



## 2.1 Penelitian Terkait

Berdasarkan penelitian sebelumnya banyak peneliti yang sudah membahas tentang *magnetic levitation ball* dan juga pengendalinya diantaranya, berdasarkan penelitian yang menganalisa kendali *gain scheduling* pada sistem kendali *valve* untuk pengendalian tinggi muka cairan pada limas terpancung. Hasil dari penelitian ini untuk *gain scheduling* referensi naik, menunjukkan semakin tinggi referensi yang diberikan semakin besar nilai respon sistem waktu naik dan waktu tunak. Hal ini disebabkan bertambahnya luasan yang dimiliki plant limas terpancung pada kenaikan ketinggian plant. Sedangkan pada pengujian referensi turun, menunjukkan penurunan ketinggian muka cairan mengakibatkan nilai respon sistem waktu turun semakin kecil [6].

Pada penelitian yang menganalisa aplikasi PID menggunakan skema *gain scheduling* untuk pengendalian suhu cairan pada plant *electric water heater*, hal ini dimaksudkan agar respon sistem yang dihasilkan menjadi lebih baik pada daerah respon yang memiliki beban yang berbeda. Pada kasus ini gangguan yang diberikan berupa gangguan aliran inlet. Pengendalian menggunakan metode PID *gain scheduling* ini sebelumnya dilakukan pencarian parameter kontroler PID pada beban-beban tertentu dengan menggunakan metode Ziegler Nichols I. Setelah didapatkan parameter-parameter kontroler tersebut kemudian membagi daerah proses untuk variasi penjadwalan sistem (SV). Hal ini dimaksudkan agar saat terjadi gangguan berupa perubahan aliran inlet, sistem dapat langsung menanggapi dengan cepat [7].

Penelitian yang berjudul desain dan implementasi kontroler PID *gain scheduling* untuk sistem pengaturan proses level pada proses kendali teknologi. Proses level yang mengalami perubahan nilai *setpoint* secara langsung tidak sesuai dengan keluaran pompa air, sehingga perubahan tersebut dapat mengakibatkan keluaran menjadi tidak sesuai yang diinginkan. Oleh karena itu, dirancang suatu pengendali untuk mengatur kondisi menjadi linier pada *setpoint* yang sudah ditentukan, jika proses mengalami perubahan beban dan nilai *setpoint*, maka digunakan kendali PID dan metode *gain scheduling* untuk mengatasi masalah tersebut [8].



Penelitian pada *magnetic levitation ball* menggunakan PID untuk mempertahankan posisi atau jarak bola baja dari solenoid dengan berbagai ukuran masa bola baja. Jika bola baja terlalu dekat dengan elektromagnet maka benda akan menempel maka arus yang masuk di elektromagnetik harus dikurangi, tetapi jika objek terlalu jauh, maka arus pada elektromagnetik harus ditambah[9]. Sehingga dibutuhkan pengendali untuk mengatur posisi dari bola baja. Dari beberapa peneltian diatas diambil judul Pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball* menggunakan PID *Gain Scheduling*.

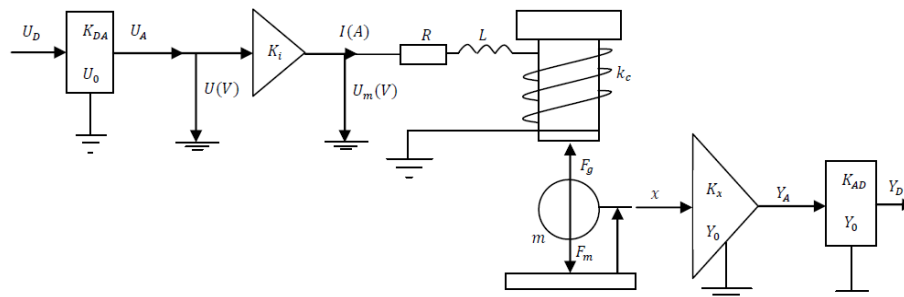
## 2.2 *Magnetic Levitation Ball*

*Magnetic levitation Ball* adalah sebuah sistem yang terdiri atas bola baja yang disuspensi dalam sebuah medan magnet oleh tegangan listrik dengan cara mengendalikan arus pada saat mengalir pada kumparan elektromagnet yang terdiri dari sejumlah lilitan tembaga dan posisi kumparan tepat berada diatas bola baja. Pada sistem ini bola baja diasumsikan bergerak secara vertikal yaitu naik turun dan berhenti tepat pada posisi melayang dari posisi bola saat diletakkan dalam kondisi awal[10].

Cara termudah untuk melayangkan objek elektromagnetik dilihat dari sistem kendali adalah magnetik suspensi. Obyek yang akan dilayangkan ditempatkan di bawah sebuah elektromagnet. Dengan kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh elektromagnet yang dikendalikan dengan tepat akan melawan gaya gravitasi pada objek yang dilayangkan. Dengan demikian sistem hanya akan melawan gaya gravitasi, sistem ini bekerja pada gaya tarik antara gaya elektromagnetik dan benda. Selain itu objek yang akan dilayangkan adalah bola baja biasa. Untuk mencegah bola baja menempel pada electromagnet maka posisi benda harus bisa diperhitungkan dengan menggunakan sensor infra merah. Informasi dari sensor akan masuk pada rangkaian kendali yang akan mengatur arus dalam elektromagnet. Jika benda terlalu dekat dengan elektromagnet maka benda akan menempel maka arus yang masuk di elektromagnet harus dikurangi, tetapi jika objek terlalu jauh, maka arus pada elektromagnet harus ditambah[2].

### 2.3 Sistem Modeling *Magnetic Levitation Ball*

Menurut tujuan dan kondisi operasi, sebuah pemodelan sangat penting untuk menemukan keseimbangan antara kesederhanaan dan kerumitan model, namun harus mempertimbangkan relevansi sub-proses dalam sistem. Dalam pemodelan sistem dinamis biasanya banyak perhitungan yang harus dilakukan sebelum model tersebut diperoleh, oleh karena itu diperlukan pendekatan lain yang dipertimbangkan dan beberapa bagian harus diasumsikan[9]. Pada bagian berikut, prosedur pemodelan akan dijelaskan.



Gambar 2.1 Sistem *magnetic levitation ball*[12]

Gambar 2.1 berikut ini memperlihatkan model dan struktur pelayangan magnet pada bola baja (*magnetic levitation ball*). Adapun komponen dan struktur *Magnetic Levitation Ball* ini terdiri dari:

1. *Digital to Analog Converter* (DAC) yang berfungsi sebagai pengubah sinyal digital menjadi sinyal analog.
2. *Power amplifier* berfungsi sebagai sumber arus yang konstan.
3. Solenoida berfungsi sebagai magnet untuk melawan gaya gravitasi. Dan bola baja yang berfungsi sebagai benda yang akan dilayangkan.
5. Sensor Posisi berfungsi untuk menentukan jarak benda dengan elektromagnet.
6. *Analog to Digital Converter* (ADC) berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital



**2.3.1 D/A Converter**

D/A converter adalah perangkat yang digunakan untuk mengkonversi sinyal masukan dalam bentuk digital menjadi sinyal keluaran dalam bentuk analog (tegangan)[12]. Tegangan keluaran yang dihasilkan D/A converter sebanding dengan nilai digital yang masuk ke dalam D/A converter. Sebuah D/A converter menerima informasi digital dan mentransformasikannya ke dalam bentuk suatu tegangan analog. Informasi digital adalah dalam bentuk angka biner dengan jumlah digit yang pasti.

D/A converter dapat ditunjukkan dengan fungsi linier, dimana model *output voltage*  $U_A$ , D/A converter input  $U_D$ , D/A converter gain  $K_{DA}$ , D/A converter offset  $U_0$  sebagai berikut :

$$U_A = K_{DA} * U_D + U_0 \tag{2.1}$$

Dari persamaan (2.1)  $U_0 = 0$

$$U_A = K_{DA} * U_D \tag{2.2}$$

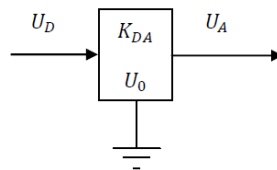
Dimana;

$U_A$  = output voltage (V)

$U_D$  = converter input

$K_{DA}$  = converter gain

$U_0$  = converter offset



Gambar 2.2 D/A converter [12]

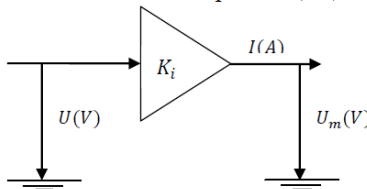
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan 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.

© Al-Falah Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



**2.3.2 Power Amplifier**

*Power amplifire* dirancang sebagai sumber arus konstan dengan stabilisasi umpan balik arus untuk mengatasi perubahan arus yang terjadi pada magnet. Dimana arus  $I$ , *amplifier gain*  $K_i$ , *input voltage*  $U_A$ .

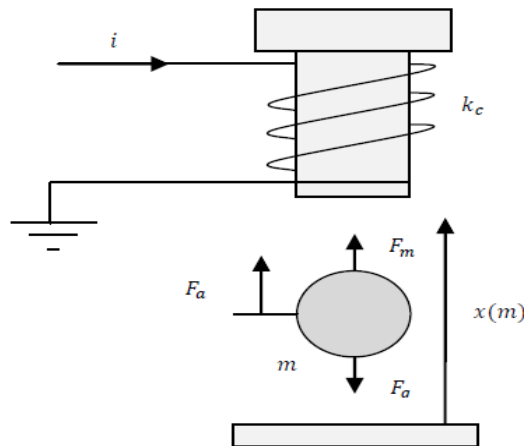


Gambar 2.3 *Power amplifier* [12]

$$I = K_i * U_A \tag{2.3}$$

$$K_i = K_{-am} / ((R_{C+} R_s) + R_s * K_s * K_{-am}) \tag{2.4}$$

**2.3.3 Ball and Coil Subsystem**



Gambar 2.4 *Ball and coil subsystem* [12]

Persamaan gerak didasarkan pada keseimbangan dari semua gaya yang bekerja pada bola baja, yang dimana ada tiga gaya yaitu gaya gravitasi, gaya elektromagnetik dan gaya kecepatan. Pada gambar 2.4 Persamaan akan diturunkan dimana lilitan konstan  $k_c$ , *position offset*  $x_{L0}$ , dan redaman konstan  $k_{fv}$ . Menurut hukum newton 2 yang berbunyi “ percepatan

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.

© Data cipta milik UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sunan Kalijaga Kasim Riau



suatu benda akan sebanding dengan jumlah gaya (resultan gaya) yang bekerja pada benda tersebut dan berbanding terbalik dengan massanya “ maka

Gaya total:

$$F_a = F_m - F_g \tag{2.5}$$

Dimana, gaya *magnetic*:

$$F_m = \frac{i^2 k_c}{(x - x_{L0})^2} \tag{2.6}$$

Gaya gravitasi:

$$F_g = mg \tag{2.7}$$

Dan gaya percepatan:

$$F_a = m\ddot{x} \tag{2.8}$$

Substitusikan persamaan (2.6), (2.7), dan (2.8), kedalam persamaan (2.5) :

$$m\ddot{x} = \frac{i^2 k_c}{(x - x_{L0})^2} - mg \tag{2.9}$$

Ketika bola redaman diperhitungkan, maka  $(k_{fv}\dot{x})$  dimasukkan kedalam persamaan (2.9) yang menjadi,

$$m\ddot{x} + k_{fv}\dot{x} = \frac{i^2 k_c}{(x - x_{L0})^2} - mg \tag{2.10}$$

Karena  $i = k_i U_A$ , maka

$$\ddot{x} = \frac{k_c k_i^2 U_A^2}{m(x - x_{L0})^2} - \frac{k_{fv}\dot{x}}{m} - g \tag{2.11}$$

2. Dilarang mengemukakan 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.  
 Hal-Hal yang Dilarang: 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.



Dimana :

- $F_a$  = gaya percepatan (N)
- $F_m$  = gaya elektromagnetik (N)
- $F_g$  = gaya gravitasi (N)
- $F_d$  = gaya peredam (N)
- $K_e$  = lilitan konstan
- $U_A$  = *input voltage* (V)
- $K_{fv}$  = redaman konstan
- $x_{L0}$  = *position offset*

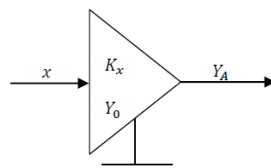
**2.3.4 Sensor Posisi**

Dalam sistem magnet *levitation* ini dibutuhkan pengukuran posisi bola. pada gambar 2.5 yang digunakan untuk mengukur bola adalah tegangan *output*  $Y_A$ , posisi bola  $x$ , posisi sensor gain  $K_x$ , dan posisi sensor *offset*  $Y_0$ . Sensor posisi dapat didefinisikan dalam persamaan berikut

$$Y_A = K_x x + Y_0 \tag{2.12}$$

Dimana:

- $Y_A$  = tegangan *output* (V)
- $x$  = posisi bola (m)
- $K_x$  = posisi sensor gain
- $Y_0$  = posisi sensor *offset*



Gambar 2.5 Sensor posisi [12]



**2.3.5 A/D Converter**

A/D converter ditampilkan jika gambar 2.6 Mempunyai A/D converter output  $Y_D$ , A/D converter input  $Y_A$ , A/D converter gain  $K_{AD}$ , dan A/D converter offset  $Y_0$ . A/D converter dapat didefinisikan dalam persamaan (2.13)

$$Y_D = K_{AD}Y_A + Y_0 \tag{2.13}$$

Dimana  $Y_0 = 0$

$$Y_D = K_{AD}Y_A \tag{2.14}$$

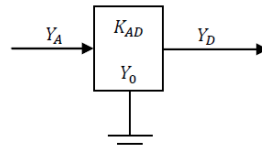
Dimana:

$Y_A =$  converter input

$Y_D =$  converter output

$K_{AD} =$  converter gain

$Y_0 =$  converter offset



Gambar 2.6 A/D Converter [12]

**2.4 Model Matematika Magnetic Levitation Ball**

Dari persamaan (2.11), kita dapat menyimpulkan sistem yang digunakan adalah sistem non-linier. Dengan menetapkan  $x_1 = x$  dan  $x_2 = \dot{x}$  sebagai variabel state dan model *state space* berasal dari persamaan (2.11) sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{k_c k_i^2 U_A^2}{m(x_1 - x_{L0})^2} - \frac{k_{fv} x_2}{m} - g \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

Hak Cipta dan Hak Milik UIN Suska Riau  
 Hak Cipta dan Hak Milik 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.





Dimana  $k_c k_1^2 = k_F$  , maka

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{k_F U_A^2}{m(x_1 - x_{L0})^2} - \frac{k_{fv} x_2}{m} - g \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Sekarang, kita ingin menlinierisasikan sistem diatas dengan keseimbangan  $(x_{ss}, u_{ss})$

dimana  $x_{ss} = \begin{pmatrix} x_{1ss} \\ x_{2ss} \end{pmatrix}$

Dalam keseimbangan, persamaannya sebagai berikut:

$$\dot{x}_1 = x_2 = 0 \quad (2.17)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{k_F U_A^2}{m(x_1 - x_{L0})^2} - \frac{k_{fv}}{m} x_2 - g = 0 \quad (2.18)$$

$$\dot{x}_2 m = \frac{k_F U_A^2}{(x_1 - x_{L0})^2} - k_{fv} x_2 - mg = 0 \quad (2.19)$$

Dari persamaan (2.17) dan (2.19) kita dapat :

$$x_2 m = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{k_F U_A^2}{(x_1 - x_{L0})^2} - k_{fv}(0) - mg = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{k_F U_{ss}^2}{(x_{1ss} - x_{L0})^2} - mg = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{k_F U_{ss}^2}{(x_{1ss} - x_{L0})^2} = mg \quad (2.23)$$

Dari persamaan (2.21) maka:

$$U_{ss} = \sqrt{\frac{mg}{k_F}} (x_{1ss} - x_{L0}) \quad (2.24)$$

Hak cipta milik UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim 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 mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Dengan menggunakan *taylor series*, untuk persamaan linierisasi diatas ( $x_{ss}, u_{ss}$ ) dapat ditulis sebagai berikut

$$f(x, u) = f(x_{ss}, u_{ss}) + \left( \frac{\partial(f(x_{ss}, u_{ss}))}{\partial(x_{ss})} \right) x(t) + \left( \frac{\partial(f(x_{ss}, u_{ss}))}{\partial(u_{ss})} \right) u(t) \quad (2.25)$$

Dengan menerapkan persamaan(2.26) untuk persamaan non linier  $\frac{k_F U_A^2}{m(x_1 - x_{L0})^2}$  pada persamaan (2.19) kita dapat :

$$k_F \left( \frac{U_A}{(x_{1ss} - x_{L0})} \right)^2 = \left( \frac{k_F u_{ss}^2}{(x_{1ss} - x_{L0})^2} \right) + \left( \frac{-2k_F u_{ss}^2}{(x_{1ss} - x_{L0})^3} \right) x_1(t) + \left( \frac{2k_F u_{ss}}{(x_{1ss} - x_{L0})} \right) u(t) \quad (2.26)$$

Substitusikan dari persamaan (2.23) ke persamaan (2.26) sehingga kita dapat :

$$k_F \left( \frac{U_A}{(x_{1ss} - x_{L0})} \right)^2 = mg + \left( \frac{-2k_F u_{ss}^2}{(x_{1ss} - x_{L0})^3} \right) x_1(t) + \left( \frac{2k_F u_{ss}}{(x_{1ss} - x_{L0})} \right) u(t) \quad (2.27)$$

Substitusikan persamaan (2.27) ke persanaan (2.18), maka

$$\ddot{x}_2 = \left( \frac{-2k_F u_{ss}^2}{m(x_{1ss} - x_{L0})^3} \right) x_1 - \left( \frac{k_{fv}}{m} \right) \dot{x}_2 + \left( \frac{2k_F u_{ss}}{m(x_{1ss} - x_{L0})^2} \right) u(t) \quad (2.28)$$

Karena dari persamaan (2.2)  $U_A = K_{DA} * U_D$  dan dari persamaan (2.16) dan (2.28), model *state space* dapat ditulis sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-2k_F u_{ss}^2}{m(x_{1ss} - x_{L0})^3} & -\frac{k_{fv}}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2k_F K_{DA} u_{ss}}{m(x_{1ss} - x_{L0})^2} \end{bmatrix} U_D \quad (2.29)$$

$$y = \begin{bmatrix} k_x * K_{AD} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$



Setelah mensubstitusikan nilai  $u_{SS}$  dari persamaan (2.24) ke model *state space* (2.29), model *state space* menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{2g}{m(x_{L0} - x_{1ss})^3} & -\frac{k_{fv}}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2\sqrt{\frac{k_F g}{m}} \frac{K_{DA}}{(x_{L0} - x_{1ss})} \end{bmatrix} U_D \quad (2.30)$$

$$y = \begin{bmatrix} k_x * K_{AD} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Tabel 2.1 Nilai-nilai parameter dari *magnetic levitation Ball*[12]

Parameter	Symbol	Value
Ball diameter	$D_k$	0.005m
Ball mass	$M$	0.0084kg
Jarak dari dasar	$T_d$	0.0019 m
Batas jarak = $0.0019 - D_k$	$L$	0.0063 m
Viscose friction	$k_{fv}$	0.02 N.s/m
Gravity Acceleration constant	$G$	9.81m/s <sup>2</sup>
Aggregated coil constant	$k_F$	0.606x10 <sup>-6</sup> N/V
Converter gain	$K_{DA}$	10
Coil bias	$x_{L0}$	8.26x10 <sup>-3</sup> m
Position sensor constant	$k_x$	797.4603 V/m
Analog to digital converter gain	$K_{AD}$	0.2
Maximum DA converter output voltage	$U_{DAm}$	5 V
Coil resistance	$R_c$	3.5 $\Omega$
Coil inductance	$L_c$	30x10 <sup>-3</sup> H
Current sense gain	$K_s$	13.33
Power amplifier gain	$K_{am}$	100

Setelah mensubstitusikan nilai-nilai parameter dari *magnetic ball levitation* dari tabel 2.1, *state space* (2.30) menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{19.62}{(0.00826 - x_{1ss})} & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{0.53206}{(0.00826 - x_{1ss})} \end{bmatrix} U_D \quad (2.31)$$

$$y = \begin{bmatrix} 159.49206 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

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



**2.4.1 Magnetic Levitation Ball Posisi 0,01 m**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

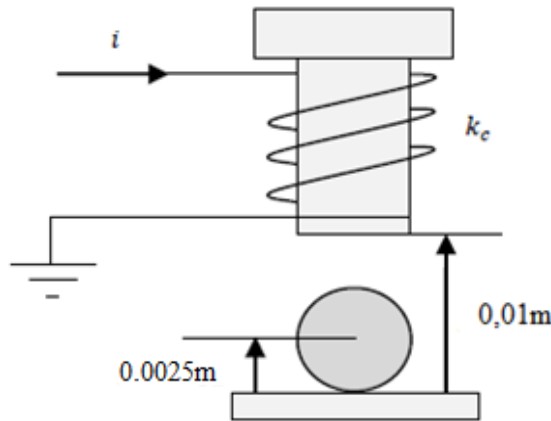
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- 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 milik UIN Suska Riau

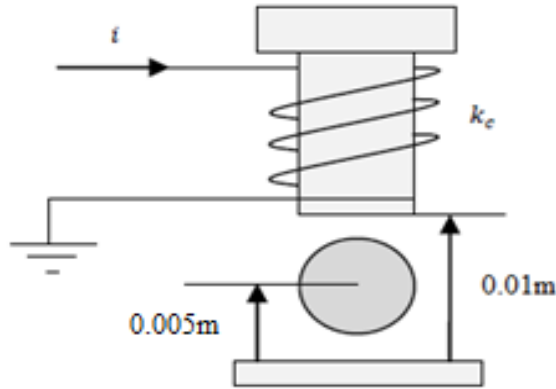
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2.7 Bola baja sebelum pelayangan[12]

Dari gambar 2.7, kita dapat melihat jarak bola yang yang diperbolehkan untuk pelayangan atau bergerak adalah  $[0.01 - ball\ diameter] = [0.01 - 0.005]$  Sehingga

$$x_{1ss} = \frac{[0.005]}{2} = 0.0025m[12]$$



Gambar 2.8 Bola baja setelah terjadi pelayangan[12]

Substitusikan  $x_{1ss}$  pada parameter *state space* (2.27), maka hasil model *state space* menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3406.25 & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 92.37 \end{bmatrix} U_D \tag{2.28}$$

$$y = [159.49206 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$



Open loop transfer function  $G(s)$  didefinisikan :  $G(s) = C(SI - A)^{-1}B$  ,maka

$$G(s) = [159.49206 \quad 0] \left( \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3406.25 & -2.381 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 92.37 \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s - 3406.25} = \frac{N(s)}{D(s)} \tag{2.29}$$

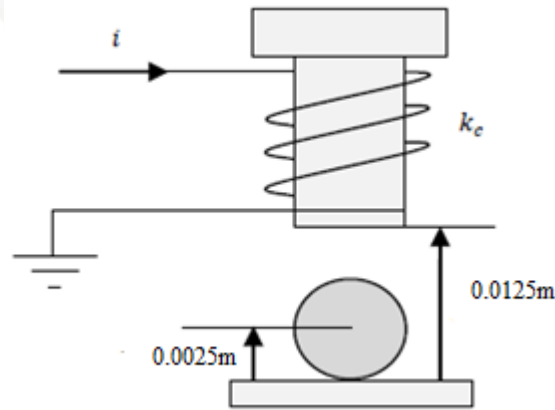
Close loop dari transfer function tanpa menggunakan pengendali menjadi:

$$TF = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{\frac{N(s)}{D(s)}}{1 + \frac{N(s)}{D(s)}} = \frac{N(s)}{N(s) + D(s)} \tag{2.30}$$

Kemudian transfer finction (3.3) untuk magnetic levitation ball adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{14732.281}{s^2 + 2.381s + 10966.031} \tag{2.31}$$

**2.4.2 Magnetic Levitaion Ball Posisi 0.0125 m**



Gambar 2.9 Bola baja sebelum pelayangan[12]

Dari gambar 2.9, kita dapat melihat jarak bola yang yang diperbolehkan untuk pelayangan atau bergerak adalah  $[0.0125 - ball\ diameter] = [0.0125 - 0.005]$  Sehingga

$$x_{1ss} = \frac{[0.0075]}{2} = 0.00375m[12]$$

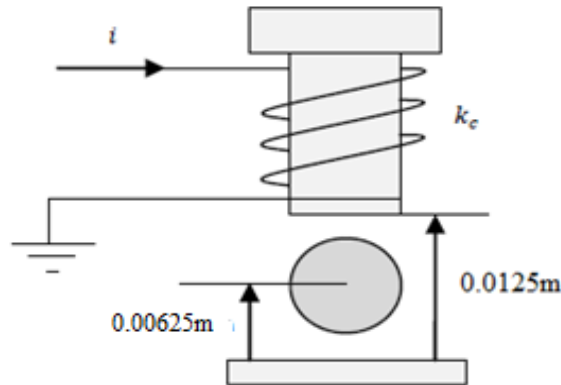
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengummumkan 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 Sunan Syarif Kasim 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 2.10 Bola baja setelah terjadi pelayangan[12]

Substitusikan  $x_{1ss}$  pada parameter *state space* (2.27), maka hasil model *state space* menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 4350.33 & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 117.97 \end{bmatrix} U_D \quad (2.32)$$

$$y = \begin{bmatrix} 159.49206 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

*Open loop transfer function*  $G(s)$  didefinisikan :  $G(s) = C(SI - A)^{-1}B$  ,maka

$$G(s) = \begin{bmatrix} 159.49206 & 0 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 4350.33 & -2.381 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 117.97 \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{18815.27}{s^2 + 2.381s - 4350.33} = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (2.33)$$

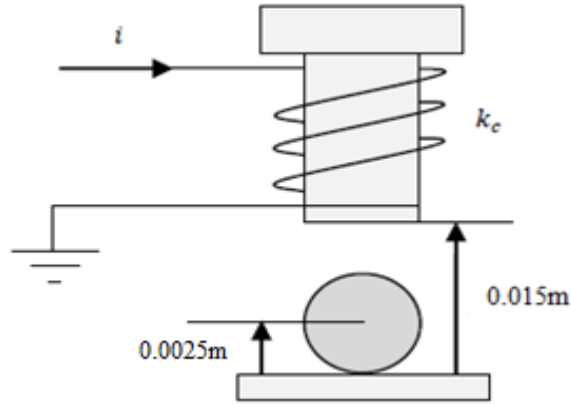
*Close loop* dari *transfer function* tanpa menggunakan pengendali menjadi:

$$TF = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{\frac{N(s)}{D(s)}}{1 + \frac{N(s)}{D(s)}} = \frac{N(s)}{N(s) + D(s)} \quad (2.34)$$

Kemudian *transfer finction* (3.7) untuk *magnetic levitation ball* adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{18815.27}{s^2 + 2.381s + 14464.94} \quad (2.35)$$

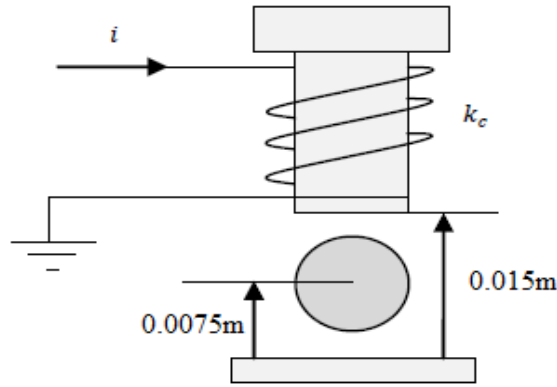
### 2.4.3 Magnetic Levitation Ball Posisi 0.015 m



Gambar 2.11 Bola baja sebelum pelayangan[12]

Dari gambar 2.11, kita dapat melihat jarak bola yang yang diperbolehkan untuk pelayangan atau bergerak adalah  $[0.015 - ball\ diameter] = [0.015 - 0.005]$  Sehingga

$$x_{1ss} = \frac{[0.01]}{2} = 0.005m[12]$$



Gambar 2.12 Bola baja setelah terjadi pelayangan[12]

Substitusikan  $x_{1ss}$  pada parameter *state space* (2.27), maka hasil model *state space* menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 6018.40 & -2.381 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 163.21 \end{bmatrix} U_D \quad (2.36)$$

$$y = \begin{bmatrix} 159.49206 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$



Open loop transfer function  $G(s)$  didefinisikan :  $G(s) = C(SI - A)^{-1}B$  ,maka

$$G(s) = [159.49206 \quad 0] \left( \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 6018.40 & -2.381 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 163.21 \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{26030.69}{s^2 + 2.381s - 6018.40} = \frac{N(s)}{D(s)} \tag{2.37}$$

Close loop dari transfer function tanpa menggunakan pengendali menjadi:

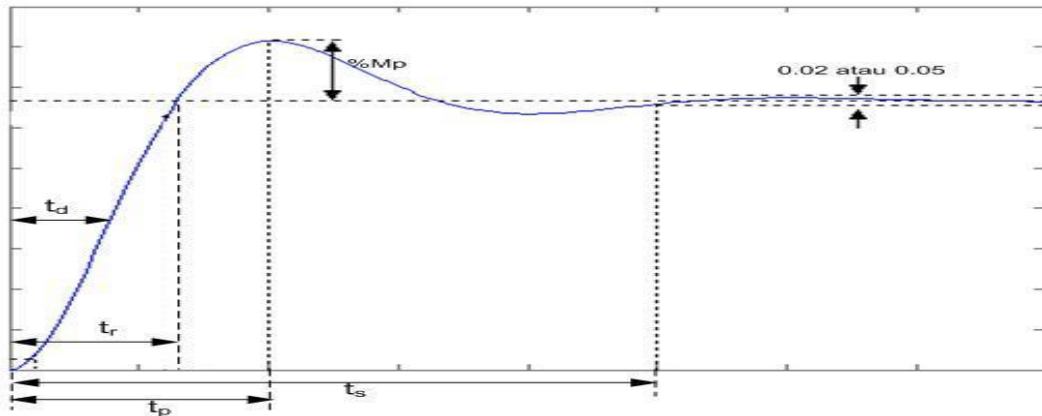
$$TF = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{\frac{N(s)}{D(s)}}{1 + \frac{N(s)}{D(s)}} = \frac{N(s)}{N(s) + D(s)} \tag{2.38}$$

Kemudian transfer function untuk magnetic levitation ball adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{26030.69}{s^2 + 2.381s + 20012.29} \tag{2.39}$$

## 2.5 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengamatan respon waktu. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step*. Dimana sinyal uji diberikan kepada sistem untuk mengetahui respon sistem *open loop*. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem. Sistem yang digunakan pada pengaturan posisi elevasi pada meriam merupakan sistem orde 2 yang ditunjukkan pada gambar 2.13 sebagai berikut :



Gambar 2.13 Respon sistem[13]

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau  
 Syarif Kasim Ri





Respon transien terdiri dari:

Spesifikasi teoritis:

Konstanta waktu ( $\tau$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai dari  $t=0$  sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*.  $f$  menyatakan kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon sistem

Spesifikasi praktis:

1. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_s$  dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_s (\pm 3\%) \approx 5\tau$$

$$t_s (\pm 4\%) \approx 2\tau$$

$$t_s (\pm 5\%) \approx 0,5\tau$$

2. Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_r$  dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_r (5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$

$$t_r (10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

3. Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai  $t=0$  sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_d$  dapat diformulasikan sebagai berikut :  $t_d (\pm 3\%) \approx \tau \ln 2$

4. Waktu puncak ( $t_p$ ): Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak pertama overshoot.

5. Maksimum *overshoot* ( $M_p$ ): nilai yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. Besarnya persen *overshoot* dinyatakan sebagai berikut:

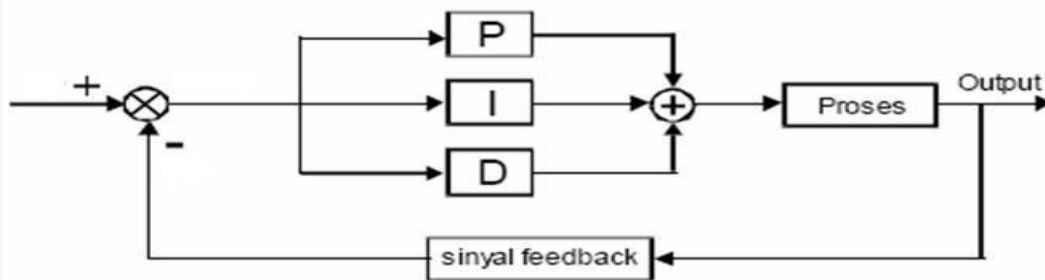
$$\% M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$



**2.6 Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID)**

Instrumentasi dan kendali tentu tidak lepas dari sistem instrumentasi sebagai pengendali yang digunakan baik dalam hal umum maupun dalam industri. Sistem industri zaman sekarang sudah tidak menggunakan sistem yang manual, tetapi dibantu dengan bantuan kendali yang berfungsi untuk memastikan bahwa setiap proses produksi berjalan sesuai yang diinginkan sehingga dalam proses produksinya bisa lebih efisien dan efektif.

PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kendali yang digunakan untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik / *feedback* pada sistem tersebut[7]. Komponen PID terdiri dari 3 jenis sistem kendali, yaitu *proportional*, *integratif* dan *derivatif*. Ketiganya bisa digunakan bersama-sama atau sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan dari suatu *plant*/sistem.



Gambar 2.14 Diagram blok PID[4]

Adapun bentuk umum dari aksi kendali PID sebagai berikut:

$$u(t) = K_p + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt} \tag{2.40}$$

Persamaan 2.2 diubah kedalam bentuk laplace menjadi

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \tag{2.41}$$

Dimana:

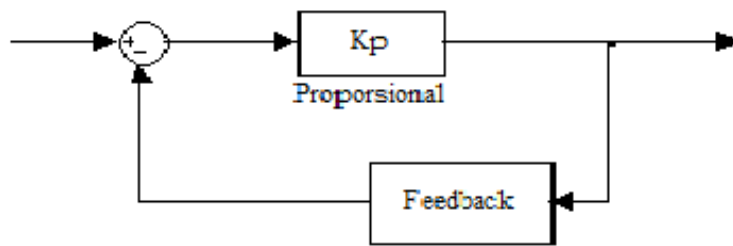
- $K_p$  = Proporsional Gain
- $K_i$  = Integral Gain
- $K_d$  = Derivatif Gain

Komponen-komponen PID yang terdiri dari proportional, integral, dan derivatif memiliki sifat-sifat dan karakteristiknya masing-masing. Sifat-sifat dan karakteristik dari masing-masing pengendali adalah:

### 1. Kendali Proporsional

Kendali merupakan sebuah penguat input sehingga hasil pada *output* tidak semakin menjadi kecil pada sebuah sistem. *Output* proportional adalah hasil dari perkalian antara konstanta proporsional dengan nilai *error* nya[7]. Perubahan yang terjadi pada sinyal input akan menyebabkann sistem secara langsung mengubah output sebesar konstan pengalinya.

$$U(t) = K_p e(t) \quad (2.30)$$



Gambar 2.15 Blok diagram  $K_p$ [4]

Ciri-ciri pengendali proporsional :

1. Jika nilai  $K_p$  kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah *rise time*).
2. Jika nilai  $K_p$  dinaikkan, respon/taangapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan *setpoint* nya (mengurangi *rise time*)
3. Namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
4. Nilai  $K_p$  dapat diatur sehingga mengurangi *error steady state*, tetapi tidak menghilangkannya.

Pengaruh kendali proporsional pada sistem adalah

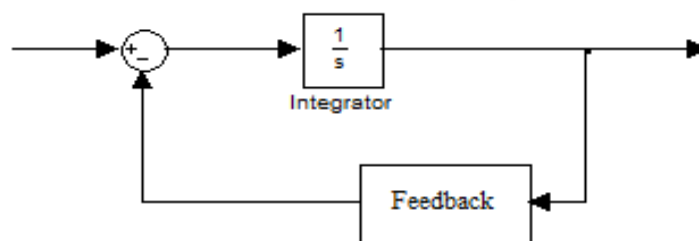
- Dapat menambah atau mengurangi kestabilan sistem.
- Dapat memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*.
- Dapat mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state*.
- Untuk menghilangkan *error steady state* dibutuhkan nilai konstanta ( $k_p$ ) yang besar yang akan membuat sistem lebih tidak stabil.
- Kendali proporsional memberikan pengaruh sebanding dengan nilai *error*.
- Semakin besar *error*, maka semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan pengendali.

## 2. Kendali Integral

Pada pengendali integral, respon kepada sistem akan meningkat secara kontinu terus-menerus kecuali nilai *error* yang diintegrasikan dengan batasan atas  $t$  dan batasan bawah 0 (nol). Jika sebuah pengontrol tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proposional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengendali integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan / *error*.

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.42)$$

Pada diagram blok kontroler integral, menunjukkan hubungan antara nilai *error* dengan output. Pengendali integral membantu menaikkan respon sehingga menghasilkan yang diinginkan.



Gambar 2.16 Blok diagram  $K_i$ [4]



Ciri-ciri pengendali integral :

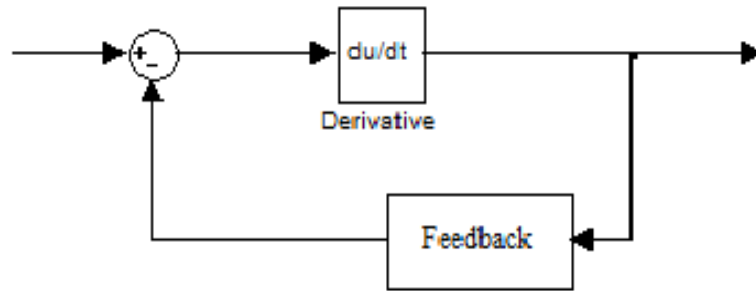
1. Keluaran pengendali integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kendali integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kendali akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$ .
4. Konstanta integral  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengendali.

Pengaruh Pengendali integral pada sistem adalah:

- a) Dapat digunakan untuk menghilangkan *error steady state*.
- b) Respon sistem lebih lambat jika dibandingkan dengan pengendali proposional.
- c) Dapat menimbulkan ketidakstabilan karena pengendali ini bersifat menambah orde sistem.
- d) Pengendali integral memberikan respons yang sebanding dengan perubahan *error*.
- e) Semakin besar nilai eror, maka semakin cepat sinyal kendali berubah.

### 3. Kendali Derivatif

Keluaran pengendali diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengendali akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran kendali juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls.

Gambar 2.17 Blok diagram  $K_d$ [4]

Ciri-ciri pengendali derivatif :

1. Kendali tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengendali tergantung pada nilai  $K_d$  dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengendali diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengendali ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengendali derivatif dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.
4. Dengan meningkatkan nilai  $K_d$ , dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.

Pengaruh Pengendali derivatif pada sistem adalah

- a) Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi, sehingga dapat memperbesar perbaikan nilai  $K_p$
- b) Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan *error*
- c) Kendali derivatif hanya akan berubah saat ada perubahan *error*, sehingga saat ada *error* statik, Pengendali derivatif tidak akan beraksi. Sehingga pengendali derivatif tidak bisa digunakan sendiri, harus digunakan bersamaan dengan pengendali proposional



- d) Besarnya sinyal kendali yang dihasilkan sebanding dengan perubahan *error*
- e) Semakin cepat *error* berubah, maka semakin besar aksi kendali yang ditimbulkan

Pengendali proporsional ( $K_p$ ) akan memberikan efek mmengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak. Pengendali integral ( $K_i$ ) akan memberikan efek menghapus kesalahan keadaan tunak tetapi berakibat buruk saat menanggapi respon. Pengendali derivative ( $K_d$ ) berdampak pada meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi kesalahan keadaan tunak dan menaikkan respon transien [8].

### 2.6.1 Metode Heuristik

Sebuah metode pemecahan masalah menggunakan cara coba-coba 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. Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dengan melakukan beberapa tahap yaitu dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali I, dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [14].

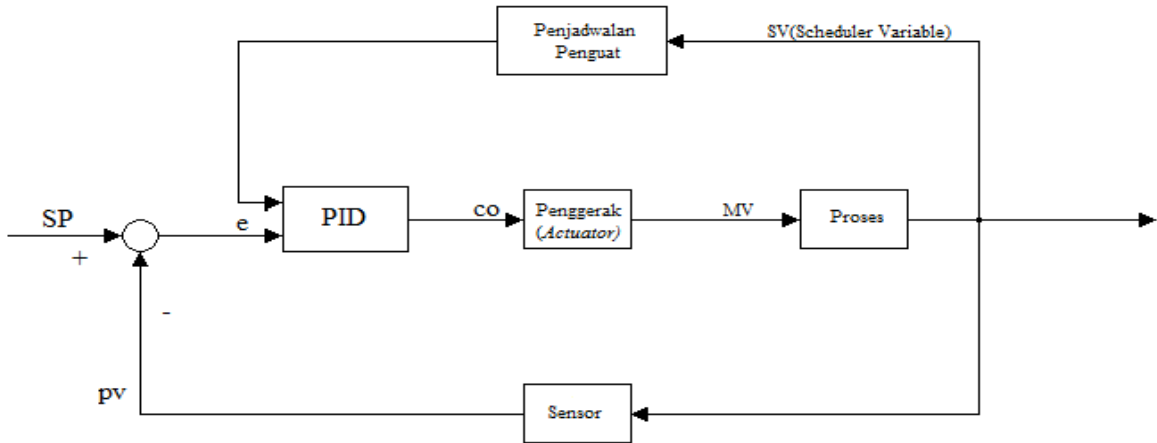
### 2.7 Gain Scheduling

*Gain scheduling* adalah sebuah metode kendali dimana besaran PID yang digunakan oleh modul kendali dijadwal berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi yang dihadapi. [7]. Agar setiap saat kendali mengetahui kondisi proses, maka dalam skema kendali ini diperlukan pengukuran variabel tambahan (*auxillaries variable*) yang secara teknis digunakan sebagai variabel penjadwal-*scheduled variable*. Bahkan *gain scheduling* bisa memodelkan sistem dengan titik operasi parameter dengan satu atau lebih variabel.

Penggunaan *gain scheduling* memiliki keuntungan dibanding dengan sistem kendali tanpa *gain scheduling*. Dikarenakan *gain scheduling* bisa memaksimalkan kerja kendali dengan memberikan sejumlah rentang operasi sehingga memiliki parameter yang optimal yang akan dimasukkan kekendali tergantung pada nilai sekarang dari variabel proses. Penggunaan



*gain scheduling* ini harus menentukan rentang-rentang operasi yang akan dipartisi menjadi rentang operasi yang berbeda untuk mewakili semua kemungkinan variasi dalam perilaku proses. Diagram blok sistem kendali *Gain Scheduling* ditunjukkan pada gambar 2.18 sebagai berikut



Gambar 2.18 Diagram blok *gain scheduling*[7]

Metode kendali *gain scheduling* dapat dilakukan dengan sebuah tabel tengok (*look up table*) yang berisi himpunan parameter PID untuk berbagi kondisi yang mungkin terjadi selama pengendalian proses berlangsung. Tabel 2.3 berikut memperlihatkan ilustrasi tabel penjadwalan pada skema kontrol *gain scheduling*.

Tabel 2.2 Himpunan parameter PID untuk berbagai proses[6].

	$K_p$	$T_i$	$T_D$
Kondisi 1	$K_{p1}$	$T_{i1}$	$T_{D1}$
Kondisi 2	$K_{p2}$	$T_{i2}$	$T_{D2}$
Kondisi --	--	--	--
Kondisi n	$K_{pn}$	$T_{in}$	$T_{Dn}$

Dalam perancangan awal *gain scheduling* harus menentukan jangkauan nilai *Scheduler Variable* (SV) untuk setiap kondisi proses yang sedang dihadapi. SV ditentukan berdasarkan titik tengah antara kondisi. Maka diperoleh *Scheduler Variable* (SV) kendali PID pada sistem *gain scheduling* pada tabel 2.4 berikut :



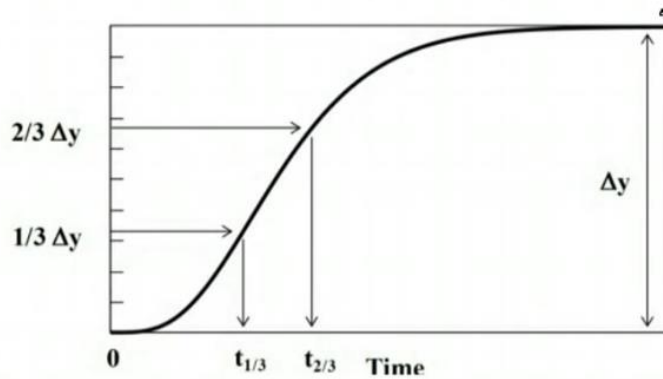


Tabel 2.3 Himpunan parameter PID untuk tiga kondisi[6]

	Kp	Ti	TD
Kondisi 1: SV1<SV<SV2	Kp1	Ti1	TD1
Kondisi 2: SV2<SV<SV3	Kp2	Ti2	TD2
Kondisi 3: SV>SV3	Kp3	Ti3	TD3

Penggunaan skema *gain scheduling* pada masing-masing kondisi dilakukan dengan berbagai tahap , pertama melakukan percobaan *bump test* yang dilakukan dengan cara memberi perubahan tangga (*step*) sinyal output kontroler (CO) pada saat proses mengalami keadaan *steady* disekitar titik kerja nominalnya. fungsi alih dari sistem ini sebagai berikut :

$$G_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K_p^{-\theta p^s}}{T_p s + 1} \tag{2.43}$$



Gambar 2.19 Fungsi alih sistem [15]

Dimana :

$$\tau_p = \frac{1}{0.7} (t_{2/3} - t_{1/3}) \tag{2.44}$$

$$\theta_p = t_{1/3} + 0.4\tau_p \tag{2.45}$$

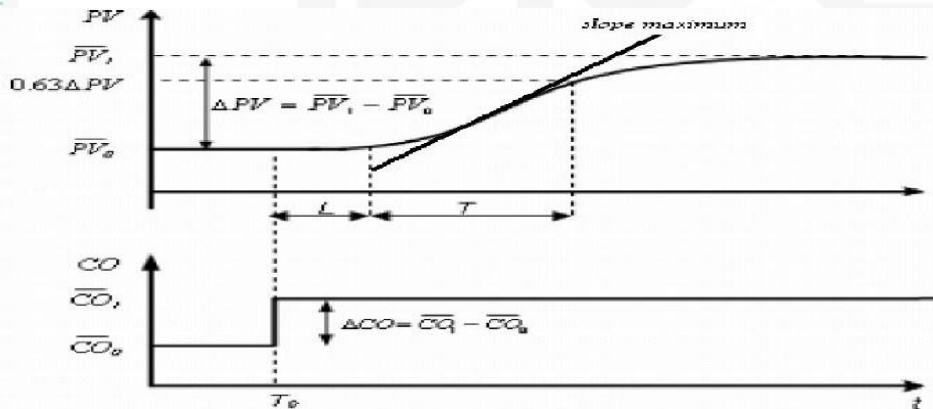
$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{2.46}$$



Dengan :

- $K_p$  : Penguatan statis
- $\theta_p$  : Waktu tunda
- $\tau_p$  : Konstanta waktu
- $t_{1/3}$  : Nilai  $PV$  ketika 1/3 dari *steady state*
- $t_{2/3}$  : Nilai  $PV$  ketika 2/3 dari *steady state*
- $\Delta y$  : Perubahan *steady state* pada keluaran proses
- $\Delta u$  : Perubahan *step* pada masukan

Gambar 2.20 menunjukkan hasil percobaan *bump test* sebagai berikut :



Gambar 2.20 Respon Tangga Percobaan *Bump Test* [9]

Proses *bump test* hanya dicirikan oleh tiga buah parameter sebagai berikut:

- *Process transport delay* (keterlambatan transportasi proses) dilambangkan dengan  $L$   
Waktu keterlambatan transportasi proses dihitung sejak terjadi perubahan tangga pada CO sampai Scheduler Variable (SV) yang dikontrol mulai menanggapi perubahan input CO
- *Process time constant* (konstanta waktu proses) yang dilambangkan dengan  $T$   
Waktu yang diperlukan sehingga nilai PV mencapai kurang lebih 63% dari keadaan *steady* akhirnya.



- *Process static gain* (penguatan tetap proses) yang dilambangkan dengan  $K$   
Penguatan tetap proses adalah perbandingan perubahan PV terhadap perubahan CO dalam keadaan steady-nya

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} \tag{2.47}$$

Setelah mendapatkan parameter gain scheduling, maka untuk mendapatkan parameter PID digunakan metode Zielger-Nichols 1 yang diperlihatkan pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.4 Rumus parameter PID dengan metode *Ziegler-Nichols* metode ke1.[6]

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{K.L}$	-	-
PI	$0,9 \frac{T}{K.L}$	$3,33L$	
PID	$1,2 \frac{T}{K.L}$	$2L$	$0,5L$

- 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.