



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Agar mencapai tujuan yang diharapkan, maka adapun tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Studi literatur

Melakukan telaah beberapa pustaka terkait dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan *magnetic levitation ball*, metode sistem kendali pada *magnetic levitation ball*, pengendalian gerakan *magnetic levitation ball* dan sistem kendali PID dan *Gain scheduling*.

##### 2. Pengujian *plant magnetic levitation ball*

Pemodelan yang telah diperoleh perlu diuji dengan respon pada *plant* sebelum didesain pengendali. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan sudah sesuai dengan referensi dan apakah formulasi yang digunakan sesuai untuk sistem kendali yang akan dibuat.

##### 3. Pemilihan pengendali

Pada penelitian ini penulis memilih pengendali PID untuk mengendalikan *magnetic levitation ball* dengan menggunakan kendali PID dengan skema *gain scheduling*.

##### 4. Desain pengendali

Perancangan pengendali dimulai dengan melakukan pengujian menggunakan parameter *tuning* P, I dan D. Hasil dari kendali PID ini akan dijadikan *input* untuk *gain scheduling* agar mendapatkan beberapa kondisi yang mungkin terjadi selama pengontrolan dan *setpoint* yang diinginkan dari kondisi masing-masing.

##### 5. Simulasi Sistem

Membuat program simulasi untuk pengujian pengendali yang didesain melakukan serangkaian simulasi pengujian untuk mengetahui kinerja dan ketahanan sistem.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

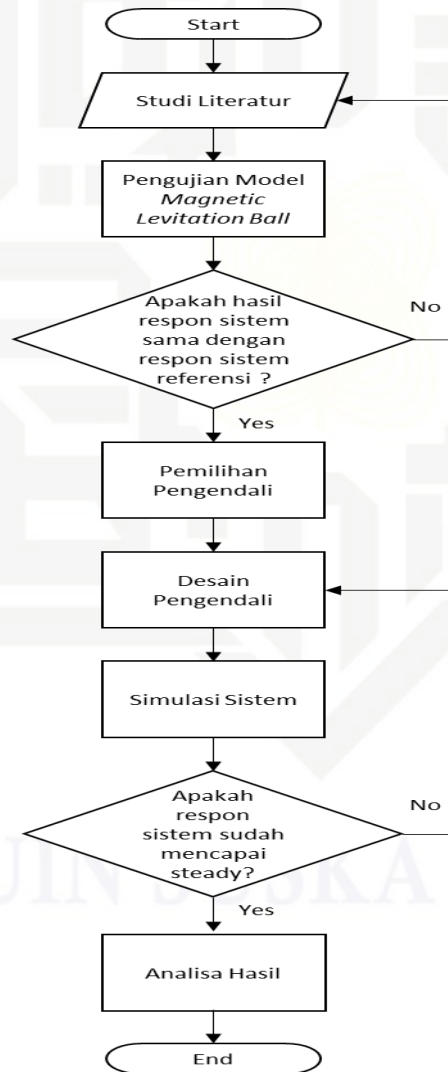
**6. Analisa hasil pengujian**

Melakukan analisis hasil pengujian dan mengklarifikasi hasil tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Apabila telah memenuhi tujuan berarti penelitian telah berhasil, dan apabila belum memenuhi maka perlu dikaji lebih lanjut.

**7. Kesimpulan**

Jika hasil evaluasi menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai maka akan ditarik kesimpulan untuk menegaskan gagasan yang diusulkan telah selesai dilaksanakan dan memenuhi tujuan penelitian.

Secara umum tahapan penelitian diatas digambarkan seperti gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

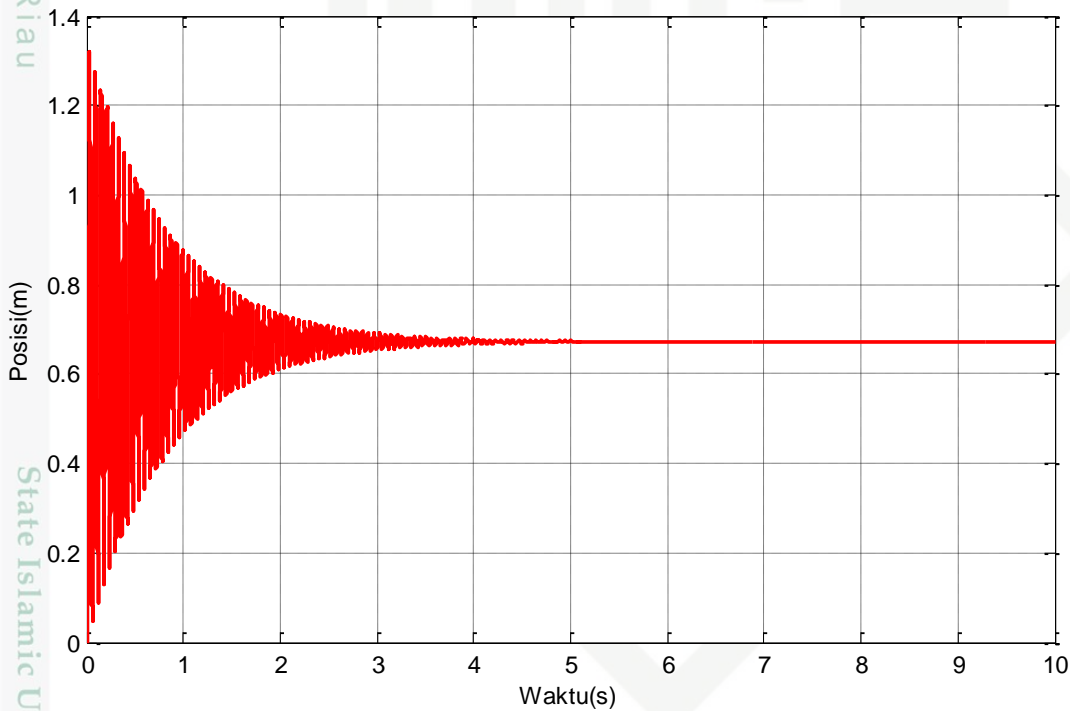


### 3.2 Pengujian *Plant Magnetic Levitation Ball*

Dari model *state space magnetic levitation ball* yang dijelaskan di persamaan (2.27), matrix A dan B adalah parameter nilai dari  $x_{1SS}$  yang artinya model *state space* tersebut dapat bervariasi sesuai dengan jarak penempatan ball tersebut dengan memberikan input tegangan sebesar 0.5V.

$$TF = \frac{\text{Posisi}}{\text{Tegangan}} = \frac{x}{V} = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s + 10966.031}$$

Hasil simulasi dari sistem closed loop (2.31) di perlihatkan di MATLAB program sebagai berikut:



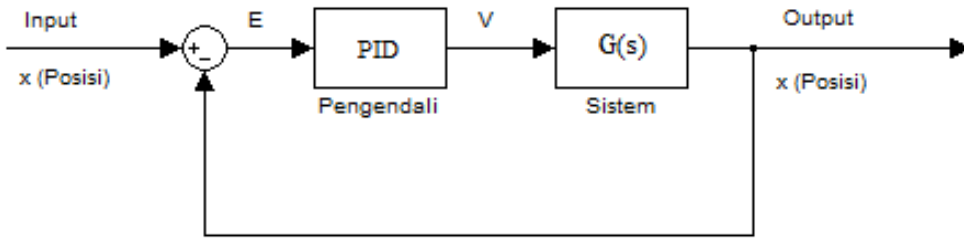
Gambar 3.2 Respon sistem *magnetic levitation ball*

### 3.3 Desain Pengendali PID

Berdasarkan dari bentuk umum pengendali PID pada persamaan 2.28 maka diagram blok sistem perancangan pengendali PID untuk posisi pada *magnetic levitation ball* sebagai berikut :

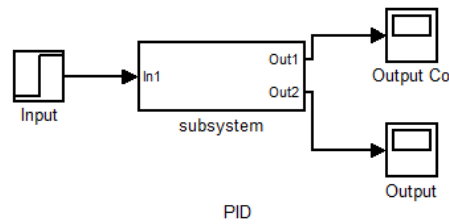
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

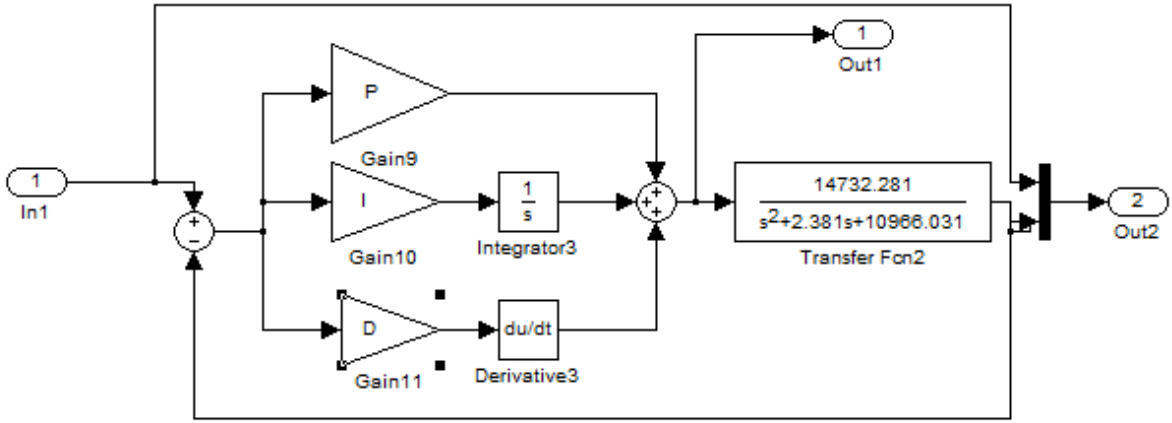


Gambar 3.3 Diagram blok *magnetic levitation ball* menggunakan pengendali[2]

### 3.3.1 Desain Pengendali PID Posisi 0.01m



Gambar 3.4 Diagram blok pengendali PID pada posisi 0.01m

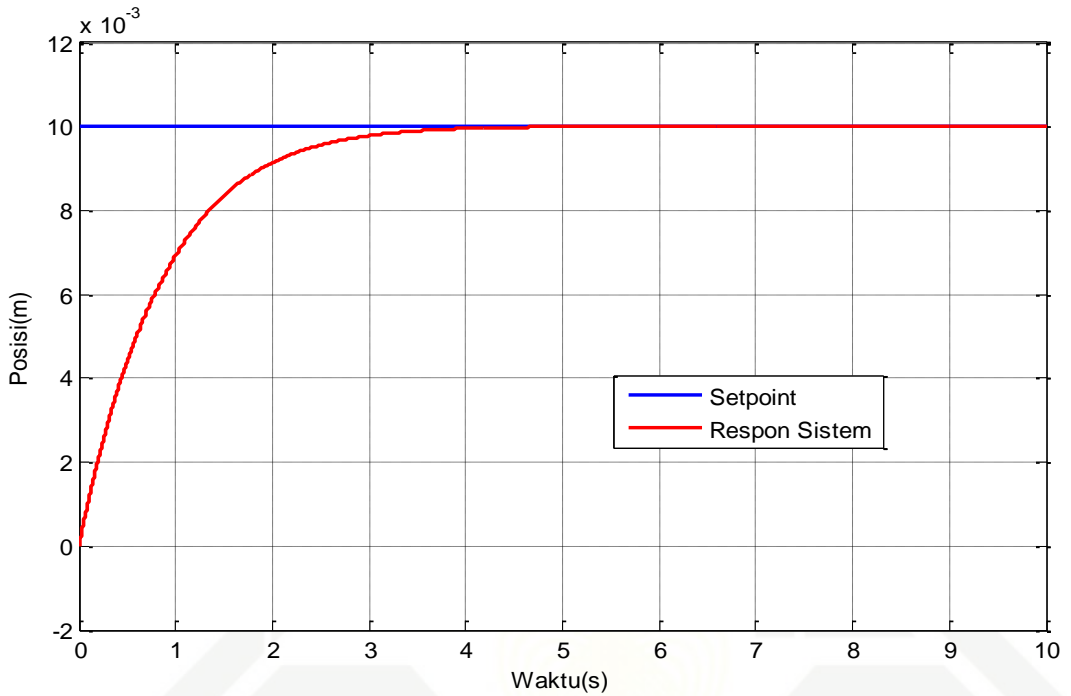


Gambar 3.5 Diagram blok *subsystem* pengendali PID pada posisi 0.01m

Pengendali PID yang digunakan adalah metode heuristik. Metode heuristik adalah suatu aturan metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan, sehingga didapat parameter  $K_p$  0,8,  $T_i$  0,9 dan  $T_d$  0,7, maka langkah



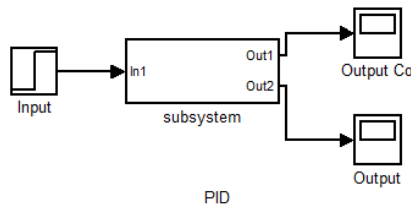
selanjutnya adalah menganalisa respon sistem posisi *magnetic levitation ball* tersebut dari hasil simulasi yang berada pada gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.6 Respon sistem PID posisi 0.01m

Bahwa setelah diberikan setpoint 0,01, hasil simulasi dari pengendali PID tercapai pada setpoint dengan menggunakan parameter PID metode heuristik.

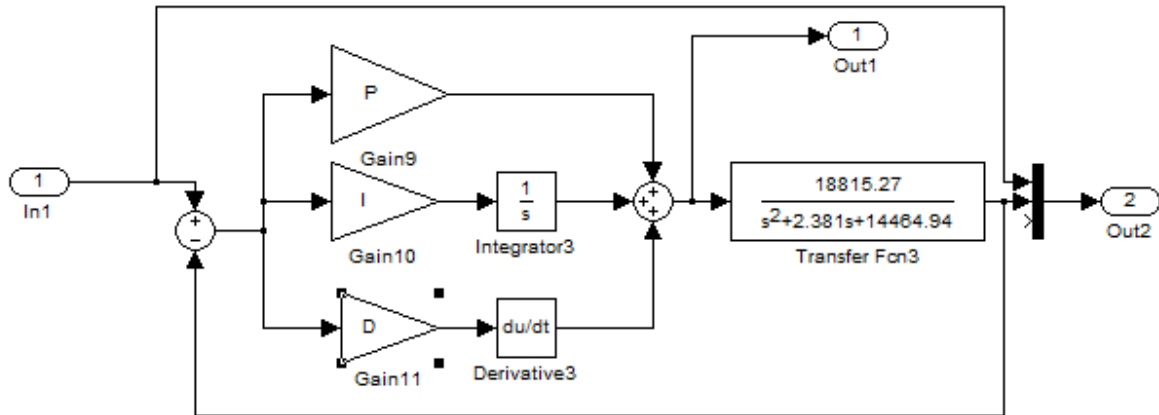
### 3.3.2 Desain Pengendali PID Posisi 0.0125m



Gambar 3.7 Diagram blok pengendali PID pada posisi 0.0125m

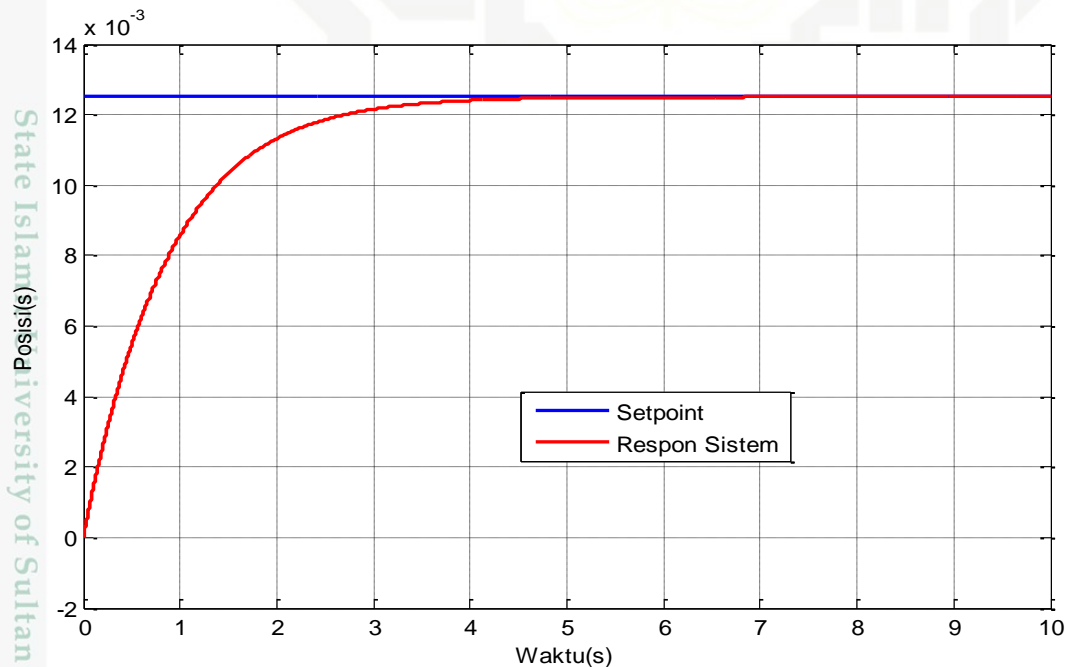
Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penulisan karya tulis ini adalah sebagai berikut:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.8 Diagram *subsystem* blok pengendali PID pada posisi 0.0125m

Pengendali PID yang digunakan adalah metode heuristik. Metode heuristik adalah suatu aturan metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan, sehingga didapat parameter  $K_p$  0.8,  $T_i$  0.9 dan  $T_d$  0.7, maka langkah selanjutnya adalah menganalisa respon sistem posisi *magnetic levitation ball* tersebut dari hasil simulasi yang berada pada gambar 3.7 berikut :



Gambar 3.9 Respon sistem PID posisi 0.0125m

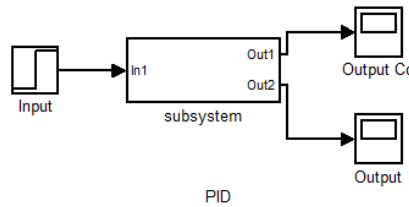
1. Ularang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengummukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

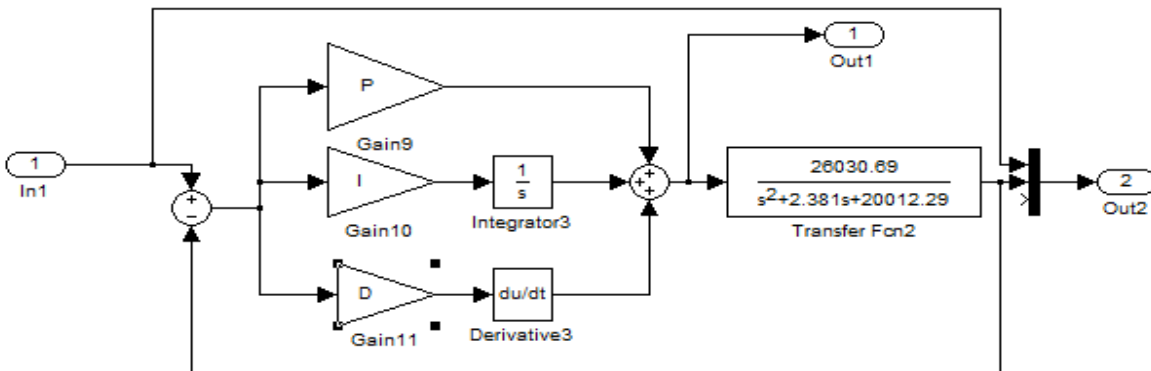


Bahwa setelah diberikan setpoint 0,0125, hasil simulasi dari pengendali PID tercapai pada setpoint dengan menggunakan parameter PID metode heuristik.

### 3.3.3 Desain Pengendali PID Posisi 0.015m



Gambar 3.10 Diagram blok pengendali PID pada posisi 0.015m



Gambar 3.11 Diagram blok pengendali PID pada posisi 0.015m

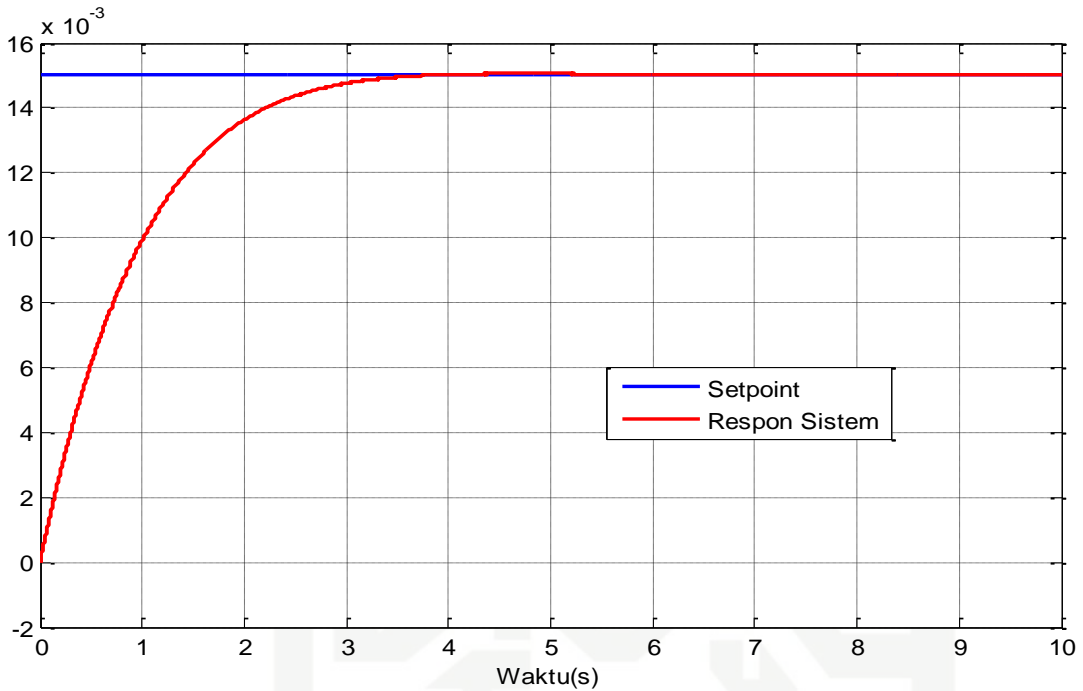
Pengendali PID yang digunakan adalah metode heuristik. Metode heuristik adalah suatu aturan metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan, sehingga didapat parameter  $K_p$  0.8,  $T_i$  0.9 dan  $T_d$  0.8, maka langkah selanjutnya adalah menganalisa respon sistem posisi *magnetic levitation ball* tersebut dari hasil simulasi yang berada pada gambar 3.9 berikut :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.12 Respon sistem PID posisi 0.015m

Bahwa setelah diberikan setpoint 0.015, hasil simulasi dari pengendali PID tercapai pada setpoint dengan menggunakan parameter PID metode heuristik

**3.4 Desain PID Gain Scheduling**

Dalam perancangan awal *gain scheduling* harus menentukan jangkauan nilai *scheduler variable* (SV) untuk setiap kondisi yang sedang dihadapi. SV ditentukan berdasarkan titik tengah antara kondisi. Dalam penelitian ini digunakan 3 kondisi pada table

3.4 berikut:







Tabel 3.1 Himpunan parameter PID untuk tiga kondisi

	Kp	Ti	TD
Kondisi 1: 0.01m < SV < 0.0125m	Kp1	Ti1	TD1
Kondisi 2: 0.0125m < SV < 0.015m	Kp2	Ti2	TD2
Kondisi 3: SV > 0.015m	Kp3	Ti3	TD3

**3.4.1 Desain PID gain scheduling pada Posisi 0.01 m**

Pengujian *Bump Test* yang dilakukan adalah dengan memberi respon tangga *control output* (CO) pada keadaan tetap di posisi 0.01 m sebagai berikut :

$$t_{1/3} = \frac{1}{3} \Delta y = \frac{1}{3} 0.01 = 0.0034 \approx 0.362s$$

$$t_{2/3} = \frac{2}{3} \Delta y = \frac{2}{3} 0.01 = 0.0067 \approx 0.954s$$

$$\tau_p = \frac{1}{0.7} (0.954 - 0.362) = \frac{1}{0.7} 0.592 = 0.846$$

$$\theta_p = 0.362 + (0.4)0.846 = 0.362 + 0.338 = 0.7$$

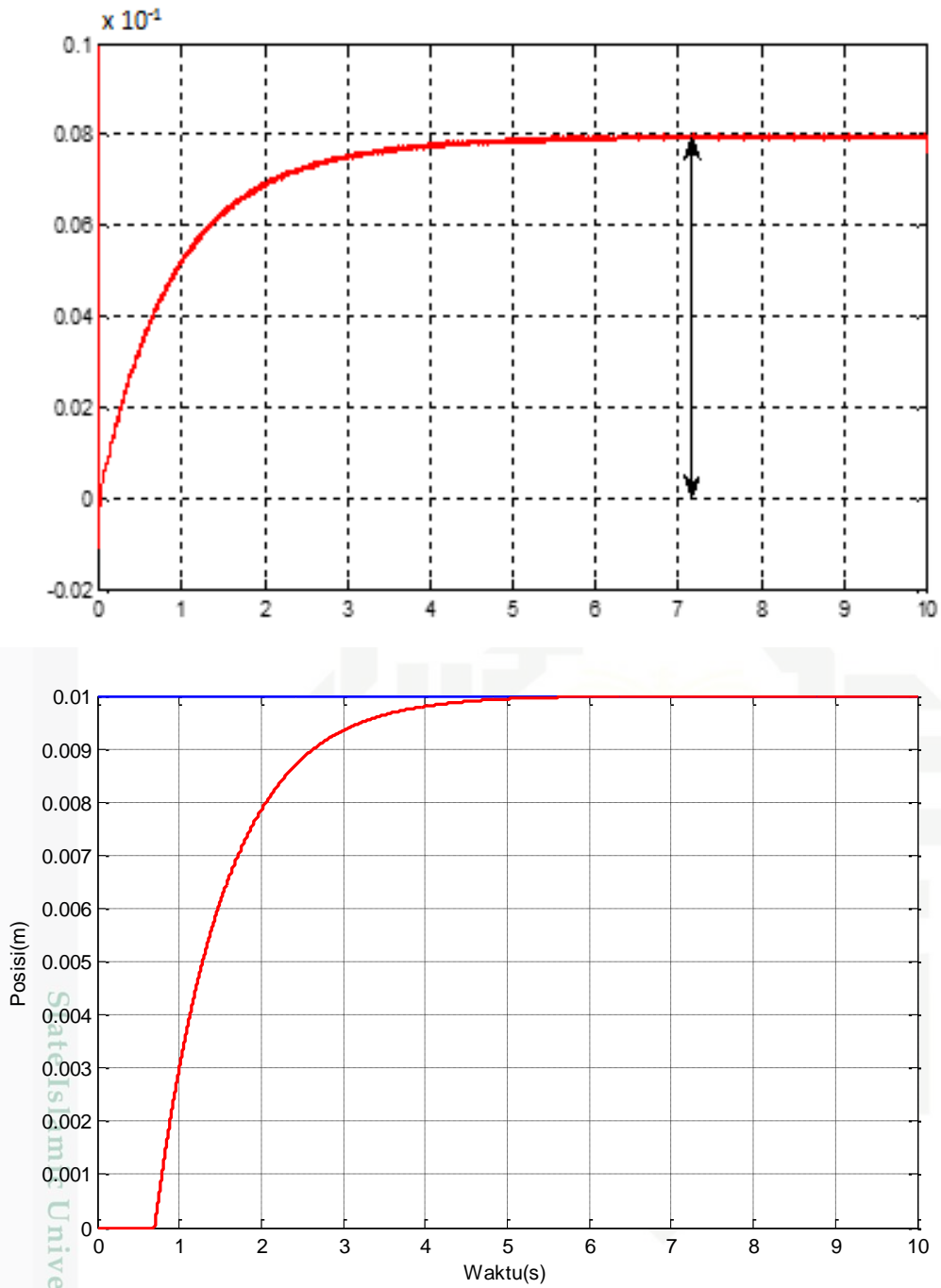
$$K_p = \frac{0.01}{0.01} = 1$$

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 2. Dilarang mengutip, memperbanyak atau menerbitkan seluruhnya tanpa izin dari penerbit atau pencantuman dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengutipkan dan memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU  
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

1. Ujirang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.13 Pengujian *Bump Test* Posisi 0.01m



Dari gambar 3.10 dapat dihitung nilai parameter proses sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} = \frac{0.01 - 0}{0.0074 - 0} = 1.34$$

$$L = 0.7$$

$$T = 63\% \cdot 0.1 = 0.063 \approx 1.52 - 0.7 = 0.82$$

Dari nilai-nilai diatas dapat dicari parameter PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* berdasarkan persamaan pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1.2T}{K.L} = \frac{1.2 \cdot 0.82}{1.34 \cdot 0.7} = 1.04$$

$$T_i = 2.L = 2 \cdot 0.7 = 1.4$$

$$T_d = 0.5 \cdot 0.7 = 0.35$$

### 3.4.2 Desain PID *gain scheduling* pada Posisi 0.0125 m

Pengujian *Bump Test* yang dilakukan adalah dengan memberi respon tangga *control output* (CO) pada keadaan tetap di posisi 0.0125 m sebagai berikut:

$$t_{\frac{1}{3}} = \frac{1}{3} \Delta y = \frac{1}{3} 0.0125 = 0.0042 \approx 0.356s$$

$$t_{\frac{2}{3}} = \frac{2}{3} \Delta y = \frac{2}{3} 0.0125 = 0.0083 \approx 0.953s$$

$$\tau_p = \frac{1}{0.7} (0.953 - 0.356) = \frac{1}{0.7} 0.597 = 0.853$$

$$\theta_p = 0.356 + (0.4)0.853 = 0.356 + 0.341 = 0.697$$

$$K_p = \frac{0.0125}{0.0125} = 1$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

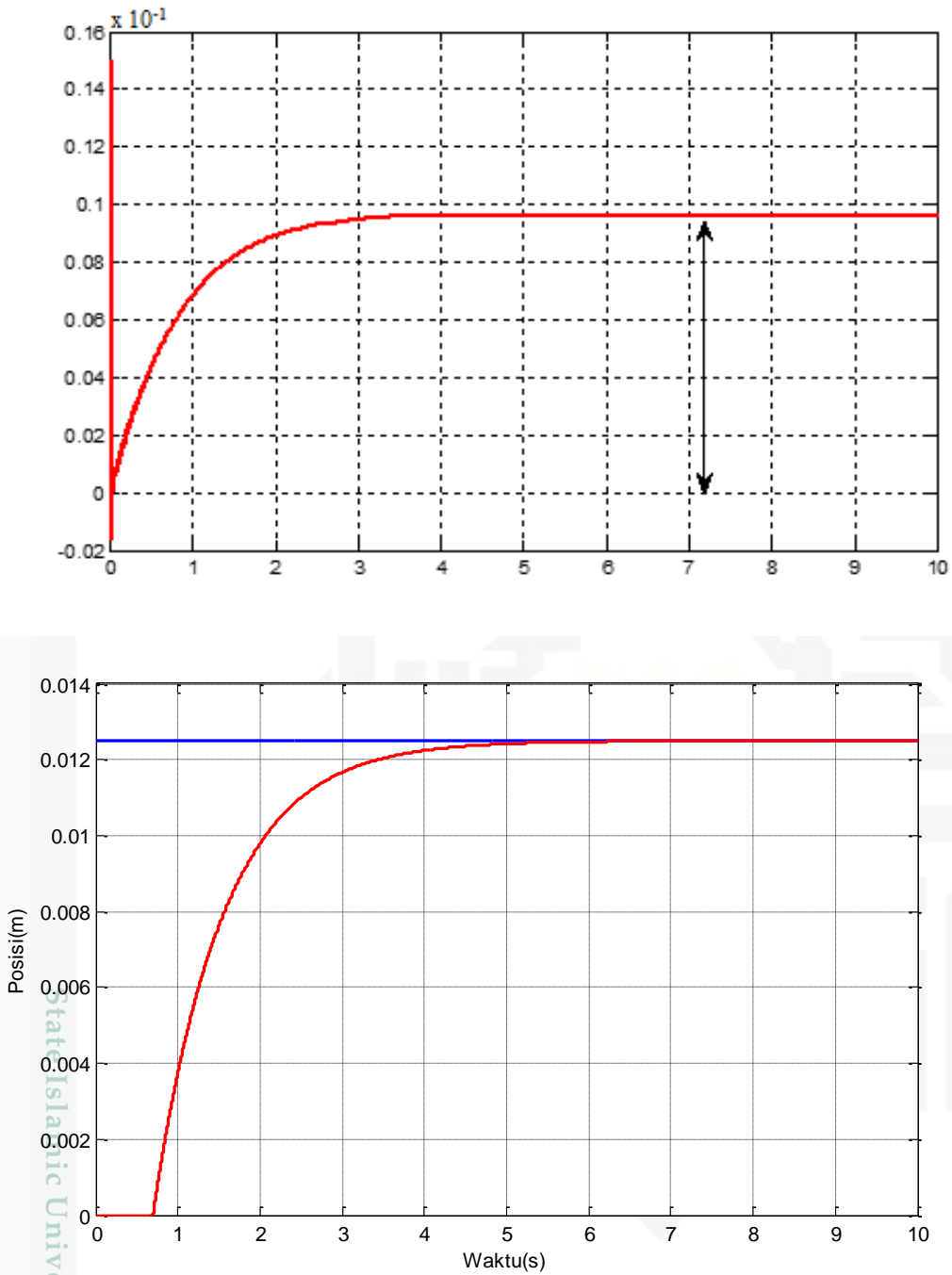
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.14 Pengujian *Bump Test* Posisi 0.0125m



Dari gambar 3.11 dapat dihitung nilai parameter proses sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} = \frac{0.0125 - 0}{0.0093 - 0} = 1.34$$

$$L = 0.697$$

$$T = 63\% \cdot 0.125 = 0.0078 \approx 1.52 - 0.697 = 0.82$$

Dari nilai-nilai diatas dapat dicari parameter PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* berdasarkan persamaan pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1.2.T}{K.L} = \frac{1.2 \cdot 0.82}{1.34 \cdot 0.697} = 1.027$$

$$T_i = 2.L = 2 \cdot 0.697 = 1.394$$

$$T_d = 0.5 \cdot 0.697 = 0.348$$

### 3.4.3 Desain PID *gain scheduling* pada Posisi 0.015 m

Pengujian Bump Test yang dilakukan adalah dengan memberi respon tangga sinyal control (CO) pada keadaan tetap di posisi 0.015 m sebagai berikut :

$$t_{1/3} = \frac{1}{3} \Delta y = \frac{1}{3} 0.015 = 0.005 \approx 0.39s$$

$$t_{2/3} = \frac{2}{3} \Delta y = \frac{2}{3} 0.015 = 0.01 \approx 1.02s$$

$$\tau_p = \frac{1}{0.7} (1.02 - 0.39) = \frac{1}{0.7} 0.63 = 0.9$$

$$\theta_p = 0.39 + (0.4)0.9 = 0.39 + 0.36 = 0.75$$

$$K_p = \frac{0.015}{0.015} = 1$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

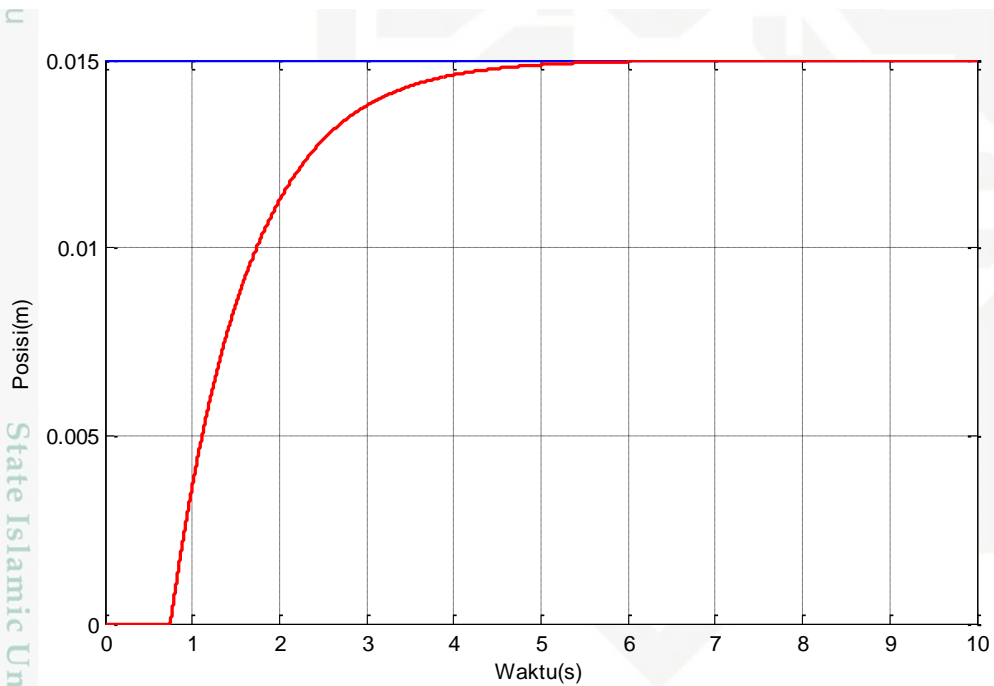
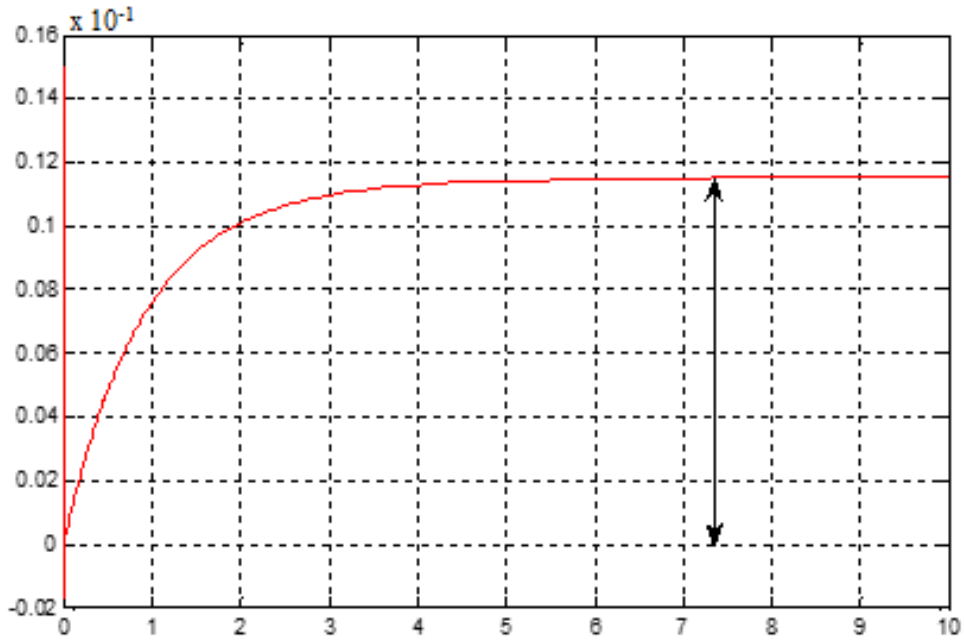
© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.15 Pengujian *Bump Test* Posisi 0.015m



Dari gambar 3.12 dapat dihitung nilai parameter proses sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} = \frac{0.015 - 0}{0.0112 - 0} = 1.339$$

$$L = 0.75$$

$$T = 63\% \cdot 0.015 = 0.0095 \approx 1.6 - 0.75 = 0.85$$

Dari nilai-nilai diatas dapat dicari parameter PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* berdasarkan persamaan pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

$$Kp = \frac{1.2T}{K.L} = \frac{1.2 \cdot 0.85}{1.34 \cdot 0.75} = 1.01$$

$$Ti = 2.L = 2 \cdot 0.75 = 1.5$$

$$Td = 0.5 \cdot 0.75 = 0.375$$

Sehingga hasil parameter PID *gain scheduling magnetic levitation ball* pada tiga kondisi adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Himpunan parameter PID untuk tiga kondisi

	Kp	Ti	TD
Kondisi 1: 0.01m<SV<0.0125m	1.04	1.4	0.35
Kondisi 2: 0.0125m<SV<0.015m	1.027	1.394	0.348
Kondisi 3: SV>0.015m	1.01	1.5	0.375

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau  
 Sultan Syarif Kasim Riau