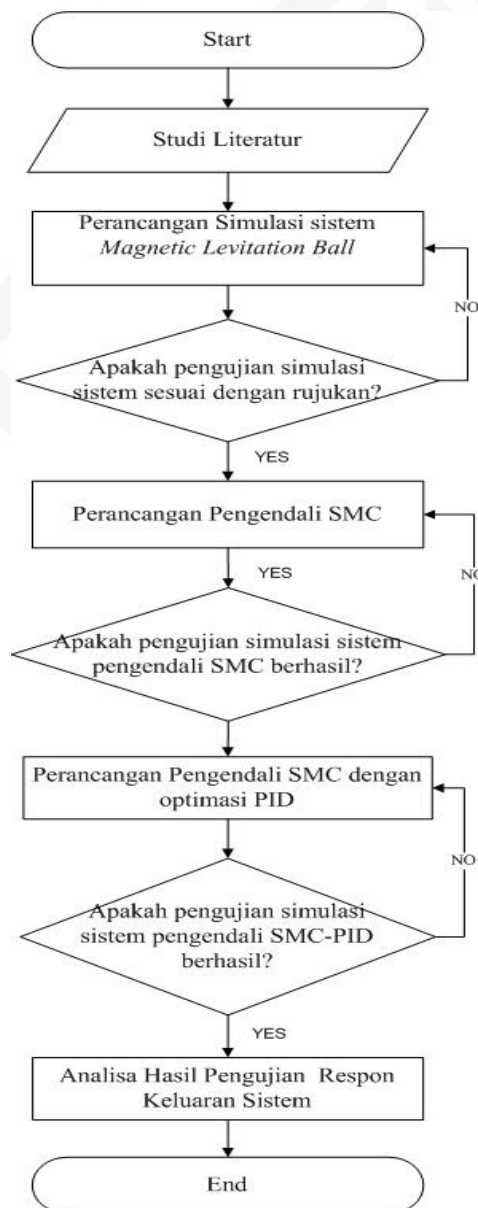


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Flow Chart Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan dalam proses perancangan pengendali menggunakan metode SMC dan PID yang dilakukan menggunakan simulasi Matlab. Adapun tahap perancangan ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian

- Hak Cipta Diindungi 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.



Pada *flow chart* alur di atas, dimulai dengan mengumpulkan studi literatur dan diakhiri dengan analisa dan kesimpulan, atau dapat di jelaskan sebagi berikut :

1. Studi literatur

Melakukan *review* beberapa pustaka dan penelitian terkait, mengenai pemodelan matematis *Magnetic Levitation Ball*, pengendali *sliding mode controller*, dan pengendali PID.

2. Perancangan simulasi *Magnetic Levitation Ball*

Pada tahap ini dilakukan desain model matematis *Magnetic Levitation Ball* pada simulasi MATLAB. Setelah perancangan simulink dibuat, maka didapat hasil *closed loop* dari *plant*. Hasil *closed loop* ini akan diuji dan dianalisa pada tahapan pengujian *Magnetic Levitation Ball*.

3. Pengujian simulasi *Magnetic Levitation Ball*

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB, untuk mengetahui apakah pemodelan sudah sesuai dengan referensi. Apabila belum sesuai dengan referensi, maka akan dilakukan kembali pemodelan *plant*, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah mendesain pengendali .

4. Perancangan pengendali *sliding mode*

Pada tahap ini, lakukan terlebih dahulu penurunan rumus SMC pada *Magnetic Levitation Ball*. Setelah itu lakukan desain berdasarkan penurunan rumus SMC tersebut.

5. Pengujian perancangan pengendali *sliding mode*.

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila *plant* tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan pengendali *sliding mode* ,dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan perancangan pengendali *sliding mode* dengan optimasi pengendali PID.

6. Perancangan SMC dengan optimasi PID pada *Magnetic Levitation Ball*

Setelah melakukan penurunan rumus dan mendesain SMC dan PID. Maka pada tahap ini SMC yang sudah dirancang akan di optimasi oleh PID.

7. Analisa hasil pengujian berdasarkan respon keluaran *plant*

Setelah dilakukan perancangan pengendali *sliding mode* dengan optimasi PID , maka akan didapat respon keluaran *plant* berupa grafik yang menunjukkan variabel posisi *Magnetic Levitation Ball*. Respon keluaran *plant* akan dianalisis berdasarkan respon transien dan respon *steady state*.

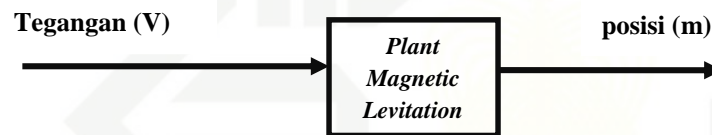
3.2 Pemodelan *Magnetic Levitation Ball*

Berdasarkan persamaan (2.37) Setelah dimasukkan nilai-nilai parameter *Magnetic Levitation Ball* pada tabel 2.1 ke dalam model fungsi alih *Magnetic Levitation Ball*, maka didapatkan fungsi alih *Magnetic Levitation Ball* sebagai berikut:

$$TF = \frac{\text{Posisi}}{\text{Tegangan}} = \frac{x}{V} \frac{16606.653}{s^2 + 2.381s + 12767.123} \quad (3.1)$$

3.3 Pengujian Sistem *Magnetic Levitation Ball*

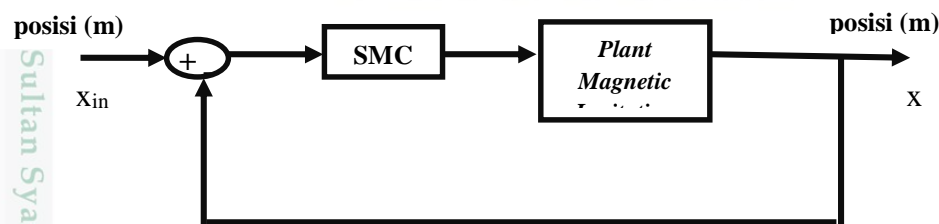
Pengujian sistem *magnetic levitation ball* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab R2015a* dengan *time sampling* 5 detik, blok diagram pengujian dilakukan pada sistem *magnetic levitation ball* tanpa pengendali digambarkan seperti pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem *Magnetic Levitation Ball* Tanpa Pengendali

3.4 Desain Pengendali *Sliding Mode*

Pada Tugas Akhir ini, pengendali didesain untuk mempertahankan posisi *Magnetic Levitation Ball*. Fungsi transfer *closed loop* dari *plant* didekati melalui fungsi transfer orde satu dengan *input* posisi (m), pengendali *sliding mode* akan memanipulasi variabel agal keluaran pada pengendali *sliding mode* menjadi tegangan (V) dan *output* posisi (m). Gambar 3.3 menunjukkan diagram blok sistem pengaturan posisi *magnetic levitation ball* menggunakan pengendali *sliding mode* yang akan dirancang.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem *Magnetic Levitation Ball* dengan Pengendali *sliding mode*

Fungsi transfer *sistem Magnetic Levitation Ball* dari persamaan (3.1) akan dimisalkan menjadi fungsi transfer. Dimana koefisien numerator dan denumerator dimisalkan menjadi *variabel* yang bernilai tetap. Maka fungsi transfer sistem akan menjadi:

$$G = \frac{c}{s^2 + sa + b} \quad (3.2)$$

dengan:

$$a = 2.381 ; b = 112767.123 ; c = 16606.653$$

Kemudian direpresentasikan dalam bentuk persamaan diferensial (dengan asumsi bahwa semua nilai awal adalah nol), maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + a\dot{x} + bx &= cu \\ \ddot{x} &= -a\dot{x} - bx + cu \end{aligned} \quad (3.3)$$

Kemudian, ambil sinyal *error* sebagai variabel *state*:

$$\begin{aligned} y_1 &= e \\ \dot{y}_1 = \dot{e} &= y_2 \\ \dot{y}_2 = \ddot{e} &= y_3 \end{aligned}$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$\begin{aligned} e &= x_{in} - x \\ \dot{y}_1 &= x_{in} - \dot{x} \\ \dot{x} &= x_{in} - y_1 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Karena *setpoint* tetap (permasalahan *reference*), maka:

$$\dot{y}_1 = y_2 = -\dot{x} \quad (3.5)$$

$$\dot{y}_2 = y_3 = -\ddot{x} \quad (3.6)$$

Dengan substitusikan persamaan (3.4), (3.5) dan (3.6) pada persamaan (3.3), sehingga:

$$\begin{aligned} -\dot{y}_2 &= -a(-\dot{y}_1) - b(x_{in} - y_1) + cu \\ -\dot{y}_2 &= ay_2 + by_1 - bx_{in} + cu \\ \dot{y}_2 &= -ay_2 - by_1 + bx_{in} - cu \end{aligned} \quad (3.7)$$

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



Didefinisikan suatu permukaan luncur:

$$\dot{\sigma}(y) = 0$$

Maka akan dapat dicari sinyal kendali dengan asumsi bahwa sinyal kendali natural adalah nol, sehingga:

$$y_3 + ay_2 + by_1 - bx_{in} + cu_{eq} = 0$$

$$cu_{eq} = -y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in}$$

$$u_{eq} = \frac{1}{c}(-y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in}) \quad (3.8)$$

Setelah didapat sinyal kendali ekivalen maka dapat ditemukan sinyal kendali natural:

$$\dot{\sigma}(y) = y_3 + ay_2 + by_1 - bx_{in} + cu_{eq} + cu_N$$

$$\dot{\sigma}(y) = y_3 + ay_2 + by_1 - bx_{in} + c \left(\frac{1}{c}(-y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in}) \right) + cu_N$$

$$\dot{\sigma}(y) = y_3 + ay_2 + by_1 - bx_{in} - y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in} + cu_N$$

$$\dot{\sigma}(y) = cu_N \quad (3.9)$$

Berdasarkan analisa kestabilan *Lyapunov* di persamaan 2.39, maka dipilih:

$$\dot{\sigma}(y) = -\eta \text{sign}(\sigma(y))$$

Dimana $\eta > 0$ (Suatu konstanta positif) subsitusikan persamaan (3.9) sehingga persamaan (3.10) menjadi:

$$cu_N = -\eta \text{sign}(\sigma(y))$$

$$u_N = -\frac{1}{c}\eta \text{sign}(\sigma(y)) \quad (3.10)$$

Dengan demikian didapat untuk sinyal kendali total adalah sebagai berikut:

$$u = u_{eq} + u_N$$

$$u = \frac{1}{c}(-y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in}) - \frac{1}{c}\eta \text{sign}(\sigma(y)) \quad (3.11)$$

Fungsi diskontinyu *signum* diubah menjadi fungsi kontinu saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan permasalahan *chattering* pada pengendali *sliding mode*. Sehingga persamaan (3.12) menjadi:

$$u = \frac{1}{c}(-y_3 - ay_2 - by_1 + bx_{in}) - \frac{1}{c} \eta \text{ sat}(\sigma(y)) \tag{3.12}$$

Dimana :

x = *output* posisi (m)

u = Sinyal kendali

x_{in} = *input* posisi (m)

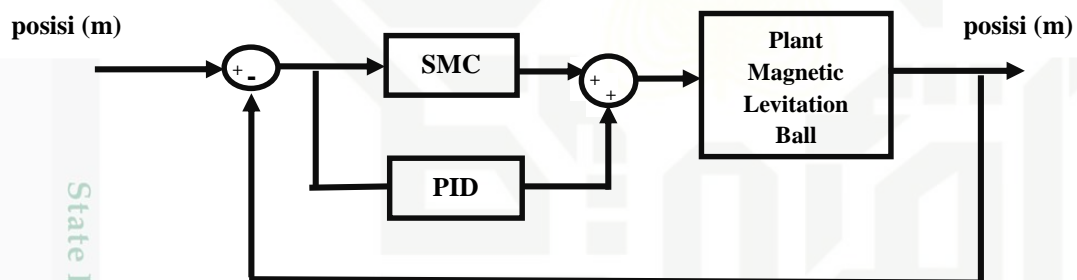
u_{eq} = Sinyal Kendali Ekvivalen

e = *error*

u_n = Sinyal Kendali Natural

3.5 Desain Pengendali *sliding mode* dengan Optimasi PID

SMC dengan optimasi menggunakan PID, diharapkan mampu memberikan keluaran yang lebih stabil. Pada gambar 3.4 dapat dilihat blok diagram dari SMC-PID:



Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem *Magnetic Levitation Ball* SMC-PID

Dari perancangan tersebut, akan diimplementasikan ke dalam *simulink* matlab. Setelah pengendali *sliding mode* di simulasikan, maka pengendali PID dirancang untuk mengoptimasi pengendali *sliding mode*. Berdasarkan dari bentuk umum pengendali PID pada persamaan 3.13, maka blok diagram untuk perancangan pengendali PID ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut ini:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \tag{3.13}$$

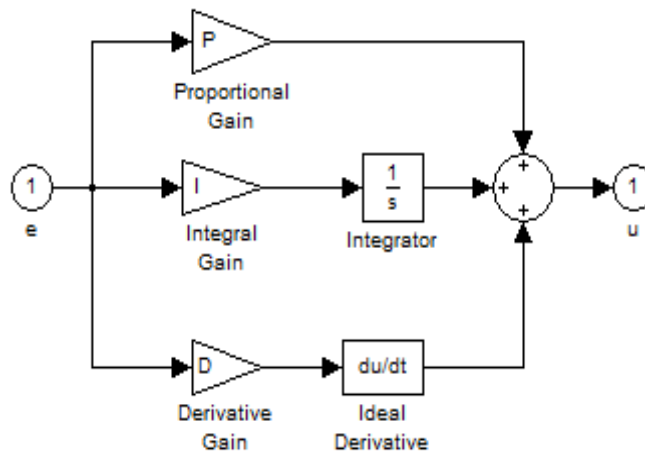
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3.5 Diagram Blok Pengendali PID

3.6 Analisa berdasarkan *Integral of Absolute Error (IAE)*

Pada penelitian tugas akhir ini, adapun tahapan analisa yang dilakukan adalah perancangan Pengendali *sliding mode* dengan pemilihan nilai η berdasarkan analisa IAE, perancangan pengendali *sliding mode* dengan optimasi PID dengan pemilihan nilai K_p , K_i , dan K_d berdasarkan analisa IAE. Dapat dilihat pemilihan nilai berdasarkan analisa IAE pada pengendali sebagai berikut:

3.6.1. Pengendali *Sliding Mode*

Pada perancangan pengendali *sliding mode* untuk pengendalian posisi pada *magnetic levitation ball* berdasarkan analisa IAE dilakukan 10 percobaan dengan pemilihan nilai η . Nilai η yang digunakan dalam perancangan pengendali *sliding mode* dipilih berdasarkan nilai *error* terkecil berdasarkan analisa IAE.

3.6.2. Pengendali *Sliding Mode* dengan Optimasi PID

Pada perancangan pengendali *sliding mode* dengan optimasi PID untuk pengendalian posisi pada *magnetic levitation ball* berdasarkan analisa IAE dilakukan percobaan dengan metode heuristik untuk mendapatkan nilai K_p , K_i , dan K_d . Nilai η yang digunakan didapatkan dari perancangan pengendali *sliding mode* sebelumnya.

Nilai K_p berdasarkan IAE dilakukan 10 kali percobaan dengan metode heuristik dan memilih nilai *error* paling minimum. Kemudian Nilai K_i berdasarkan IAE dilakukan 10 kali percobaan dengan metode heuristik dan memilih nilai *error* paling minimum. Sedangkan nilai K_d berdasarkan IAE dilakukan lebih dari 10 kali percobaan dengan metode heuristik



dan memilih nilai K_d dengan *error* terkecil dan dilihat secara visualisasi dalam pencapaian *setpoint* dan keluaran sistem telah stabil.

3.7 Analisa Kestabilan Lyapunov

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kestabilan lyapunov pada pengendali *sliding mode*. Pengujian kestabilan lyapunov dilakukan untuk mengetahui kestabilan dari suatu keluaran sistem. Sistem dikatakan stabil apabila nilai permukaan luncur lebih kecil dari 0 atau bernilai positif definit sesuai dengan persamaan (2.45).