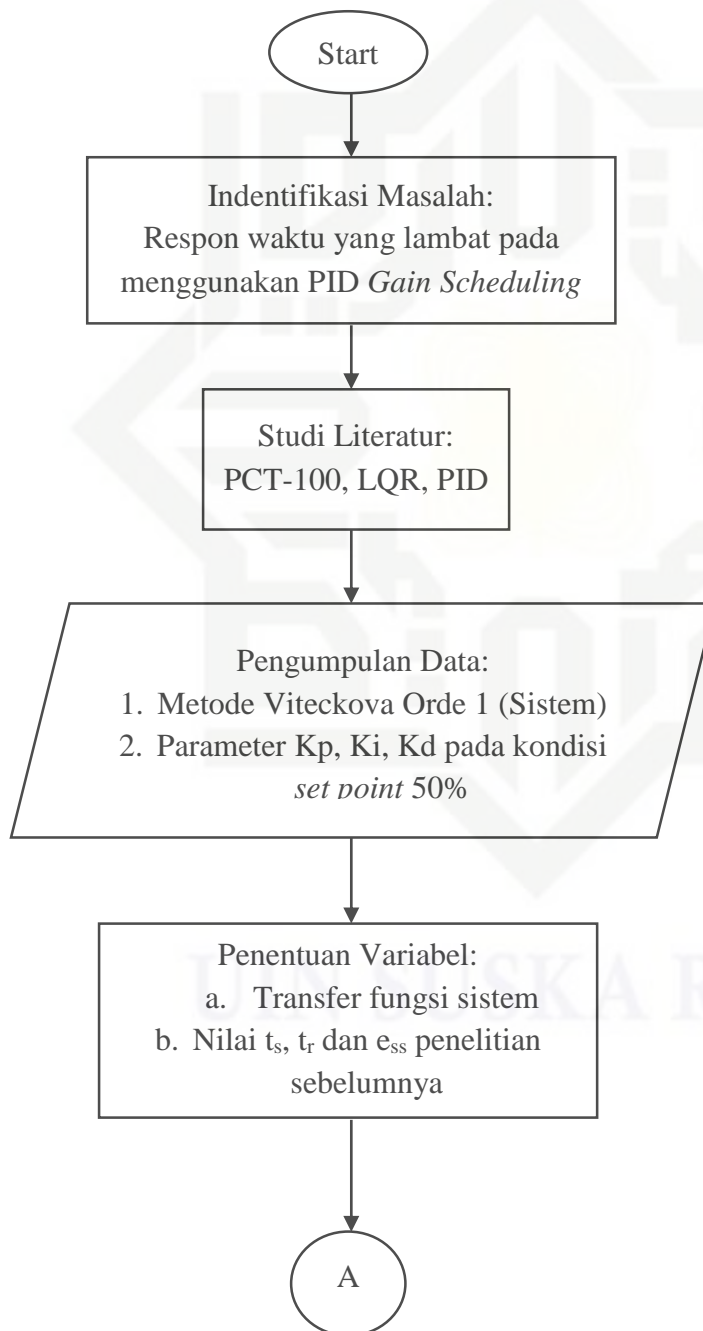


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

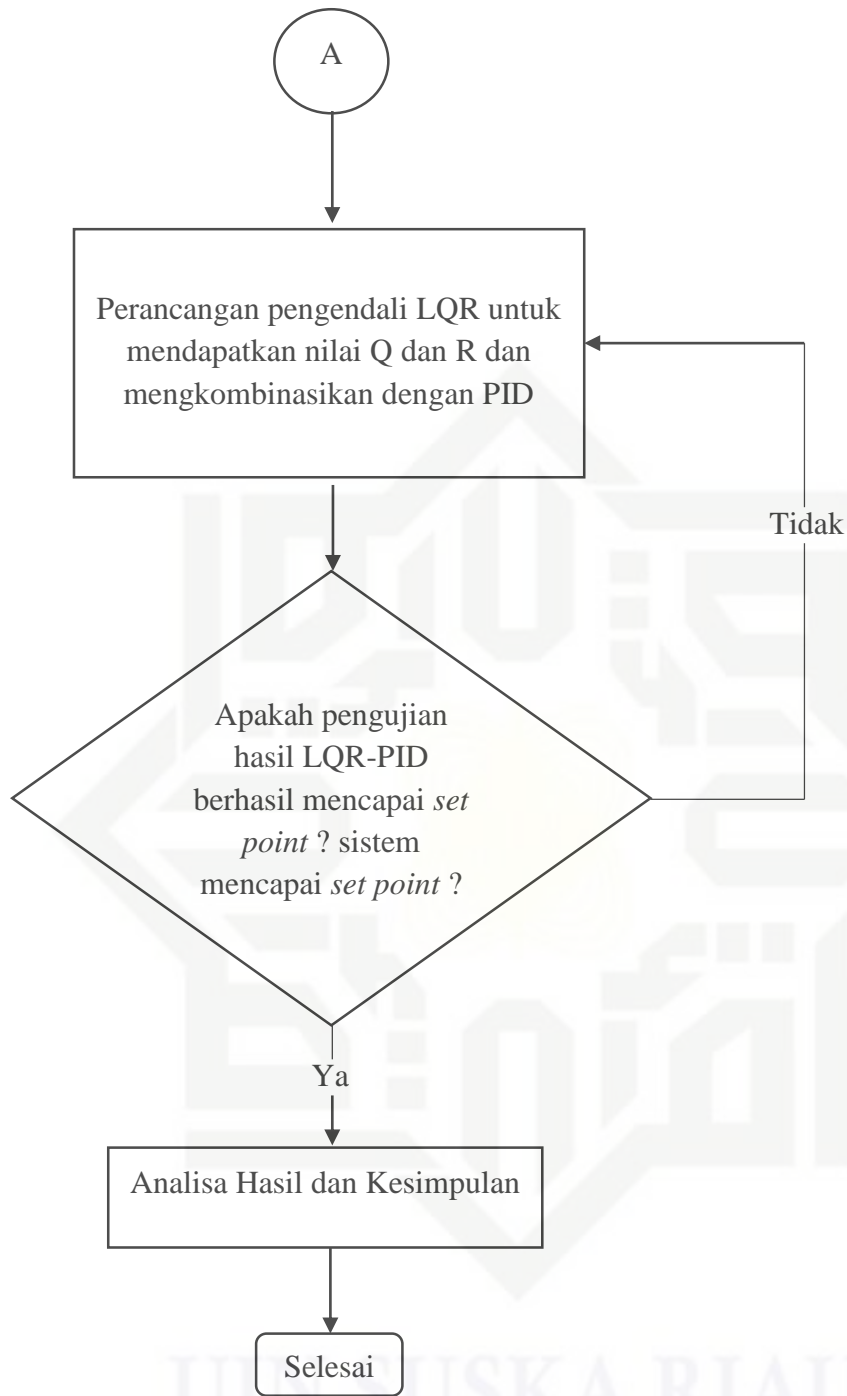
3.1. Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang peneliti lakukan mulai dari proses permodelan matematis sistem, perancangan pengendali hingga hasil analisa akhir pada penelitian tugas akhir ini. Adapun tahapan yang dilakukan sebagai 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.



Gambar 3.1. Flow Chart Penelitian

3.2. Penentuan Variabel

Tahap penentuan variabel ini didapatkanlah dari nilai t_{dv1} , t_{v1} dan nilai K pada pengumpulan data.

Berdasarkan hasil respon dari grafik *open loop* dengan *set point* 50% [1]

$$\begin{aligned}
 Y_{ss} &= 34,97 \\
 X_{ss} &= 50 \\
 K &= \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{34,97}{50} = 0,6994
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Melalui pendekatan dengan menggunakan metode Viteckova orde 1 berdasarkan hasil respon dari grafik *open loop* dengan *set point* 50% [5]

- a. Tentukan nilai t_{33} yaitu saat respon bernilai 33% dari Y_{ss}

$$\begin{aligned}
 t_{33} &= 33\% \times Y_{ss} \\
 &= 33\% \times 34,97 = 11,5401\%
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Dilihat pada hasil grafik *open loop* sistem $t_{33} = 229,33s$

- b. Tentukan nilai t_{70} yaitu saat respon bernilai 70% dari Y_{ss}

$$\begin{aligned}
 t_{70} &= 70\% \times Y_{ss} \\
 &= 70\% \times 34,97 = 24,479\%
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Dilihat pada hasil grafik *open loop* sistem $t_{70} = 688,23s$

- c. Tentukan nilai t_{dv1} melalui persamaan

$$\begin{aligned}
 T_{dv1} &= 1,498 t_{33} - 0,498 t_{70} \\
 &= 1,498 (229,33s) - 0,498 (688,23s) \\
 &= 343,53s - 342,738s \\
 &= 0,792s
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

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.

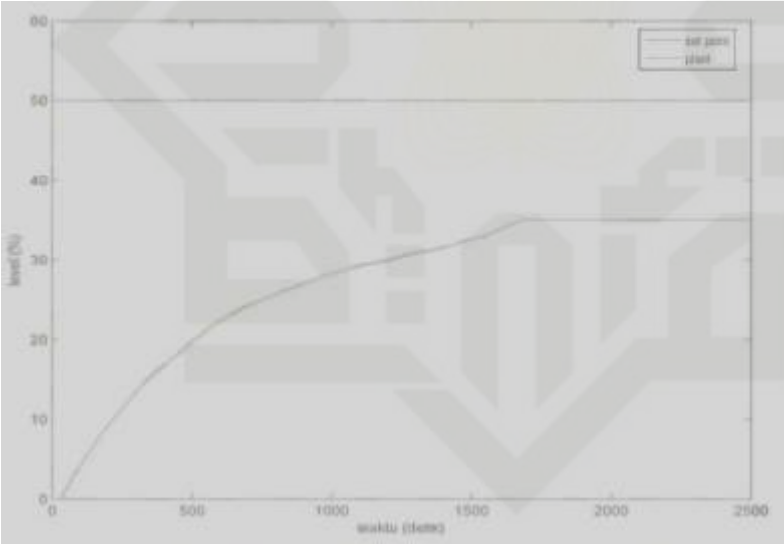
d. Setelah itu hitung nilai τ_{v1} melalui persamaan

$$\begin{aligned}
 T_{v1} &= 1,245 (t_{70} - t_{33}) \\
 &= 1,245 (688,23s - 229,33s) \\
 &= 1,245 (458,9s) \\
 &= 571,33s
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Sehingga didapatkan fungsi alih *plant* proses *level*:

$$G_H(s) = \frac{0,6994}{571,33S+1}
 \tag{3.6}$$

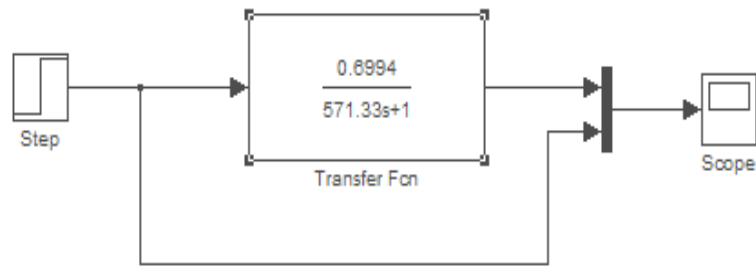
Setelah mendapatkan fungsi alih *plant*, kemudian dimasukan kedalam blok diagram tranfer fungsi *plant* pada *simulink* matlab dilakukan secara *open loop* dengan respon berupa *level*.



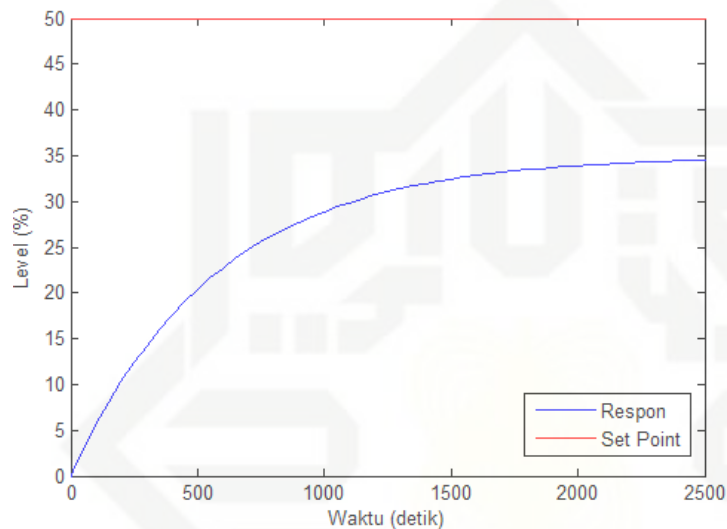
Gambar 3.2 Respon *Plant* Proses *Level* pada PCT-100 [1]

Pada Gambar 3.2 menunjukan hasil keluaran dari sistem PCT-100 dalam bentuk fungsi alih yang diterapkan pada *simulink* matlab.

- 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.

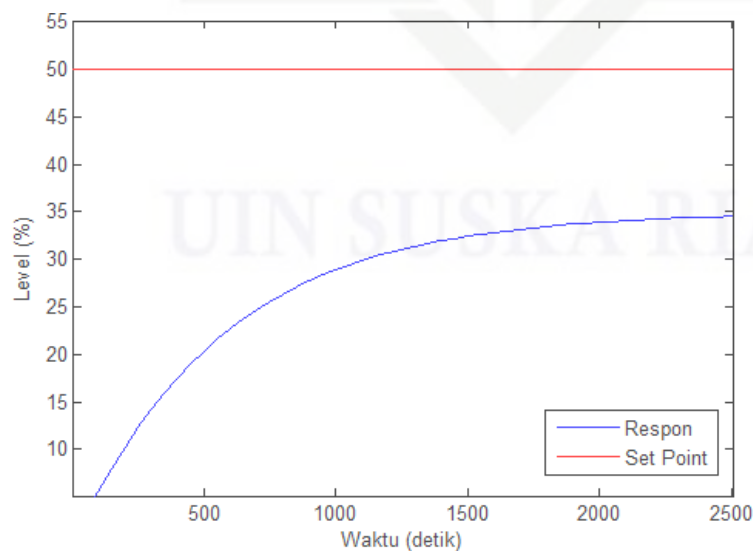


Gambar 3.3 Diagram Blok *Open Loop* Sistem dengan Metode Viteckova Orde 1



Gambar 3.4 Respon Identifikasi Pendekatan Model dengan Metode Viteckova Orde 1

Untuk memperjelas nilai *set point* dan memperjelas hasil respon maka grafik dari respon pendekatan model dengan metode Viteckova orde 1 di zoom dua kali pada hasil *simulink* matlab sehingga hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Respon Identifikasi Pendekatan Model dengan Metode Viteckova Orde 1 setelah di Zoom Dua Kali pada Hasil *Simulink* Matlab

Pada gambar 3.4 merupakan hasil identifikasi dengan pendekatan menggunakan metode Viteckova orde 1 dengan respon berupa *level* yang di gambarkan dalam bentuk grafik. Berdasarkan hasil identifikasi respon asli dengan menggunakan metode menunjukkan respon yang sama. Respon *open loop* pada proses *level* tanpa pengendali merupakan sistem yang tidak stabil karena dari *open loop* tidak mencapainya harga *set point* yang diinginkan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.4 dimana ketika diberi harga *set point* sebesar 50%, respon sinyal keluaran dari proses *level* tanpa pengendali menunjukkan nilai sebesar 34,53%. Hal ini ini berarti sinyal keluaran dari *level* tidak mencapai harga *set point* dengan kata lain proses *level* tidak dapat mengikuti harga *set point* yang diberikan yaitu 50%. Secara analisa dapat dibuktikan dengan mengidentifikasi sistem sebagai berikut :

1. Konstanta waktu (τ)

$$\tau = \text{set point} \times 63,2 \%$$

$$\tau = \text{waktu ketika } h = 63,2\% \text{ dari } \text{set point}$$

$$h_{63,2\%} = 50 \times 63,2\%$$

$$= 31,6\%$$

Setelah didapatkan nilai τ ketika $h_{63,2\%} = 31,6\%$ maka kita dapat menentukan nilai t ketika $h_{63,2\%}$ pada tabel *Workspace* matlab R2011b yaitu 1,2991s

2. Waktu tunda atau *Delay Time* (t_d)

$$t_d = 50\% \times \text{set point}$$

$$= 50\% \times 50$$

$$= 25\%$$

KAMAL <63x3 double>				
	1	2	3	4
25	649.0603	23.7417	50	
26	699.0603	24.6826	50	
27	749.0603	25.5446	50	
28	799.0603	26.3344	50	
29	849.0603	27.0580	50	

Gambar 3.6 *Workspace* grafik respon penentuan t_d ketika mencapai nilai *set point* 25%

$$t_d = \text{Waktu ketika mencapai nilai } \text{set point } 25\% = 749,0603s$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber dan menyatakan sumber yang sebenarnya.
 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.

3. Waktu tunak atau *Settling Time* (t_s)

$$\begin{aligned}
 t_s (5\%) &= 3\tau \\
 &= 3 (1,2991) \\
 &= 3,8973s
 \end{aligned}$$

4. *Error Steady State* (e_{ss})

$$\begin{aligned}
 e_{ss} &= R_{ss} - C_{ss} \\
 &= 50\% - 34,5301 \\
 &= 15,4699\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan identifikasi *open loop* sistem secara analitik menunjukkan respon waktu, dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Analisa respon *open loop*

Analisa Respon	Level
Konstanta waktu (τ)	1,2991s
Waktu tunak atau <i>Settling time</i> (t_s)	3,8973s
Waktu tunda atau <i>Delay time</i> (t_d)	699,06s
<i>Error Steady State</i> (e_{ss})	15,4699%

3.3 Perancangan Pengendali

3.3.1 Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, fungsi alih pada persamaan (3.6) tersebut perlu dikembalikan kedalam bentuk *State Space* seperti berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0,6994}{571,33s + 1}$$

$$0,6994 U(s) = 571,33 sY(s) + Y(s)$$

Laplace balik / inverse Laplace :

$$\mathcal{L}^{-1}\{U(s)\} = u(t)$$

$$\mathcal{L}^{-1}\{sY(s)\} = \frac{dy}{dt} = \dot{y}$$

$$\mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\} = y(t)$$

Dari turunan fungsi alih pada persamaan (3.6) tersebut kemudian dilaplace balik dengan menggunakan metode inverse transformasi laplace balik sehingga diperoleh persamaan diferensial orde 1 :

Diturunkan :

$$0,6994 u = 571,33 \frac{dy}{dt} + y$$

$$0,6994 u = 571,33\dot{y} + y$$

$$571,33\dot{y} + y = 0,6994 u$$

Di definisikan :

$$\dot{y} = -\frac{1}{571,33} y + \frac{0,6994}{571,33} u$$

$$x_1 = y \longrightarrow \dot{x}_1 = \dot{y}$$

$$= \frac{0,6994}{571,33} u - \frac{1}{571,33} x_1$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{571,33} \end{bmatrix} [x_1] + \begin{bmatrix} \frac{0,6994}{571,33} \end{bmatrix} u$$

$$\mathbf{y} = [1] [x_1]$$

Di dapat solusi persamaan keadaan :

$$\dot{\mathbf{x}} = [-0,0018] [x_1] + [0,0012]u \quad (3.7)$$

Dengan persamaan keluaran :

$$\mathbf{y} = c\mathbf{x}$$

$$\mathbf{y} = [1] [x_1] \quad (3.8)$$

Jadi, dari persamaan keadaan (3.7) dan persamaan keluaran (3.8), dapat ditentukan nilai matriks *state space* A, B, C dan D seperti berikut :

$$A = [-0,0018] \tag{3.9}$$

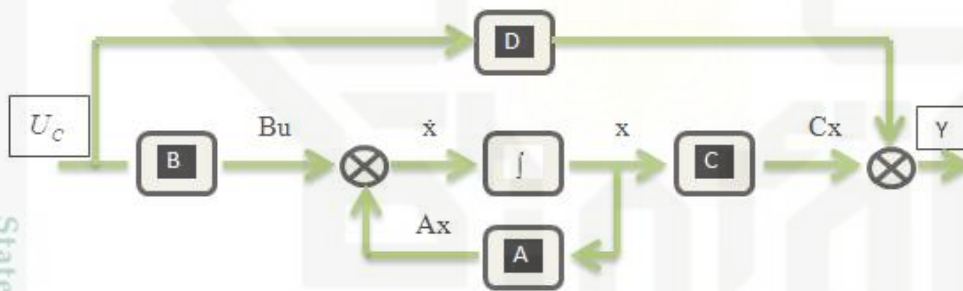
$$B = [0,0012] \tag{3.10}$$

$$C = [1] \tag{3.11}$$

$$D = [0] \tag{3.12}$$

Gambar 3.7 menunjukkan diagram blok dari sistem PCT-100. Matriks A, B, C, dan D secara bersama-sama yang menyatakan parameter dinamika sistem. Persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{3.13}$$



Gambar 3.7 Diagram blok ruang keadaan sistem untuk pengaturan *Level* pada PCT-100

Masukan *step* berupa *level* yang hasil performansi sistem akan di analisis dengan respon transien dan kriteria integral menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*) sekecil mungkin. Hal yang dilakukan untuk melakukan perancangan adalah mencari umpan balik optimal K, yang akan meminimumkan indeks perfomansi sistem sesuai dengan persamaan (2.15). Dengan menggunakan *Software* MATLAB nilai konstanta umpan balik K akan di dapatkan dengan memasukkan program ke dalam M-File seperti berikut :

$$[K, S, e] = lqr(sys, Q, R, N) \tag{3.14}$$

Dimana, penentuan matriks pembobot Q dan R berpedoman pada :

- a. Semakin besar harga matriks Q, maka akan memperbesar harga elemen matriks gain kendali dan mempercepat sistem mencapai *steady state*.

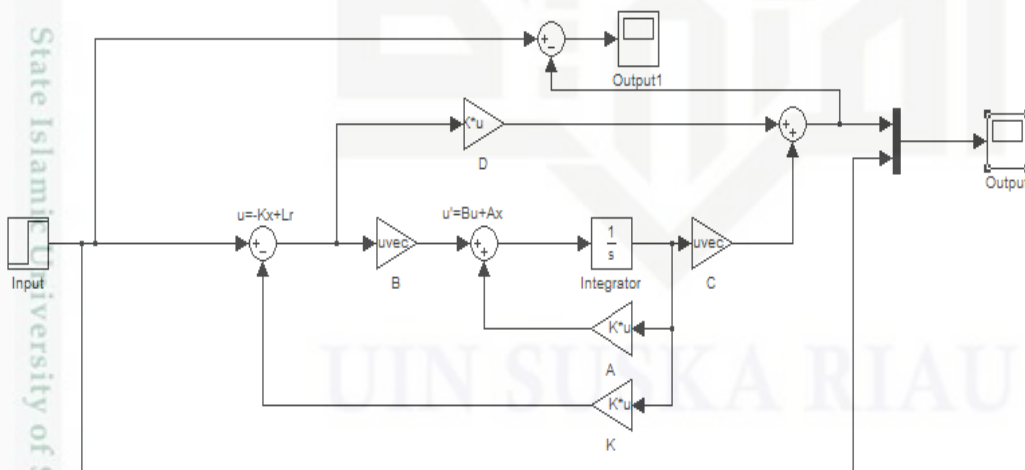
- b. Semakin besar harga matriks R , maka akan memperkecil harga elemen matriks gain kendali dan memperlambat sistem mencapai *steady state*.

3.3.2 Kriteria Integral Menggunakan IAE (*Integral Of Absolute Error*)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai dari $t = 0$ hingga mencapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*Integral Of Absolute Error*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan *loop* tertutup. Kriteria IAE lebih dipopuler dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk membuat error menjadi lebih kecil.

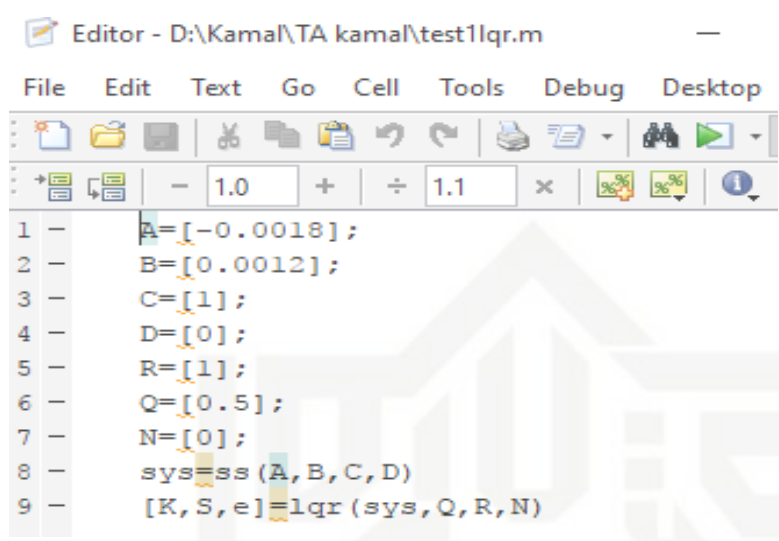
$$IAE = \int_0^{\infty} |e| dt \quad (3.15)$$

Untuk melakukan perhitungan kendali optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dapat dilakukan dengan memasukan persamaan *state space* pada *Software Matlab* hingga mendapatkan matriks Q dan R yang optimal



Gambar 3.8 Blok *Simulink* PCT-100 menggunakan kendali Optimal LQR (R2011b)

Dengan memasukkan nilai matriks A, B, C dan D pada m-file matlab yang ditunjukkan pada gambar 3.9 berikut.



```

1 - A=[-0.0018];
2 - B=[0.0012];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[0.5];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)

```

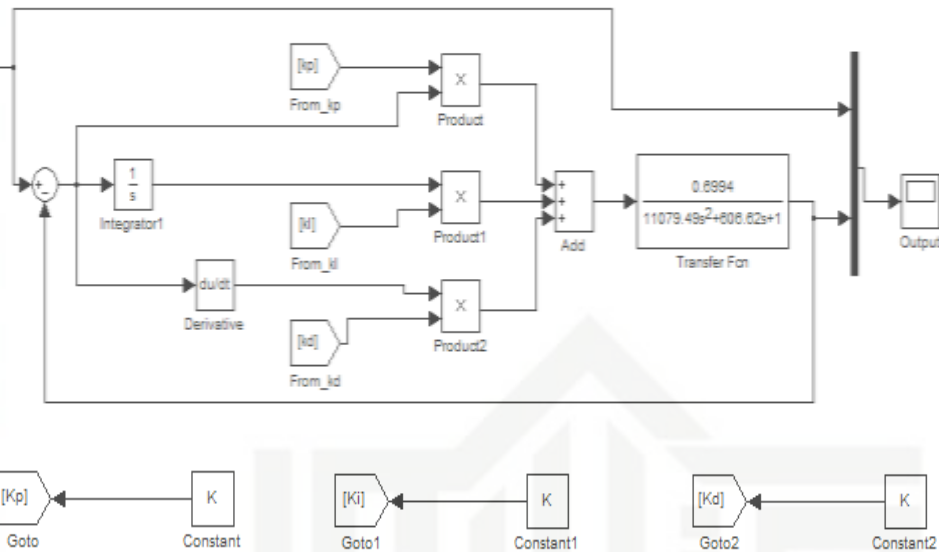
Gambar 3.9 Tampilan Sistem *Process Control Technology* – 100 (PCT – 100) Menggunakan Kendali Optimal LQR pada M-File (R2011b)

3.3.3 Perancangan Pengendali *Proportional Integral Derivatif* (PID)

Berdasarkan studi literatur yang telah ditentukan maka desain pengendali PID dapat dibuat dengan bentuk *simulink* yang terdapat pada gambar (3.10) dengan memasukkan nilai *transfer function* yang diperoleh dari sistem PCT-100 dengan kondisi *setpoint* 50% yang telah dimasukkan kedalam blok desain pengendali PID. Penentuan nilai konstanta K_p , K_i dan K_d diperoleh dengan menggunakan metode *heuristic* yang merupakan sebuah metode dimana menggunakan cara eksplorasi dan cara mencoba – coba untuk mendapatkan nilai yang maksimal. Rancangan metode *heuristic* ini diperoleh dengan perubahan parameter yang disesuaikan dengan cara kerja dari sistem yang akan dikendalikan.

Penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian ditambahkan dengan pengendali I dan ditambahkan dengan pengendali D.

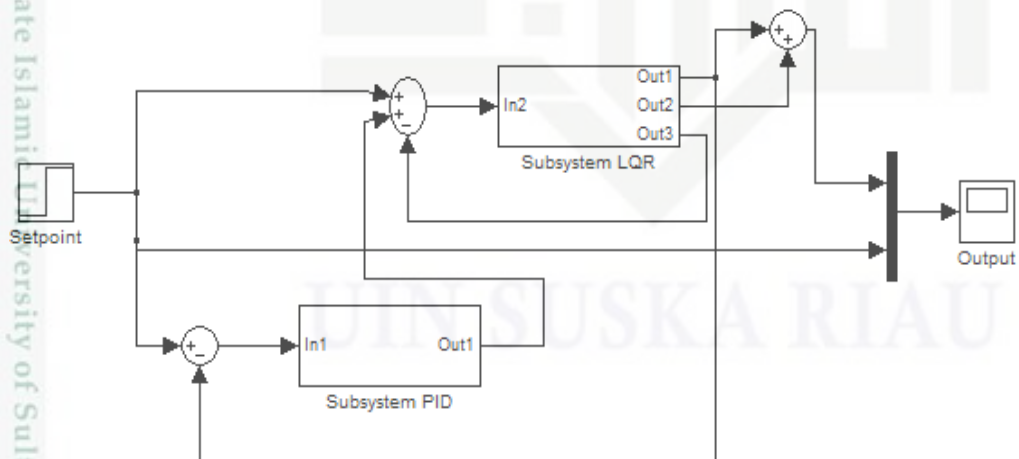
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan 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 3.10 Desain pengendali PID pada blok *Simulink*

3.3.4 Perancangan Pengendali *Hybrid LQR – PID*

Setelah mendapatkan dan mempelajari desain pengendali LQR dan desain pengendali PID maka penulis akan mengkombinasikan pengendali optimal LQR dan pengendali PID agar kinerja dari pengendali LQR menjadi lebih baik dan optimal. Optimal difokuskan pada respon waktu yang cepat dengan error minimum. Kemudian didapatkan blok diagram desain pengendali LQR – PID pada gambar (3.11).



Gambar 3.11 Desain pengendali LQR-PID pada blok *simulink*

Adapun nilai program yang dimasukkan dalam M – file adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar (3.12) dibawah ini

```

Editor - D:\Kamal\TA kamal\test1lqr.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop
[Icons] - 1.0 + ÷ 1.1 x [Icons]
1 - A=[-0.0018];
2 - B=[0.0012];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[0.5];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

Gambar 3.12 Program pengendali LQR-PID dengan kondisi *set point* 50% pada sistem PCT-100

- 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.