya. Sistem ini menerima input berupa pengukuran dari sensor ultrasonik, yang kemudian diproses melalui perangkat NI ELVIS II sebagai pengumpulan data dan dikendalikan menggunakan perangkat lunak LabVIEW dengan kontroler logika fuzzy. Hasilnya ditampilkan melalui antarmuka Graphical User Interface (GUI) dalam bentuk perputaran motor servo, menunjukkan kemampuan sistem dalam mencapai kesalahan terkecil sebesar 0.079 pada set point 25 cm, dan kesalahan terbesar sebesar 8.973 pada set point 10 cm (Dewi, 2019).

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian terhadap sistem pengaturan keseimbangan bola pada batang, di mana bola dapat bergerak secara bebas dan posisinya secara otomatis diatur sesuai dengan set point yang ditentukan. Sistem ini memiliki peran penting dalam studi sistem kontrol karena karakteristiknya yang tidak stabil. Untuk mencapai kontrol yang optimal, dilakukan penggunaan kontroler Proporsional Integral Derifatif (PID) dengan penyesuaian parameter seperti nilai penguatan ( $K_p$ ), waktu integral ( $T_i$ ), dan waktu derivatif ( $T_d$ ). Kontroler PID berfungsi dalam menangani kesalahan antara sensor ultrasonik dan set point bola. Dalam implementasi sistem ini, digunakan perangkat lunak LabVIEW sebagai pemantau dan pengendali kecepatan motor servo (Daniel S Pamungkas & Muhammad Samsu Noviansyah, 2021)

Dalam penelitian ini, akan dibangun model matematika yang akurat untuk Ball Beam dan dimasukkan ke dalam Simulink MATLAB. Kemudian, berdasarkan model tersebut, akan dirancang kontroler yang optimal untuk mengontrol posisi bola tenis dan menjaga keseimbangan alat Ball Beam. Simulasi akan dilakukan dengan menguji respons sistem terhadap variasi input dan gangguan eksternal yang mungkin terjadi selama operasi.

## METODE

Sistem kontrol pada penelitian ini diterapkan pada bola (bola) yang diletakkan di atas balok (beam), yang dapat bergerak ke atas atau ke bawah pada balok. Lengan tuas (level arm) dihubungkan ke bidang balok di satu sisi dan ke servo di sisi lain. Saat roda berputar sesuai sudut  $\theta$ , lengan tuas mengubah sudut balok melalui  $\alpha$ . Saat sudut bidang balok berubah dari satu posisi ke posisi lain, gravitasi menyebabkan bola menggelinding di sepanjang bidang balok, oleh karena itu, pengontrol sistem bola dan balok dirancang untuk mengontrol posisi bola (Maharani & Putri, 2019). Pada penelitian ini, perancangan dilakukan dengan menggunakan tahapan seperti gambar 1 berikut:



Gambar 1 Alur Perencanaan Penelitian

Pada gambar 1. terdapat perancangan penelitian yang dimulai dari study literatur dimana mencari referensi dari jurnal, e-book, skripsi maupun tesis. Selanjutnya yaitu perancangan simulasi sistem ball and beam menggunakan Simulink pada Matlab dan membuat simulasi kendali PID. Kemudian melakukan pengambilan data untuk nilai input dan output pada sistem. Ketika hasil dari simulasi kurang maksimal maka dilakukan perbaikan pada kendali PID.

Simulasi ball and beam ini menggunakan bola tenis yang mempunyai spesifikasi sesuai standart bola tenis lapangan yaitu sebagai berikut:

Mass of ball (m) = 0.0567 kg

Radius of the ball (Rd) = 0.0327 m

Lever arm offset (d) = 0.06 m

Length of the beam (L) = 0.9

Gravitational acceleration (g) = -9.8 m/sec<sup>2</sup>

Balls moment of inertia (J) = 4.042e-5

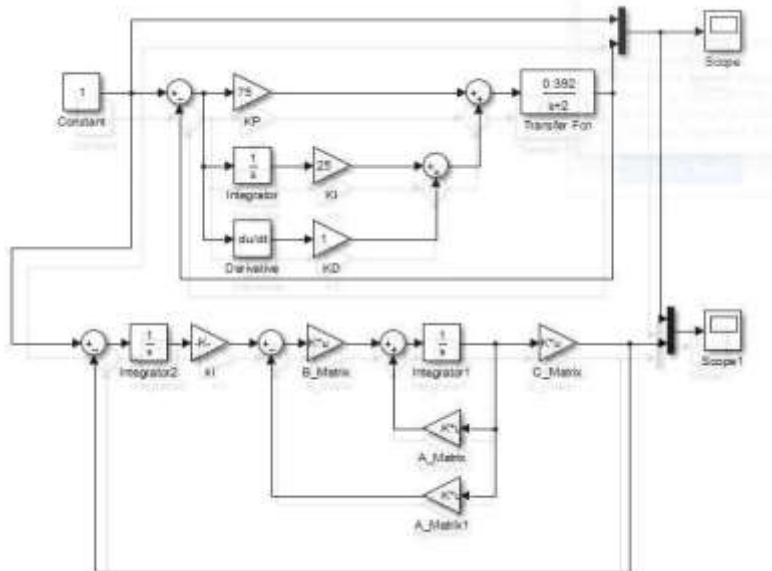
Nilai momen inersia diketahui dari persamaan berikut:

$$I = \frac{2}{3} M \cdot R^2 \quad [1]$$

Nilai transfer function pada gambar 2 pemodelan Simulink diperoleh dari program berikut:

```

m = 0.0567;
Rd = 0.327;
g = -9.8;
L = 0.9;
d = 0.06;
J = 4.042e-5;
K = -(m*d*g)/(L*(J/Rd^2+m));
num = [K];
den = [1 0 0];
printsys(num,den);
step (0.0025*num,den);
ylabel('Position (m)');
    
```

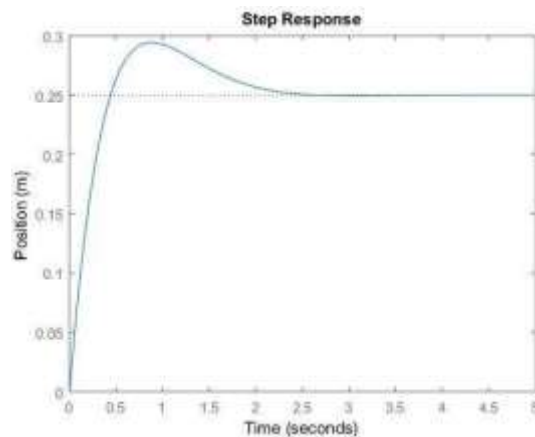


Gambar 2 Pemodelan pada software Simulink

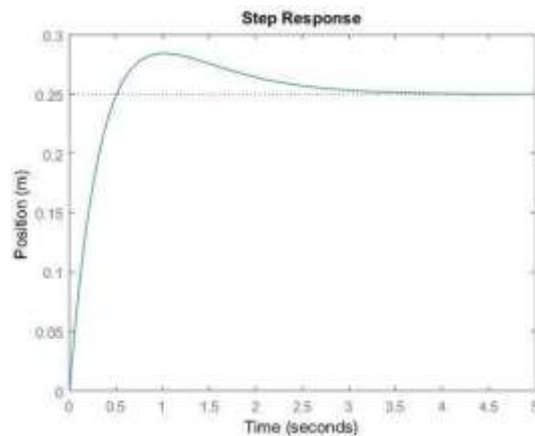
Penggunaan kontroler dengan menggunakan PID untuk mendapatkan sebuah parameter  $K_i$ ,  $K_p$  dan  $K_d$ . Pada metode ini  $K_p$  didapatkan nilai sebesar 75, untuk nilai  $K_i$  itu sendiri sebesar 25 dan untuk nilai  $K_d$  didapatkan nilai sebesar 1, nilai – nilai tersebut lalu dimasukkan ke dalam aplikasi MATLAB untuk disimulasikan untuk mengetahui bagaimana respon dari kontrol PID.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

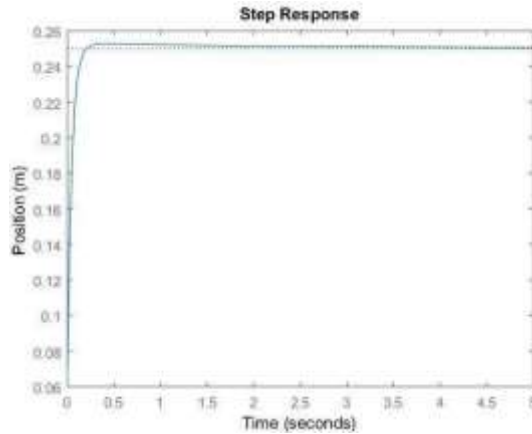
*Ball & beam system* adalah sebuah sistem kendali yang terdiri sebuah papan berbentuk persegi panjang dan terdapat bola tenis di atasnya. Sistem sangat umum digunakan untuk alat peraga dalam pembelajaran metode sistem kendali. Pada percobaan kali ini terdapat dua cara dalam pengujian *ball & beam control system*, yakni pemodelan sistem *ball & beam control* dengan bentuk *open loop response* dan perancangan sistem *ball & beam control* dengan control PI, PD dan PID. Dalam Perancangan sistem dengan bentuk *open loop* sendiri menggunakan rumus transfer function seperti diatas.



Gambar 3 Gambar Grafik Dengan Gain Propotional dan Integratif



Gambar 4 Gambar Grafik Dengan Gain Propotional dan Derivative



Gambar 5 Gambar Grafik Dengan Control PID

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada gain propotional dan gain deviratif memiliki overshoot atau lonjakan yang tinggi selama 2,5 second dan puncak tertinggi sebesar 0,9 second pada posisi 0.29 m. Sedangkan pada Gambar 4 overshoot atau lonjakan lebih turun sedikit dari pada gambar 3 yaitu sebesar 3 second dan puncak tertinggi berada pada 1 second posisi 0.27. Dari Kedua grafik tersebut baik gambar 3 dan gambar 4, terdapat gambar 5 yang memiliki grafik yang cukup stabil dan tidak memiliki overshoot seperti gambar 3 dengan gain propotional dan integratif maupun gambar 4 gain propotional dan deviratif. Untuk nilai dari control PI, PD, dan PID dapat dilihat di tabel 1

Tabel 1 Respon Kontrol PI, PD, dan PID

Kontrol	Rise Time(s)	Overshoot(m)	Settling Time(s)
PI	0,4	0,29	2
PD	0,45	0,27	2,5
PID	0,25	0,25	0,3

Respon terhadap perubahan setpoint pada control PI cenderung memiliki rise time yang lebih lama dibandingkan dengan PD dan PID, karena pada control PI terdapat komponen integral yang menghitung kesalahan akumulatif dari waktu. Untuk kontrol PD cenderung memiliki rise time yang lebih cepat dibandingkan dengan PI, karena terdapat komponen derivative yang bereaksi terhadap perubahan error, Untuk kontro PID menggabungkan keuntungan dari control PI dan PD sehingga dapat menghasilkan rise time yang lebih cepat dan presisi dalam mencapai setpoint

## KESIMPULAN

Simulasi kontrol Ball and Beam untuk keseimbangan bola tenis menggunakan Simulink MATLAB adalah suatu pendekatan yang efektif dan fleksibel dalam merancang sistem kontrol untuk menjaga keseimbangan bola tenis di atas balok. Berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi tersebut:

1. Simulasi Simulink MATLAB memungkinkan pemodelan yang akurat: Dalam simulasi ini, model Ball and Beam dibangun dengan menggunakan blok-blok Simulink yang mencerminkan karakteristik fisik sistem. Hal ini memungkinkan simulasi yang akurat dan realistis untuk menganalisis perilaku sistem.
2. Kontroler PID dapat digunakan untuk keseimbangan bola tenis: Dalam simulasi ini, kontroler PID (Proportional-Integral-Derivative) digunakan untuk mengendalikan posisi balok agar bola tenis tetap seimbang di atasnya. Kontroler PID efektif dalam menangani kesalahan statis, merespons perubahan setpoint, dan meredam gangguan.
3. Tuning parameter PID sangat penting: Keberhasilan kontrol sistem Ball and Beam tergantung pada tuning parameter PID yang tepat. Melalui simulasi, parameter  $K_p$  (proporsional gain),  $T_i$  (integral time), dan  $T_d$  (derivative time) dapat dioptimalkan untuk mencapai kinerja kontrol yang diinginkan, seperti rise time yang cepat, overshoot minimal, dan settling time yang baik.
4. Respon sistem dipengaruhi oleh karakteristik fisik: Simulasi ini memungkinkan analisis pengaruh faktor-faktor fisik seperti panjang balok, inersia bola, dan koefisien gesekan terhadap kinerja sistem. Dengan memvariasikan parameter ini dalam simulasi, dapat diamati bagaimana perubahan karakteristik fisik mempengaruhi respon sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- Daniel S Pamungkas & Muhammad Samsu Noviansyah. (2021). SIMULATOR ROBOT LENGAN DUA DERAJAT KEBEBASAN. *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 7(1), 51–57.
- Dewi, N. O. (2019). *PERANCANGAN SISTEM KESEIMBANGAN BALL AND BEAM MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK LABVIEW BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER*. 08.
- Fadillah, E. P. (2022). *Desain Sistem Pengaturan Keseimbangan Posisi Bola pada Sistem Ball and Beam Menggunakan Metode Kendali Root Locus Berbasis MATLAB*. 11(<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/issue/view/2480>).  
<https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p136-145>
- Irsyadi, F., Romdlony, M. Z., Rahmawati, D., & Firdaus, A. (2019). PENERAPAN KENDALI FULL STATE FEEDBACK PADA SISTEM HIL (HARDWARE IN-THE-LOOP) BALL AND BEAM.

*Jurnal INSTEK (Informatika Sains Dan Teknologi)*, 4(2), Article 2.

<https://doi.org/10.24252/instek.v4i2.10400>

Maharani, A., & Putri, R. F. A. (2019). *SISTEM KONTROL BALL & BEAM*.