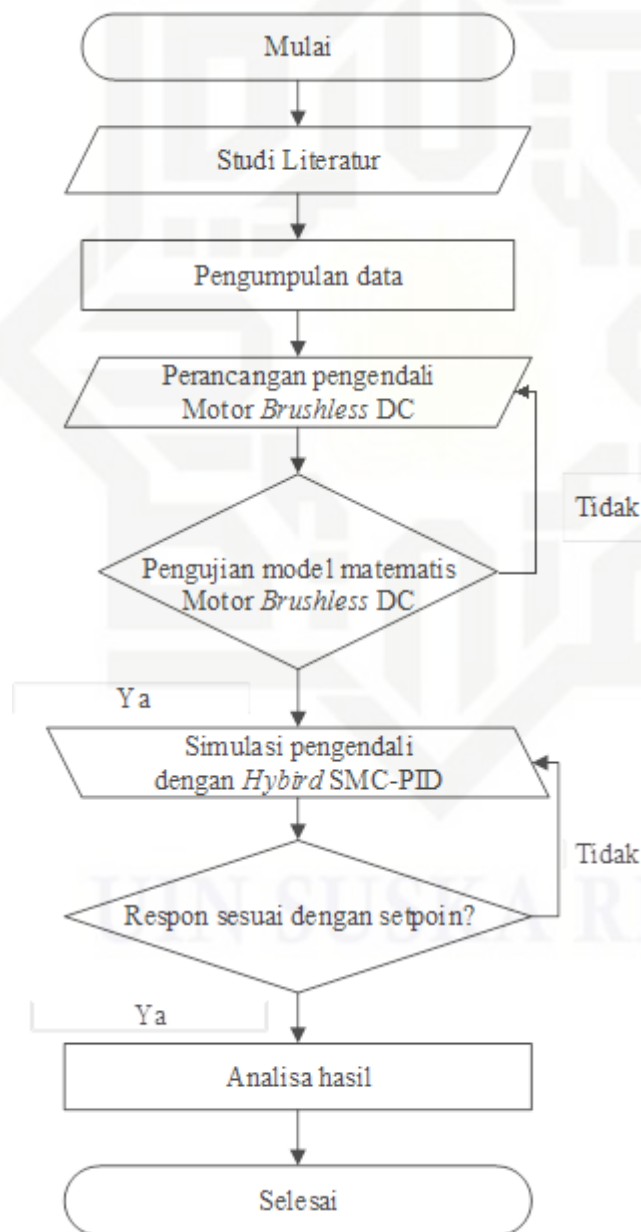


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Flow Chart Metode Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

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.

Tahapan – tahapan kegiatan yang digambarkan dalam *flowchart* dimulai dengan studi literature dan diakhiri dengan analisa dan kesimpulan, untuk penjelasannya sebagai berikut:

1. Studi literatur

Melakukan tela'ah beberapa pustaka terkait baik dalam artikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan motor brushless DC, pengaturan kecepatan motor brushless DC, dan pengendali SMC dan PID.

2. Pengumpulan data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data sebelum membuat desain yang diperlukan untuk ketahap selanjutnya. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah nilai parameter untuk mengetahui nilai sebagai rujukan penelitian agar tidak melenceng dari nilai yang telah diteliti dari jurnal maupun skripsi yang sudah ada sebelumnya.

3. Perancangan pemodelan motor *brushless* DC pada Matlab

Perancangan dilakukan pada aplikasi Matlab berdasarkan referensi yang sesuai digunakan pada tugas akhir.

4. Pengujian *plant* motor *brushless* DC

Permodelan 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.

5. Pemilihan pengendali

Pada tugas akhir ini dipilih pengendali SMC dan PID sebagai kendali yang akan digabungkan dan akan digunakan pada pengaturan kecepatan motor *brushless* DC.

6. Desain pengendali

Perancangan pengendali mulai dengan menentukan bentuk *state space* dari *plant* motor *brushless* DC terlebih dahulu. Kemudian menentukan permukaan luncur untuk mendapatkan sinyal kendali.

7. Membuat program simulasi untuk pengujian pegendali yang didesain  
 Melakukan serangkaian simulasi pengujian untuk mengetahui kinerja dan ketahanan sistem.
8. Analisa hasil pengujian  
 Melakukan analisis hasil pengujian dan mengkarifikasi hasil tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Apabila telah memenuhi tujuan berarti penelitian telah berhasil dan apabila belum memenuhi tujuan maka perlu dikaji lebih lanjut.
9. Kesimpulan  
 Jika hasil evaluasi mengajukan bahwa tujuan penelitian telah tercapai maka akan ditarik kesimpulan untuk menegaskan gagasan yang diusulkan telah selesai dilaksanakan dan memenuhi tujuan penelitian.

### 3.2 Pemodelan Motor BLDC

Berdasarkan persamaan (2.11) setelah dimasukkan nilai-nilai parameter motor *brushless* DC pada tabel 2.1 Kedalam fungsi alih motor *brushless* DC, maka didapatkan fungsi alih motor *brushless* DC sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{\frac{1}{k_e}}{\tau_m \cdot \tau_e \cdot s^2 + \tau_m \cdot s + 1} \quad (3.1)$$

Jadi untuk menentukan nilai  $k_e$ ,  $\tau_m$ , dan  $\tau_e$  perlu dihitung untuk mendapatkan model motor. Dapat dicari menggunakan dari persamaan 2.29:

$$\begin{aligned} \tau_e &= \frac{L}{3 \cdot R} \\ \tau_e &= \frac{0.560 \times 10^{-3}}{3 \times 1.20} \\ \tau_e &= 155.56 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Tapi,  $\tau_m$  adalah bagian fungsi dari R, J,  $k_e$  dan  $k_t$

Dimana:

$$\begin{aligned} R &= 1.2 \Omega \\ J &= 92.5 \text{ gcm}^2 = 9.25 \times 10^{-6} \text{ Kgm}^2 \\ K_e &= 25.5 \text{ mNm/A} = 25.5 \times 10^{-3} \text{ Nm/A} \\ \tau_m &= 17.1 \text{ Ms} = 0.0171 \text{ s} \end{aligned}$$

Dari persamaan 2.29  $K_e$  dapat dihitung:

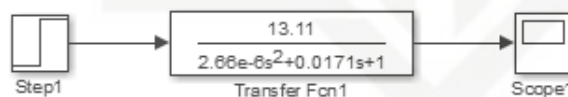
$$\begin{aligned}
 \tau_m &= \frac{3 \cdot R J}{K_e K_t} \\
 K_e &= \frac{3 \cdot R J}{\tau_m K_t} \\
 &= \frac{3 \cdot 1.2 \cdot 9.25 \times 10^{-6}}{0.0171 \cdot 2.25 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.0763 \frac{v \cdot sec}{rad}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Lalu didapat  $G(s)$  menjadi:

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{1}{k_e} \\
 G(s) &= \frac{\omega_m}{V_s} = \frac{13.11}{155.56 \times 10^{-6} \times 0.0171 \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1} \\
 G(s) &= \frac{\omega_m}{V_s} = \frac{13.11}{2.66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

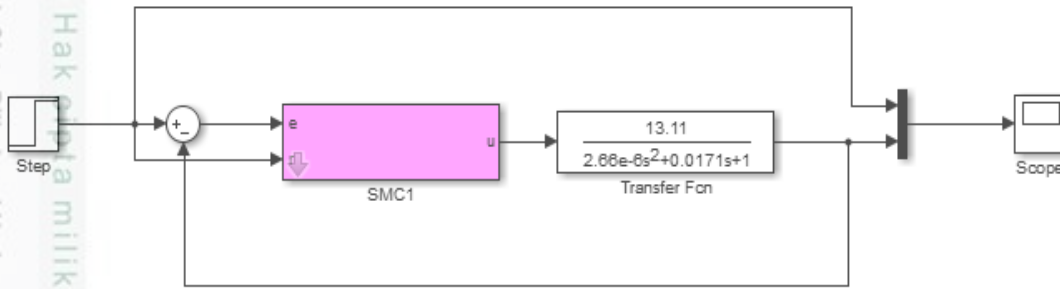
### 3.3 Pengujian *Plant* Motor BLDC

Pengujian *plant* motor *brushless* DC dilakukan menggunakan *Simulink Matlab* R2014a dengan *time sampling* 0.03 detik. Pada kasus ini blok diagram simulasi pengujian dilakukan secara *open loop* pada *plant* motor *brushless* DC digambarkan pada gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Blok Diagram *Open Loop* Motor *Brushless* DC





Gambar 3.4 Blok Diagram Pengendali *Sliding Mode* (SMC) pada *Plant*

Fungsi transfer plant motor DC dari persamaan (3.2) akan dimisalkan menjadi fungsi transfer dimana koefisien numerator dan denominator dimisalkan menjadi variabel yang bernilai tetap. Maka fungsi transfer *plant* akan menjadi:

$$G(S) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{as^2 + bs + c} \quad (3.5)$$

Dengan:

$$K = 13.11 ; a = 2.66 \times 10^{-6}; b = 0.0171 ; c = 1$$

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

$$\begin{aligned} \ddot{\omega} + a\dot{\omega} + b\omega &= cu \\ \ddot{\omega} &= -a\dot{\omega} - b\omega + cu \end{aligned} \quad (3.6)$$

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

$$\begin{aligned} x_1 &= e \\ \dot{x}_1 &= \dot{e} = x_2 \\ \dot{x}_2 &= \ddot{e} \end{aligned}$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$\begin{aligned} e &= r - \omega \\ x_1 &= r - \omega \\ \omega &= r - x_1 \end{aligned} \quad (3.7)$$

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

$$\dot{x}_1 = x_2 = -\dot{\omega} \quad (3.8)$$

$$\dot{x}_2 = -\ddot{\omega} \quad (3.9)$$

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

$$-\dot{x}_2 = -a(-\dot{x}_1) - b(r - x_1) + cu$$

$$-\dot{x}_2 = ax_2 + bx_1 - br + cu$$

$$\dot{x}_2 = -ax_2 - bx_1 + br - cu$$

Sehingga didapatkan persamaan state-space:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -c \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ br \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Didefinisikan suatu permukaan luncur:

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

$$S\dot{x} = 0$$

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

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

$$x_2 - ax_2 - bx_1 + br - cu_{eq} = 0$$

$$cu_{eq} = x_2 - bx_1 - ax_2 + br$$

$$u_{eq} = \frac{1}{c}((1 - a)x_2 - bx_1 + br) \quad (3.11)$$

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

$$\dot{\sigma}(x) = x_2 - ax_2 - bx_1 + br - cu_{eq} - cu_N$$

$$\dot{\sigma}(x) = x_2 - ax_2 - bx_1 + br - c \left( \frac{1}{c}((1 - a)x_2 - bx_1 + br) \right) - cu_N$$

$$\dot{\sigma}(x) = x_2 - ax_2 - bx_1 + br - x_2 + ax_2 + bx_1 - br - cu_N$$

$$\dot{\sigma}(x) = -cu_N$$

Berdasarkan analisa kestabilan *Lyapunov*:

$$\dot{S} \leq -\eta|S|$$

maka dipilih:

$$\dot{\sigma}(x) = -\eta \operatorname{sign}(\sigma(x))$$

Dimana  $\eta > 0$  (Suatu konstanta positif) sehingga persamaan (3.11) menjadi:

$$-cu_N = -\eta \operatorname{sign}(\sigma(x))$$

$$u_N = \frac{1}{c} \eta \operatorname{sign}(\sigma(x)) \quad (3.12)$$

Dengan demikian didapat untuk sinyal kendali total adalah sebagai berikut:

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

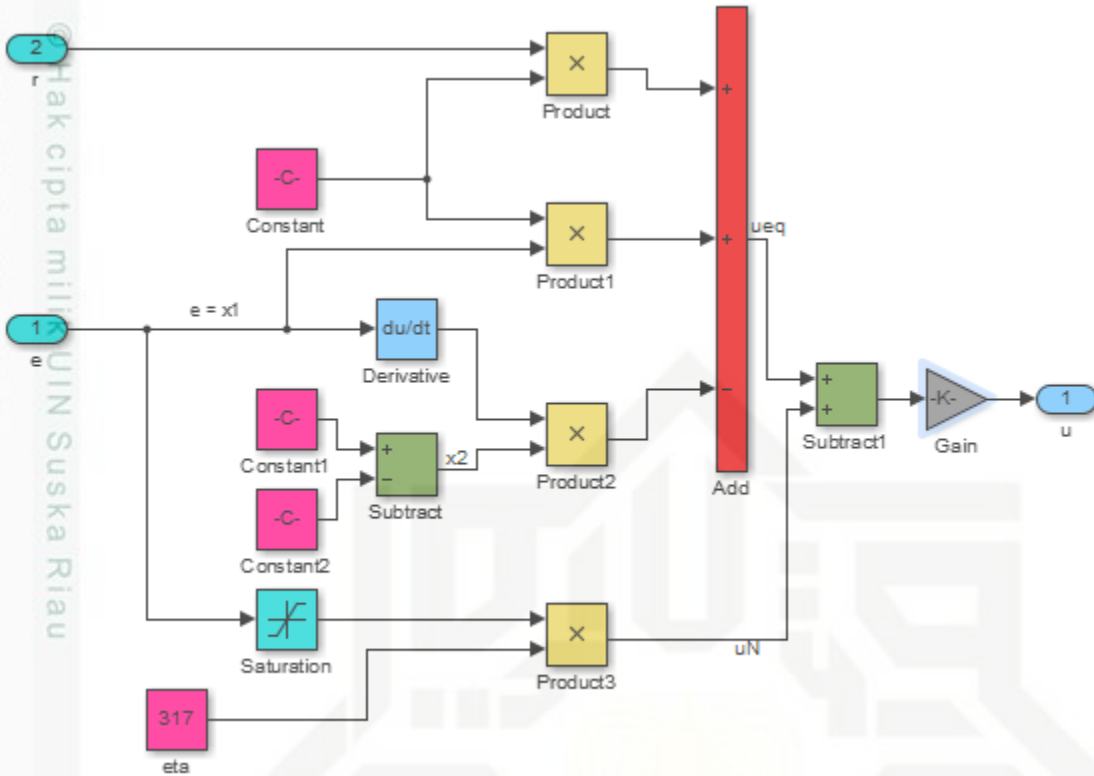
$$u = \frac{1}{c} ((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \operatorname{sign}(\sigma(x)) \quad (3.13)$$

Fungsi diskontinyu *signum* diubah menjadi fungsi kontinyu saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan permasalahan *chattering* pada *pengendali sliding mode*. Sehingga persamaan (3.10) menjadi:

$$u = \frac{1}{c} ((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \operatorname{sat}(\sigma(x)) \quad (3.14)$$



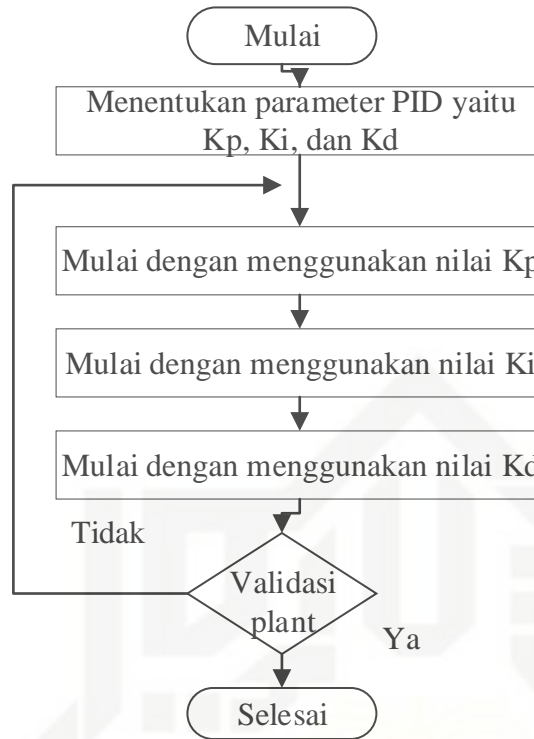
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   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

### 3.5 Desain Pengendali PID

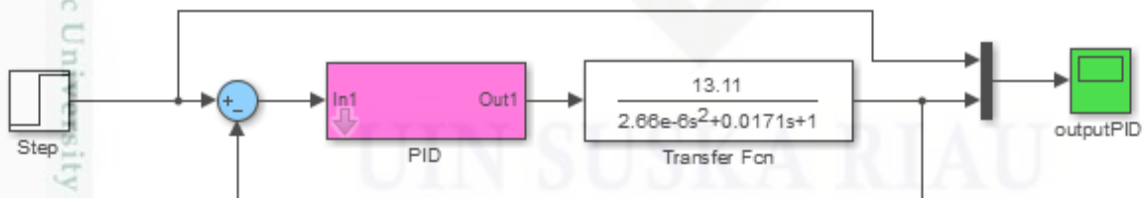
Desain pengendali PID pada tugas akhir ini menggunakan metode *heuristik* untuk menentukan parameter *proporsional*, *integral*, dan *derivative*. Rancangan metode *Heuristik* ini diperoleh dengan cara perubahan paramater yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$ ,  $K_I$ , dan  $K_d$ . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (*Heuristic Method*), dimana penalaan parameter pengendali dimulai hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali I dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai ini parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh.



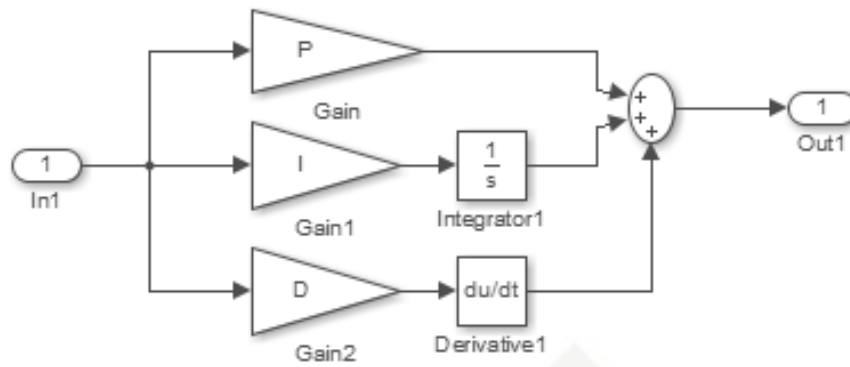
Gambar 3.6 *Flow Chart* Penalaan Parameter Kendali PID dengan Metode Heuristik

Berdasarkan bentuk umum pengendali PID pada persamaan (3.12) maka diagram blok pada pengendali PID ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut ini:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (3.15)$$



Gambar 3.7 Blok Diagram Kerja Pengendali PID pada *Plant*

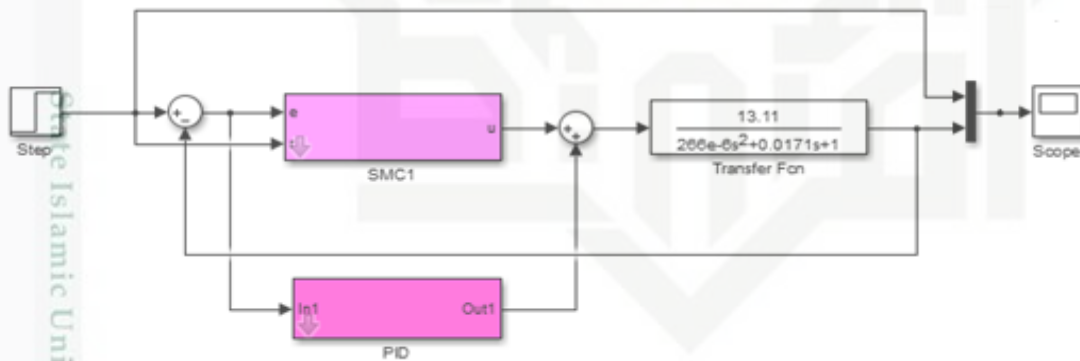


Gambar 3.8 Subsisitem Pengendali PID

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

*Hybrid* SMC dan PID adalah desain pada pengendali SMC ditambahkan dengan pengendali PID. Dari hasil penggabungan antara SMC dan PID diharapkan mampu membuat performasi pada pengaturan kecepatan motor brushless DC. Sehingga didapatkan keluaran yang lebih stabil yang dapat didesain dengan rumus sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{k} (-cx_1 + (a - b)x_2 + a.\eta.\text{sat}(\sigma)) + K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (3.16)$$



Gambar 3.9 Blok Diagram Pengendali *Hybird* SMC dan PID

Pada gambar 3.6 merupakan diagram blok *hybrid* SMC dan PID yaitu hasil dari desain pengendali SMC ditambahkan hasil desain pengendali PID yang membentuk satu pengendali baru digunakan untuk pengendalian kecepatan motor *brushless* DC.