

# DESAIN DAN IMPELEMENTASI KENDALI PID PADA *BEAM AND BALL SYSTEM*

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PID CONTROLLER ON *BEAM AND BALL SYSTEM*

Hindami Muhammad<sup>1</sup>, Mohamad Ramdhani S.T., M.T.<sup>2</sup>, Agung Surya Wibowo S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[mhindami@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:mhindami@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id](mailto:mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id),  
<sup>3</sup>[agungsw@telkomuniversity.ac.id](mailto:agungsw@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

*Beam and ball system* adalah sebuah sistem yang terdiri dari sebuah bidang segi empat (*beam*) dan sebuah bola (*ball*). *Beam and ball system* adalah salah satu alat peraga yang umum digunakan dalam mempelajari sistem kontrol. *Beam and ball system* sering digunakan sebagai alat peraga karena mudah dimengerti sebagai sistem dan berbagai metode kontrol dapat diterapkan pada sistem ini.

*Beam and ball system* terdiri dari sensor, bidang segi empat yang terpadu dengan motor listrik dan bola. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi posisi bola pada bidang segi empat. Bila bola dalam keadaan bergerak, maka motor listrik akan menggerakkan bidang segi empat agar bola diam pada posisi yang ditentukan. Metode kendali yang digunakan adalah metode kendali PID karena dapat menghasilkan keluaran nilai *error* yang rendah dengan cara yang sederhana.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah keluaran *beam and ball system* dengan nilai *error steady state* sebesar 1%, 1.6% dan 3.67%, dan nilai *overshoot* sebesar 6.7%, 28.8%, dan 22.7%.

**Kata kunci:** *Beam and ball system*, PID

### Abstract

*Beam and ball system* is the sytem t consisted of rectangular block and a ball. *Beam and ball system* is popular system in learning about control system. *Beam and ball system* is the most used plant model for educational purpose. *Beam and ball system* often used because of its simplicity, easy to understand, and a lot of controlling method can be applied in this sytem.

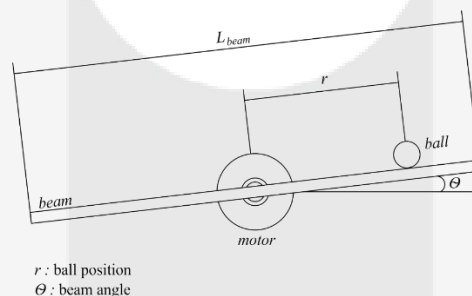
*Beam and ball system* consisted a sensor, a rectangular block integrated with electrical motor and a ball. This sytem works by detecting the movement of the ball on the rectangular block. When the ball is moving, the electrical will propel the rectangular block to reach the desired setting point of the ball. To obtain output with minimum error and simple controlling method, PID controller is used.

The results from this experiment are *beam and ball system* output with 1%, 1.6%, 3.67% of error steady state and 6.7%, 28.8%, 22.7% overshoot.

**Keywords:** *Beam and ball system*, PID controller

## 1. Pendahuluan

*Beam and ball system* adalah sebuah sistem yang terdiri dari sebuah bidang segi empat (*beam*) dan sebuah bola (*ball*). *Beam and ball system* adalah salah satu alat peraga yang umum digunakan dalam mempelajari sistem kendali. *Beam and ball system* sering digunakan sebagai alat peraga karena mudah dimengerti sebagai sistem dan berbagai metode kendali dapat diterapkan pada sistem ini.



Gambar 1. 1: *Beam and ball system*

*Beam and ball system* terdiri atas input, controller, dan aktuator. Input pada sistem didapat dari selisih nilai *setpoint* dan aktual (hasil pembacaan sensor). Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor citra atau kamera. Kamera memiliki kelebihan yakni dapat melakukan pengukuran tanpa harus melakukan kontak langsung dengan objek yang diteliti [3]. Kekurangan dari sensor kamera adalah responnya yang lambat dikisaran 30 fps [3]. Controller yang akan digunakan dalam *beam and ball system* ini adalah PID Controller.

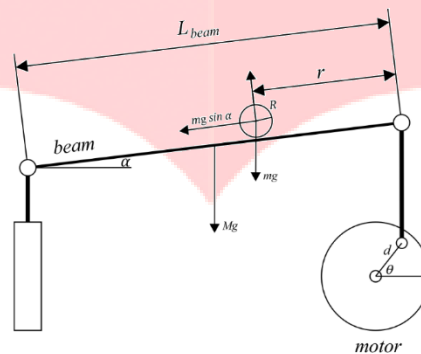
PID Controller adalah metode kendali yang umum dan dapat dirancang berdasarkan model atau non model. Kendali proporsional (P) dapat mengurangi *rise time*, dan mengurangi *error steady state*. Kendali integral (I) dapat mengurangi *error steady state* namun mengurangi respon transien. Kendali derivative (D) meningkatkan

kestabilan sistem, mengurangi *overshoot*, dan meningkatkan respon transien. Kendali PID menghasilkan respon *steady state* yang baik [2]. Aktuator yang akan digunakan dalam *beam and ball system* adalah motor servo. Cara kerja dari *beam and ball system* adalah mengubah posisi bola dengan menggerakkan beam sampai bola berhenti pada posisi yang ditentukan.

## 2. Dasar Teori dan Perancangan

### 2.1 *Beam and Ball System*

*Beam and ball system* adalah sebuah sistem kendali yang terdiri dari sebuah bidang persegi panjang dan sebuah bola. *Beam and ball system* adalah sistem yang umum digunakan sebagai alat peraga dalam pembelajaran metode sistem kendali[4]. *Beam and ball system* ini sering digunakan sebagai alat peraga karena sederhana dan juga hampir semua metode sistem kendali dapat diterapkan pada sistem ini[4].



Gambar 2. 1.1: Mekanika beam and ball sytem Hauser[6]

*Beam and ball system* bekerja dengan membaca posisi bola untuk mengendalikan bidang persegi panjang agar bola dapat mencapai keadaan yang seimbang atau diam pada posisi yang ditentukan. Dalam penelitian tugas akhir ini, mekanika *beam and ball system* yang akan digunakan adalah mekanika yang dideskripsikan oleh Hauser[9] seperti yang tertera pada gambar 2.1.1. Mekanika Hauser[6] menggunakan metode lagrange dengan persamaan sebagai berikut.

Mekanika Hauser[9] menggunakan metode lagrange dengan persamaan sebagai berikut.

$$0 = \left( \frac{J_b}{R^2} + m \right) \ddot{r} + mg \sin \alpha - mr \dot{\alpha}^2 \quad (2-1)$$

Linearisasi persamaan (2-1), dengan  $\alpha = 0$  maka didapat:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} = -mg\alpha \quad (2-2)$$

Persamaan hubungan antara sudut *beam* dengan sudut servo:

$$\alpha = \frac{d}{L} \theta \quad (2-3)$$

Hasil substitusi persamaan (2-3) dengan (2-2) adalah:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} = -mg \frac{d}{L} \theta \quad (2-4)$$

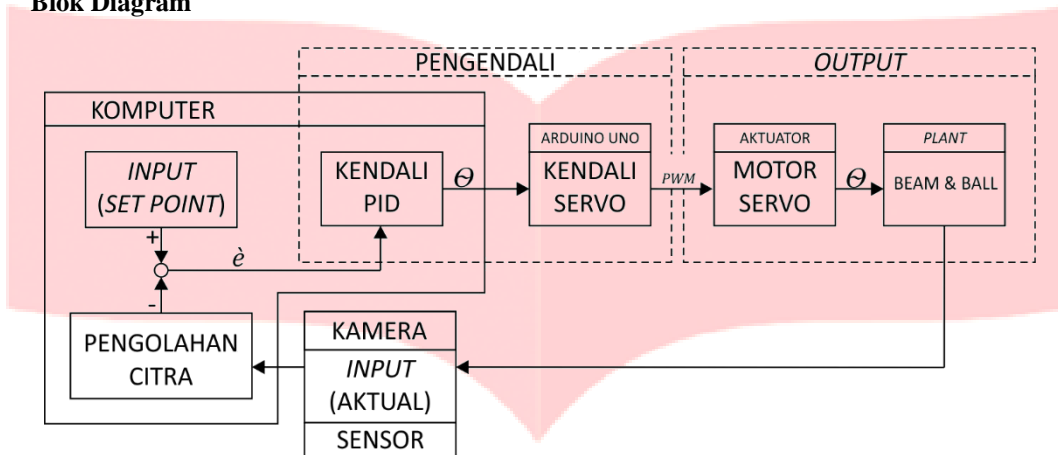
Transformasi laplace dari (2-4) adalah:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) R(s)s^2 = -mg \frac{d}{L} \theta(s) \quad (2-5)$$

Fungsi transfer dari (2-5) adalah:

$$\frac{R(s)}{\theta(s)} = -\frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2}+m\right)} \frac{1}{s^2} \left[ \frac{m}{\text{rad}} \right] \quad (2-6)$$

## 2.2 Blok Diagram

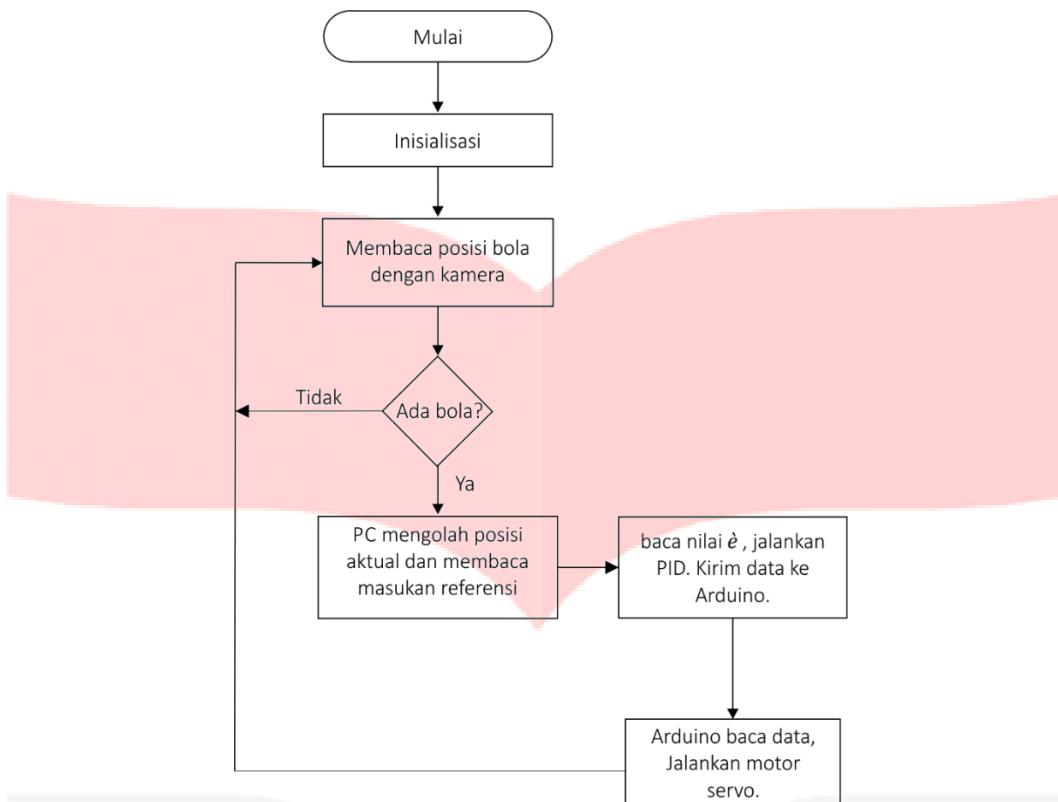


Gambar 2. 2: Diagram Blok Sistem

Pada gambar 2.2, sistem kendali *beam and ball* terdiri dari *input*, *pengendali*, *output*, dan sensor. Pada bagian *input* terdiri dari *input* referensi (*set point*) dan *input* aktual (sensor). Pada bagian *pengendali* terdapat blok komputer dan blok arduino UNO. Pada blok komputer, terdapat dua proses yaitu *image processing* dan kendali PID. Pada *image processing* didapat *input* aktual, kemudian *input* aktual akan dikurangi *input* referensi (*set point*) menghasilkan nilai *error* yang kemudian nilai *error* tersebut dimasukan ke persamaan di kendali PID. Hasil dari blok komputer dikirim ke Arduino UNO melalui koneksi serial, lalu akan dieksekusi oleh Arduino UNO untuk menjalankan motor servo. Bagian *output* terdiri dari motor servo yang terintegrasi dengan *plant beam and ball*. Bagian Sensor berfungsi untuk mendapatkan kordinat posisi bola yang sebenarnya atau *input* aktual.

## 2.3 Perancangan Software

Perancangan *software* pada *ball and beam system* adalah merancang sebuah algoritma yang dapat digunakan sesuai dengan sistem keseluruhan. Pada perancangan *software* ini, *software* yang digunakan adalah Microsoft Visual Studio 2015 Community Edition, dan Arduino IDE.



Gambar 2.3. Flow chart sistem

**3. Pengujian dan Analisis**

Pengujian dilakukan dengan mengambil gambar posisi bola dalam keadaan diam maupun dalam keadaan bergerak. Pengujian dibagi sebanyak dua pengujian, pengujian pertama adalah menguji kemampuan kamera dalam kondisi pencahayaan yang cukup, dan pengujian kedua adalah pengujian sistem secara keseluruhan.

**3.1 Pengujian Kamera**

Pengujian kamera dilakukan untuk mendapatkan jumlah data yang didapat setiap waktu yang ditentukan.. Kemampuan kamera yang digunakan mampu mengambil gambar maksimum sebanyak 30 fps dengan resolusi 640x320. Waktu pengujian dilakukan selama 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 10s, dan 60 s dengan jumlah pengujian masing-masing sebanyak 10 kali.

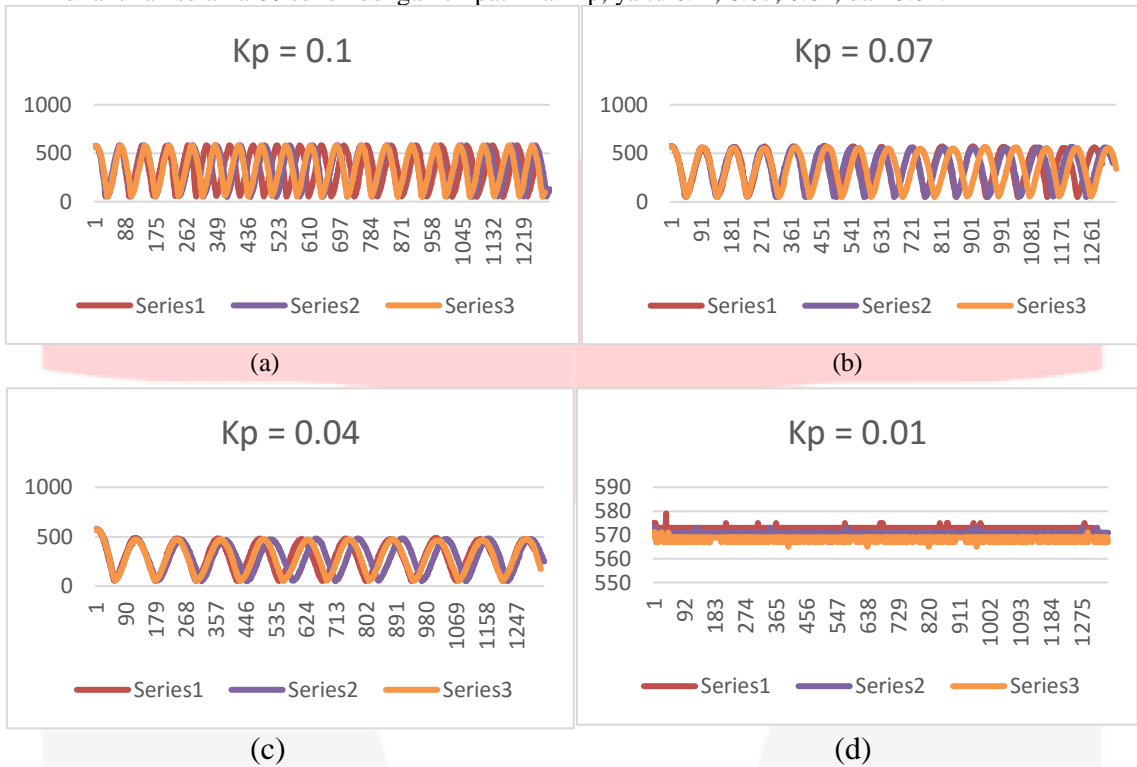
**Tabel 3.1: Hasil pengujian kamera**

Percobaan Ke	Jumlah Frame per						
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	10 s	60 s
1	8	33	55	83	109	206	1488
2	10	33	50	73	99	206	1437
3	9	28	54	70	107	233	1400
4	8	31	50	74	104	225	1444
5	10	32	53	87	105	238	1414
6	10	31	56	89	108	243	1535
7	10	27	55	73	99	231	1555
8	8	33	43	87	94	223	1543
9	9	32	55	85	115	236	1540
10	9	30	50	85	102	229	1520
Rata-rata	9,1	31	52,1	80,6	104,2	227	1487,6

Dari tabel 3.1 dapat diambil kesimpulan bahwa jumlah gambar yang didapat pada waktu yang ditentukan tidak sama.

**3.2 Pengujian sistem kendali P**

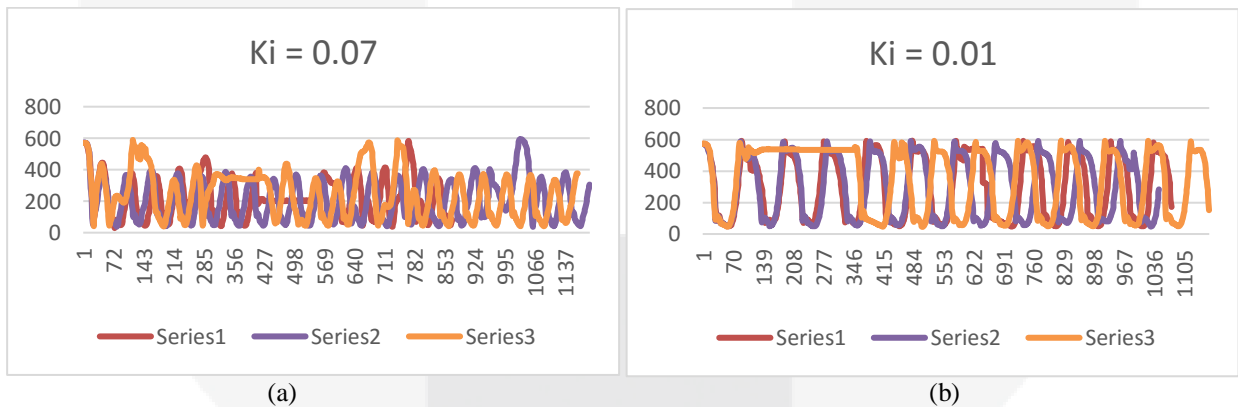
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui fungsi kendali P pada hasil keluaran sistem. Nilai set point yang digunakan adalah 300px, sedangkan nilai start point yang digunakan adalah +/- 575px. Pengujian dilakukan selama 60 detik dengan empat nilai Kp, yaitu 0.1 , 0.07, 0.04, dan 0.01.

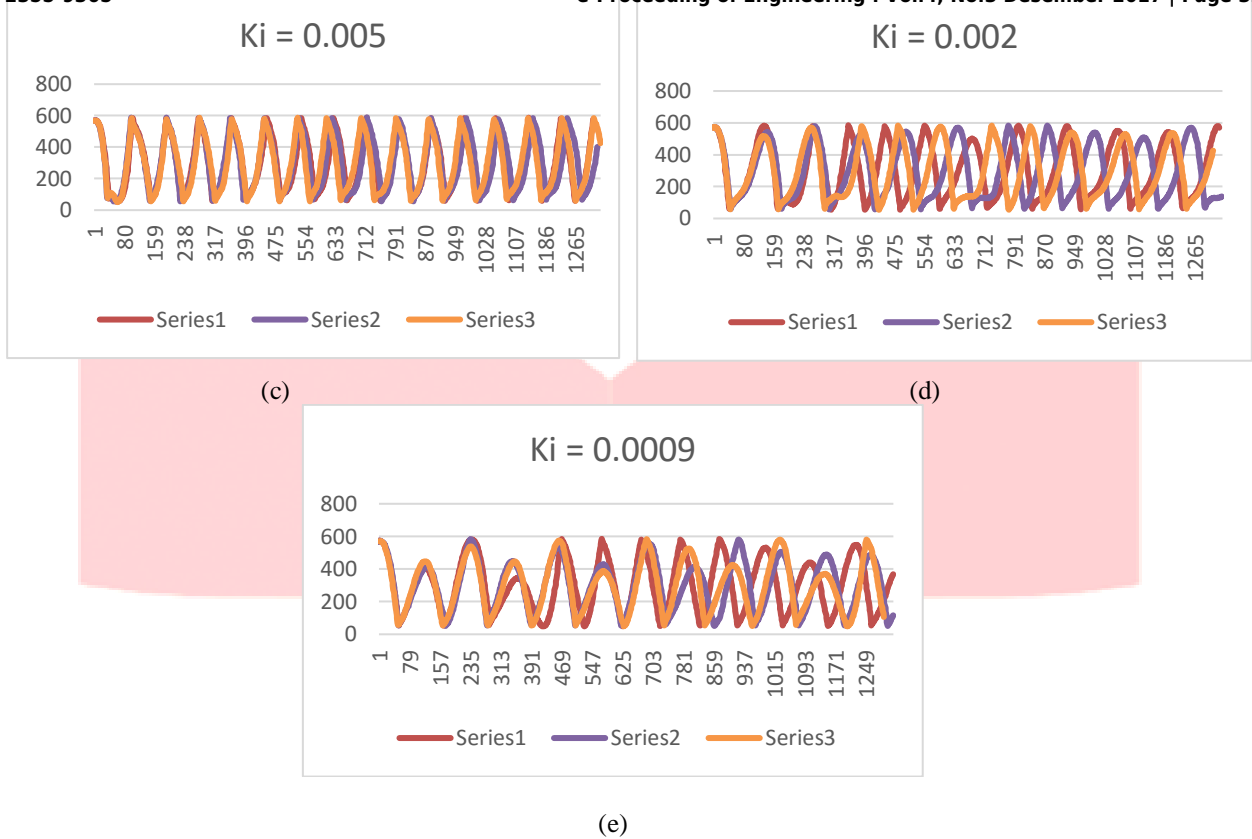


Gambar 3.2: (a),(b),(c),(d) Hasil pengujian sistem kendali P

**3.3 Pengujian sistem kendali PI**

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh parameter kendali I bila digabungkan dengan parameter kendali P. Nilai set point yang digunakan adalah 300px, sedangkan nilai start point yang digunakan adalah +/- 575px. Pengujian dilakukan selama 60 detik dengan satu nilai Kp, yaitu 0.04 dan lima nilai Ki yaitu 0.07, 0.01, 0.005, 0.002 dan 0.0009. Pemilihan nilai Kp berdasarkan hasil pengujian 3.2.

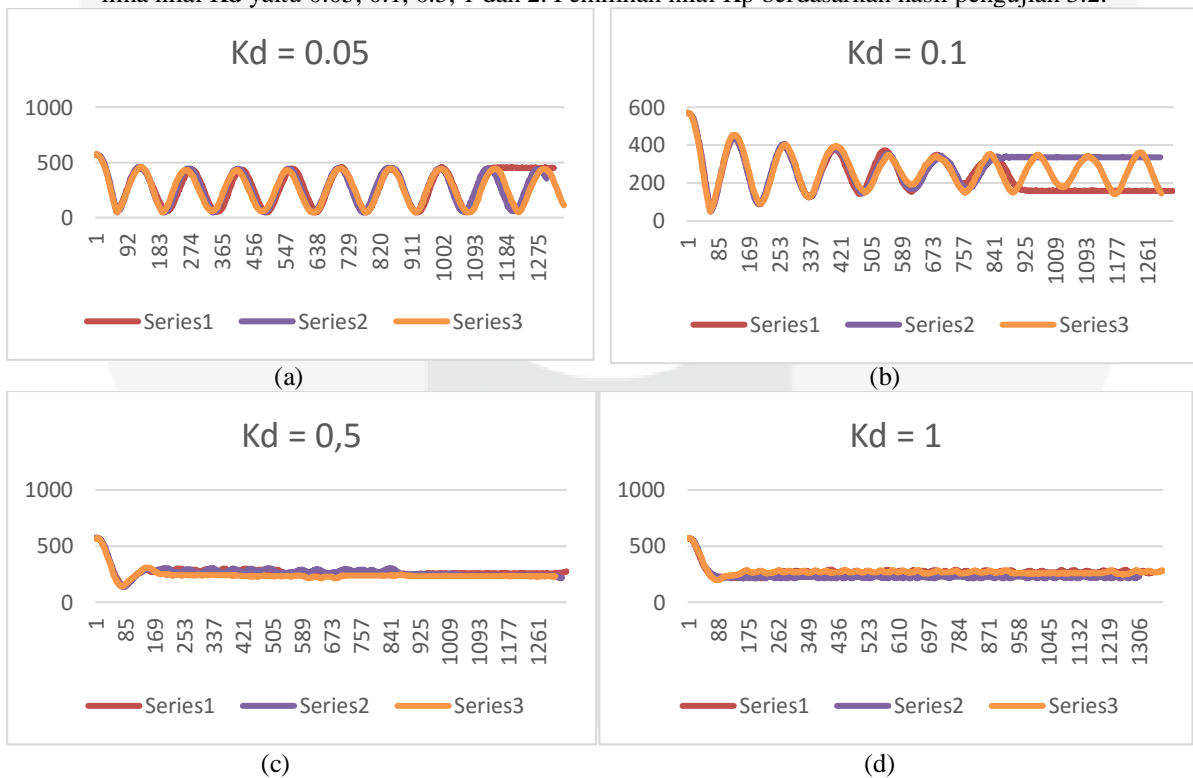


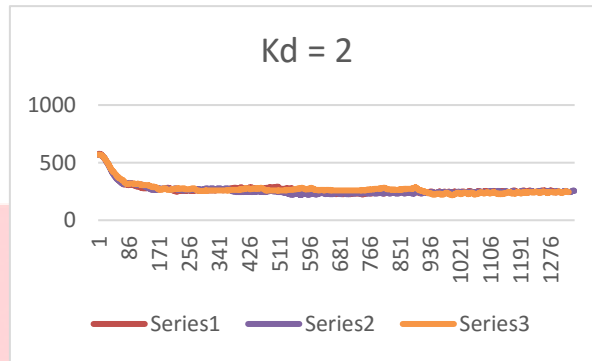


Gambar 3.3: (a),(b),(c),(d),(e) Hasil pengujian sistem kendali PI

### 3.4 Pengujian sistem kendali PD

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh parameter kendali D bila digabungkan dengan parameter kendali P. Nilai set point yang digunakan adalah 300px, sedangkan nilai start point yang digunakan adalah +/- 575px. Pengujian dilakukan selama 60 detik dengan satu nilai  $K_p$ , yaitu 0.04 dan lima nilai  $K_d$  yaitu 0.05, 0.1, 0.5, 1 dan 2. Pemilihan nilai  $K_p$  berdasarkan hasil pengujian 3.2.



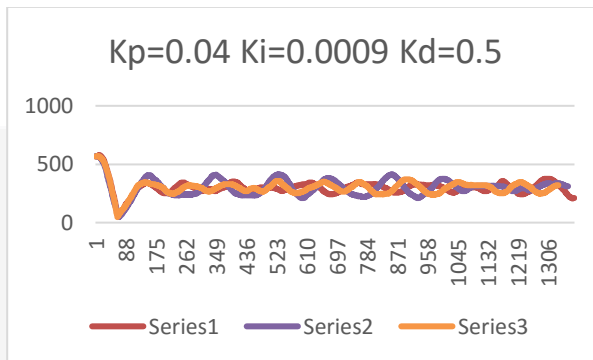


(e)

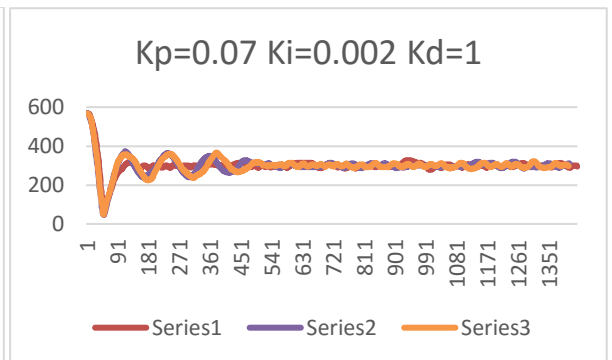
Gambar 3.4: (a),(b),(c),(d),(e) Hasil pengujian sistem kendali PD

### 3.5 Pengujian sistem kendali PID

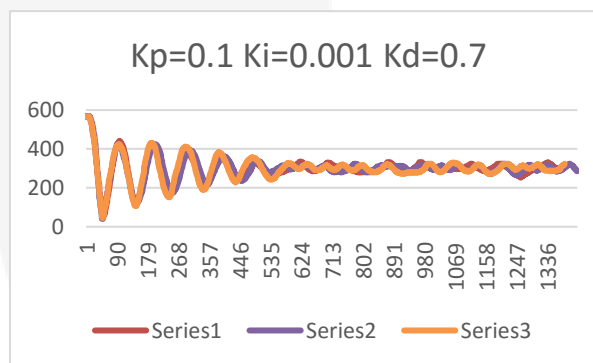
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh parameter kendali I dan D bila digabungkan dengan parameter kendali P. Nilai set point yang digunakan adalah 300px, sedangkan nilai start point yang digunakan adalah +/- 575px. Pengujian dilakukan selama 60 sekon dengan empat nilai Kp, yaitu 0.04, 0.07, 0.1, dan 0.06, empat nilai Ki dan empat nilai yaitu 0.0009, 0.002, 0.001, dan 0.0008 dan tiga nilai Kd yaitu 0.5, 0,7 dan 1.



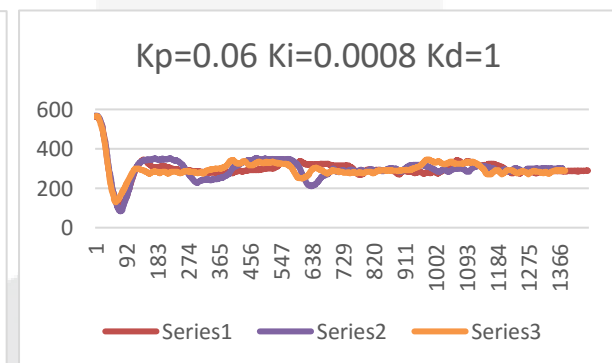
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.5:(a),(b),(c),(d) Hasil pengujian kendali PID

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian kamera didapatkan bahwa mengambil *frame* dalam satu waktu dan dilakukan secara berulang menghasilkan jumlah *frame* yang berbeda.
2. Penggunaan parameter P saja hanya menyebabkan osilasi terhadap keluaran sistem. Semakin besar nilai Kp semakin rapat osilasi yang terjadi dan semakin cepat *rise time*.
3. Parameter I (Ki) menyebabkan kenaikan orde sistem serta menyebabkan ketidakstabilan sistem. Semakin besar nilai Ki, mengakibatkan ketidak stabilan sistem.
4. Parameter D (Kd) dapat meredam osilasi.
5. Hasil keluaran sistem kendali PID yang paling bagus memiliki *error steady state* sebesar 1%, 1.6% dan 3.67%, dan nilai *overshoot* sebesar 6.7%, 28.8%, dan 22.7%.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Wilson, Jon S. 2005. *Sensor Technology Handbook*. United States of America : Elsevier.
- [2] Johnson, Michael A and Moradi, Mohammad H. 2005. *PID Control New Identification and Design Methods*. United States of America : Springer.
- [3] Alejandro-israel Barranco- Gutiérrez, Jesús Sandoval-Galarza, and Saúl Martínez-Díaz. 2007. *Camera as Position Sensor for a Ball and Beam Control System*. Mexico: Computación y Sistemas, Vol. 19, No.2, 2015.
- [4] Ball and beam 1” [Online]. Available: <http://control-systems-principles.co.uk/whitepapers/ball-and-beam1.pdf>. [Diakses 2016]
- [5] Mohd Fuaad Rahmat, Herman Wahid and Norhaliza Abdul Wahab. *Application of Intelligent Controller in A Ball and Beam Control System*. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 3, No.1, March 2010.
- [6] J. Hauser, S. Sastry and P. Kokotovic, “Nonlinear control via approximate input-output linearization: ball and beam example”, IEEE Transaction on Automatic Control, Vol.37, 1992.