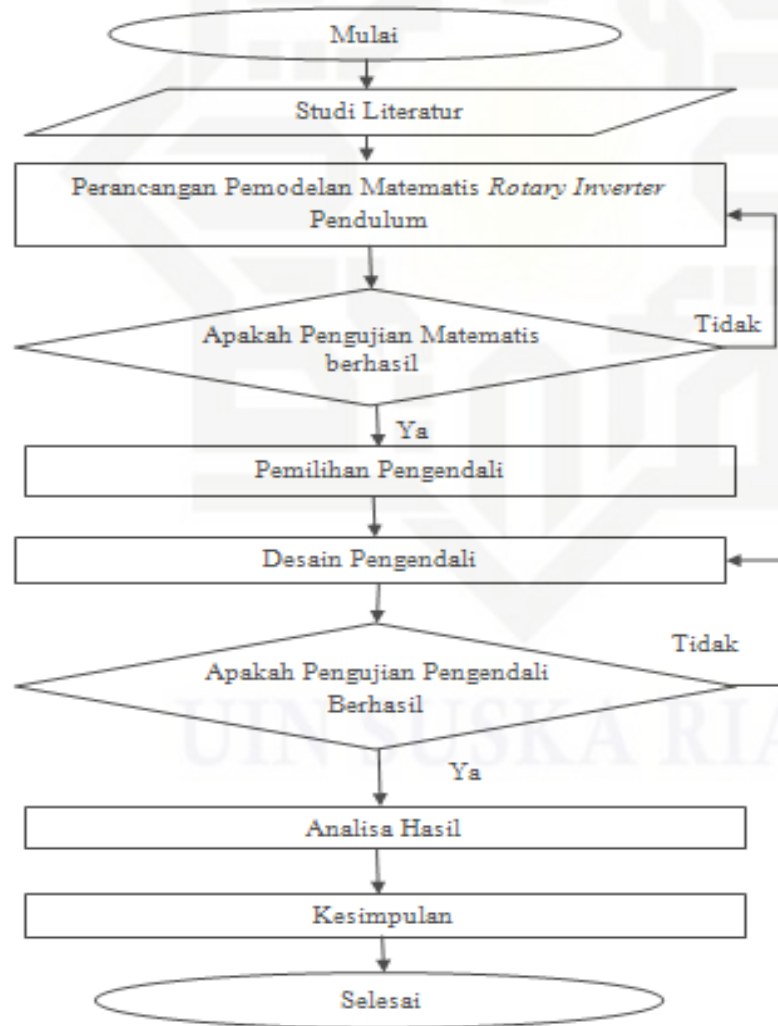


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan digunakan adalah jenis simulasi. Penelitian ini akan menjelaskan tentang sistem dari *rotary inverter pendulum* yang menggunakan sistem kendali *Hybrid PID-SMC* untuk membuat pendulum menjaga keseimbangan saat berada di posisi atas. Sistem ini akan disimulasikan menggunakan simulasi pada MATLAB2015a.

### 3.2. Tahapan Penelitian



Gambar 3.1: Diagram alur penelitian

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

1. Studi literatur

Melakukan tela'ah beberapa pustaka terkait, baik dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai kendali PID, kendali *smc*, kendali *Hybrid PID-smc*, serta tentang sistem *rotary inverter pendulum*.

2. Pengujian plant *rotary inverter pendulum*

Pada plant *rotary inverter pendulum* variabel yang akan dikendalikan adalah sebuah batang pendulum, sehingga model matematika dari *rotary inverter pendulum* setelah itu untuk mengendalikan sebuah batang pendulum maka variabel utama yang perlu dikendalikan adalah tegangan pada servo motor modul.

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. Apabila belum sesuai dengan referensi maka kembali ke pemodelan *plant*, dan apabila sesuai maka lanjut ke desain pengendali.

3. Desain pengendali

Untuk merancang sebuah pengendali *Hybrid PID-SMC*, langkah pertama yang harus dilakukan menetapkan nilai dari  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada pengendali PID. Dan kemudian mendesain kendali *smc* menggunakan transfer plant dari *rotary inverter pendulum*

4. Simulasi sistem

Membuat blok *simulink* untuk pengujian pengendali yang didesain untuk melakukan serangkaian simulasi pengujian sehingga mengetahui kinerja dan ketahanan sistem.

5. Analisis 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 desain pengendalinya dikaji lebih lanjut.

6. Kesimpulan

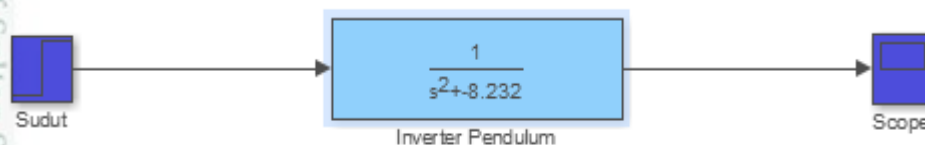
Jika hasil evaluasi menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai maka akan ditarik kesimpulan untuk menegaskan gagasan yang diusulkan telah selesai dilaksanakan dan memenuhi tujuan penelitian.

### 3.3. Pengujian *Plant Rotary Inverter Pendulum*

Pemodelan dari sistem *rotary inver pendulum* mengacu pada model matematika pada bab 2 sehingga diperoleh:

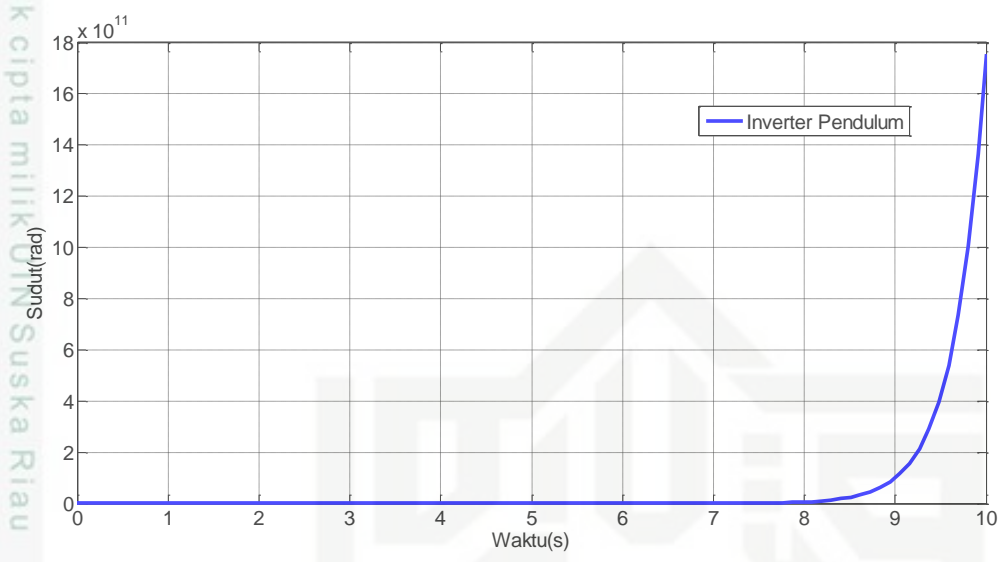
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{Ml \left( s + \sqrt{\frac{M+m}{Ml}} g \right) \left( s - \sqrt{\frac{M+m}{Ml}} g \right)} \\
 &= \frac{1}{2.0,5 \left( s + \sqrt{\frac{2+0,1}{2.0,5}} 9,8 \right) \left( s - \sqrt{\frac{2+0,1}{2.0,5}} 9,8 \right)} \\
 &= \frac{1}{1 \left( s + \sqrt{\frac{2,1}{2,5}} 9,8 \right) \left( s - \sqrt{\frac{2,1}{2,5}} 9,8 \right)} \\
 &= \frac{1}{1 \left( s + \sqrt{0,84.9,8} \right) \left( s - \sqrt{0,84.9,8} \right)} \\
 &= \frac{1}{1 \left( s + \sqrt{8,232} \right) \left( s - \sqrt{8,232} \right)} \\
 &= \frac{1}{1 \left( s + 2,86914621447 \right) \left( s - 2,86914621447 \right)} \\
 \frac{\theta(s)}{-U(s)} &= \frac{1}{s^2 - 8,232}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dari model matematika pada persamaan di atas akan di implementasikan ke dalam Simulink Matlab dengan sudut awal 10 *radian* tanpa sistem pengendali seperti Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Diagram blok *Simulink* sistem *rotary inverter pendulum*

Setelah dibentuk blok diagram, maka software *Simulink* pada matlab disimulasikan sehingga menghasilkan grafik seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik *open loop* dari sistem *rotary inverter pendulum*

Dari gambar 3.3 tampak bahwa sistem tidak stabil dan tidak menuju *setpoint* yang diinginkan, sehingga diperlukan sebuah pengendali untuk membuat sistem menjadi stabil sesuai *setpoint*.

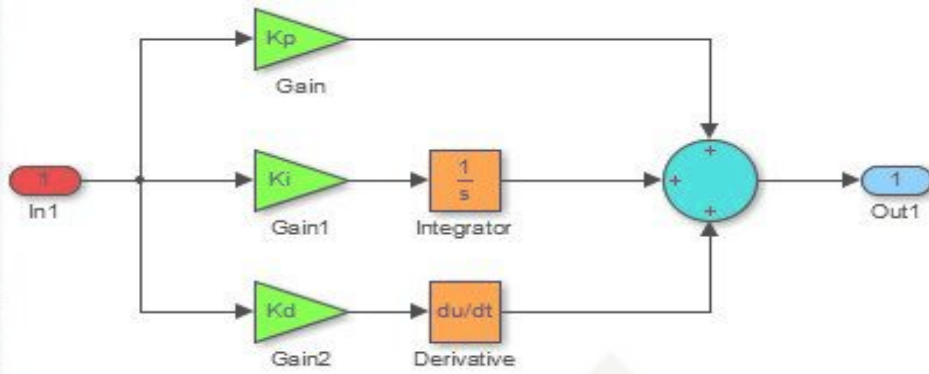
**3.4 Perancangan Kendali PID**

Perancangan pengendali PID dilakukan berdasarkan bentuk umum pengendali PID yaitu ditunjukkan pada persamaan 3.2 berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \tag{3.2}$$

Berdasarkan bentuk umum pengendali PID pada persamaan (3.2) maka diagram blok pada pengendali PID ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut ini:

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 3.4. Diagram blok Simulink pengendali PID.

Pada Gambar 3.4 merupakan bentuk umum pemodelan pada kendali PID yaitu pada persamaan 3.2 yang dirubah menjadi blok-blok menggunakan *Simulink Matlab* R2013a. Blok pengendali ini ditanam dalam sub sistem kendali PID yang akan digunakan dalam mengendalikan *Rotary Inverter Pendulum*.

### 3.5 Perancangan Kendali SMC

Fungsi transfer akan dimisalkan menjadi variabel tetap agar lebih mudah dalam mendesain pengendali. Sehingga fungsi penghantar palant ditentukan dengan persamaan berikut:

$$G(S) \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{as^2 + bs + 1} \quad (3.3)$$

Dimana:

- $k=1$
- $a=1$
- $b=0$
- $c=-8,232$

Dari *transfer function* dapat dipresentasikan kedalam bentuk persamaan diferensial, dengan asumsi nilai awal adalah 0.

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = Ku$$

$$a\ddot{y} = -b\dot{y} - cy + Ku$$

Didifinisikan:

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} = x_2 \quad (3.4)$$

$$x_2 = \dot{y} \rightarrow \dot{y} = \dot{x}_2 \quad (3.5)$$

Dan didapatkan:

$$\ddot{y} = -\frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y + \frac{k}{a}u \quad (3.6)$$

$$\ddot{y} = -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}u \quad (3.7)$$

Lalu diambil sinyal *error* sebagai *variabel state*:

$$x_1 = e \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{e} = x_2 \quad (3.8)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 = \dot{e} \quad (3.9)$$

Persamaan pada sinyal *error* dinyatakan:

$$e = r - y \quad (3.10)$$

Dan didapatkan

$$x_1 = e = r - y \rightarrow y = r - x_1 \quad (3.11)$$

Karena sistem bersifat regulator maka didapat:

$$\dot{x}_1 = x_2 = \dot{r} - \dot{y} \rightarrow \dot{y} = \dot{x}_1 \quad (3.12)$$

$$\ddot{x}_1 = \dot{x}_2 = \dot{r} - \dot{y} \rightarrow \dot{y} = \dot{x}_1 \quad (3.11)$$

Substitusikan persamaan (3.11) dan (3.12) pada persamaan (3.6), sehingga didapatkan:

$$\dot{x}_2 = -\frac{b}{a}x_1 - \frac{c}{a}(r - x_1) + \frac{k}{a}u \quad (3.13)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}u \quad (3.14)$$

Sehingga didapatkan persamaan *state-space*:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{c}{a} & -\frac{b}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k}{a} \end{bmatrix} u \quad (3.15)$$

Didefinisikan suatu permukaan luncur:

$$\dot{\sigma}_s = 0$$

$$S(\alpha \dot{x}_1 + \dot{x}_2) = 0$$

Maka dapat dicari sinyal kendali *ekivalen* dengan asumsi  $U_n = 0$  :

$$\alpha x_2 + \left(-\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}U\right) = 0$$

$$-\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right) x_2 - \frac{k}{a}U_{eq} = 0$$

$$\frac{k}{a}U_{eq} = -\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right)x_2$$

$$U_{eq} = \left(-\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right)x_2\right)\frac{a}{k}$$

$$U_{eq} = \frac{-cx_1 + (\alpha a - b)x_2}{k} \quad (3.16)$$

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

$$\dot{\sigma}_s = \alpha x_2 + \left(-\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}U\right)$$

$$\dot{\sigma}_s = \alpha x_2 + \left(-\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}(U_{eq} + U_n)\right)$$

$$\dot{\sigma}_s = \left(-\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right)x_2\right) - \left(\frac{k - cx_1 + (\alpha a - b)x_2}{k}\right) - \frac{k}{a}U_n$$

$$\dot{\sigma}_s = \left(-\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right)x_2\right) - \left(-\frac{c}{a}x_1 + \left(\alpha - \frac{b}{a}\right)x_2\right) - \frac{k}{a}U_n$$

$$\dot{\sigma}_s = -\frac{k}{a}U_n \quad (3.17)$$

Berdasarkan syarat kestabilan *lyapunov* pada persamaan 3.17 menuhi syarat kestabilan yaitu  $\dot{\sigma}_s < 0$  maka dipilih :

$$\dot{\sigma}_s = -\frac{k}{a}U_n$$

$$-\eta \cdot \text{sign}(\sigma) = -\frac{k}{a}U_n$$

$$U_n = \frac{a}{k} \eta \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (3.18)$$

Dimana  $\eta > 0$  (Kostanta positif).

Dengan demikian didapat sinyal kendali total  $U$  yaitu:

$$U = U_{eq} + U_n$$

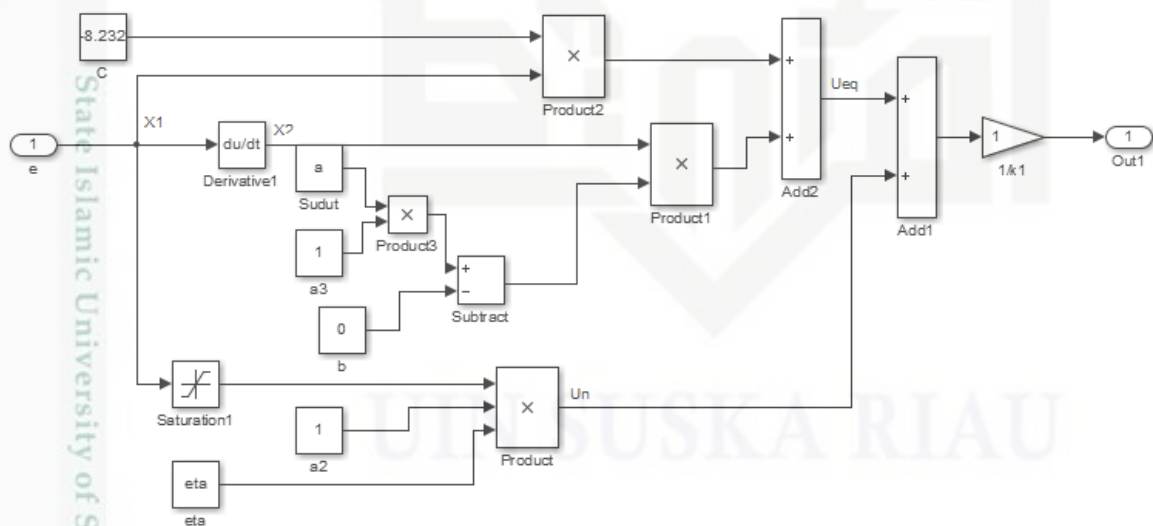
$$U = \frac{-cx_1 + (\alpha a - b)x_2}{k} + \frac{a}{k} \eta \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (3.19)$$

$$U = \frac{1}{k} (-cx_1 + (\alpha a - b)x_2 + a \cdot \eta \cdot \text{sign}(\sigma)) \quad (3.20)$$

Pada *diskontinyu signum* diubah menjadi fungsi *kontinyu saturasi* dengan tujuan agar menghilangkan *chattering* pada pengendali *sliding mode*. Sehingga didapatkan persamaan:

$$U = \frac{1}{k} (-cx_1 + (\alpha a - b)x_2 + a \cdot \eta \cdot \text{sat}(\sigma)) \quad (3.21)$$

Pada persamaan 3.21 adalah hasil dari perancangan pengendali SMC yang akan dirubah dalam bentuk diagram blok simulink yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.5. Diagram blok Simulink pengendali SMC.

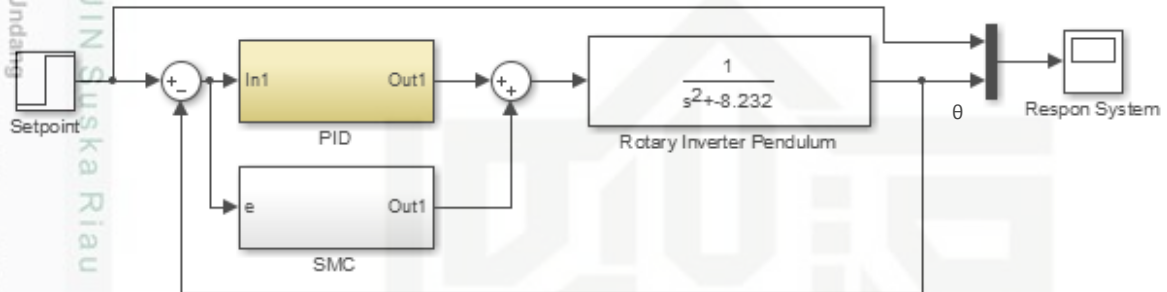
Pada Gambar 3.5 merupakan hasil desain pemodelan pada kendali SMC yaitu pada persamaan 3.21 yang dirubah menjadi blok-blok menggunakan *Simulink Matlab R2013a*.



Blok pengendali ini ditanam dalam sub sistem kendali SMC yang akan digunakan dalam mengendalikan *Rotary Inverter Pendulum*.

### 3.6 Perancangan Kendali *Hybrid PID-SMC*

Setelah dirancang pengendali PID dan pengendali SMC selanjutnya akan digabungkan untuk membentuk pengendali baru yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3.6 Blok simulink *hybrid PID-SMC*

Pada Gambar 3.6 adalah kendali *hybrid PID-SMC* yang merupakan penggabungan kendali PID dan kendali logika SMC seperti yang ditunjukkan Gambar 3.6. Pada jenis kendali ini kendali utamanya adalah kendali PID, sedangkan kendali SMC berfungsi untuk memperbaiki respon sistem.