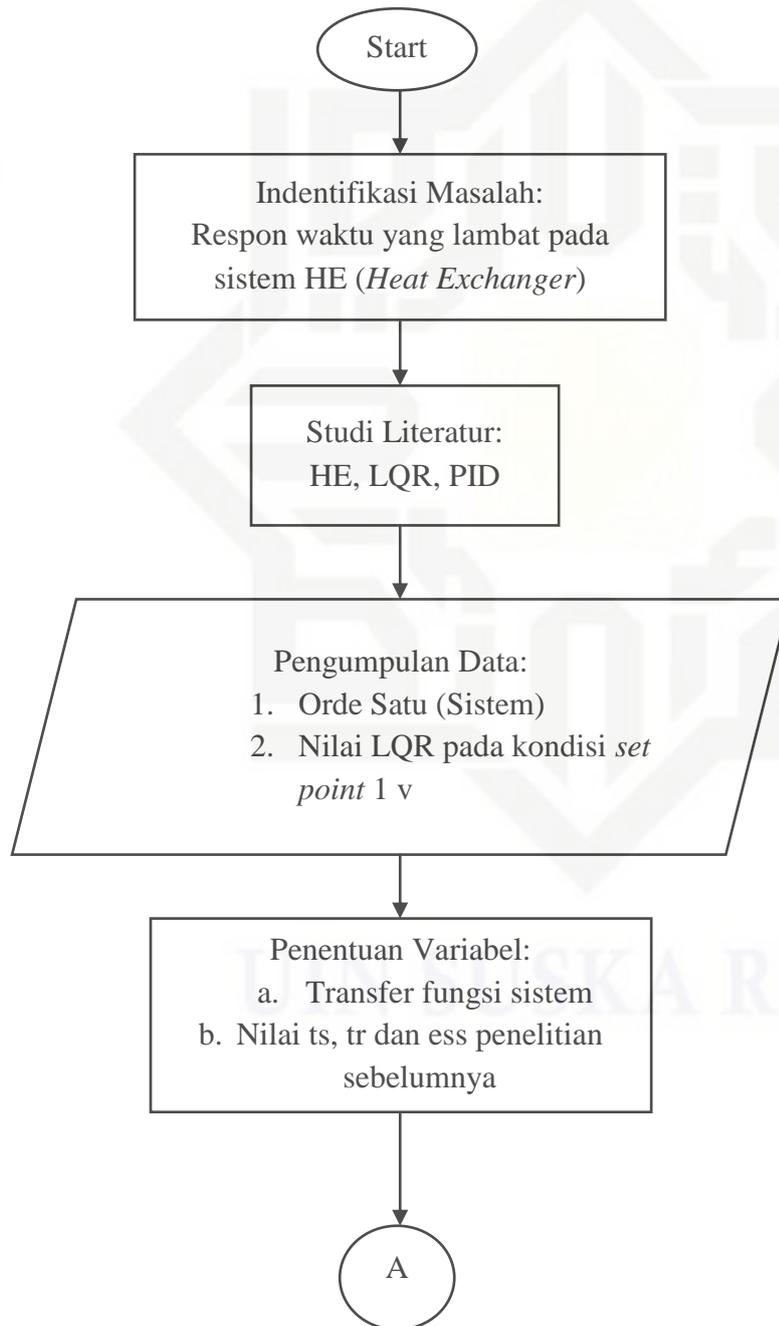


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

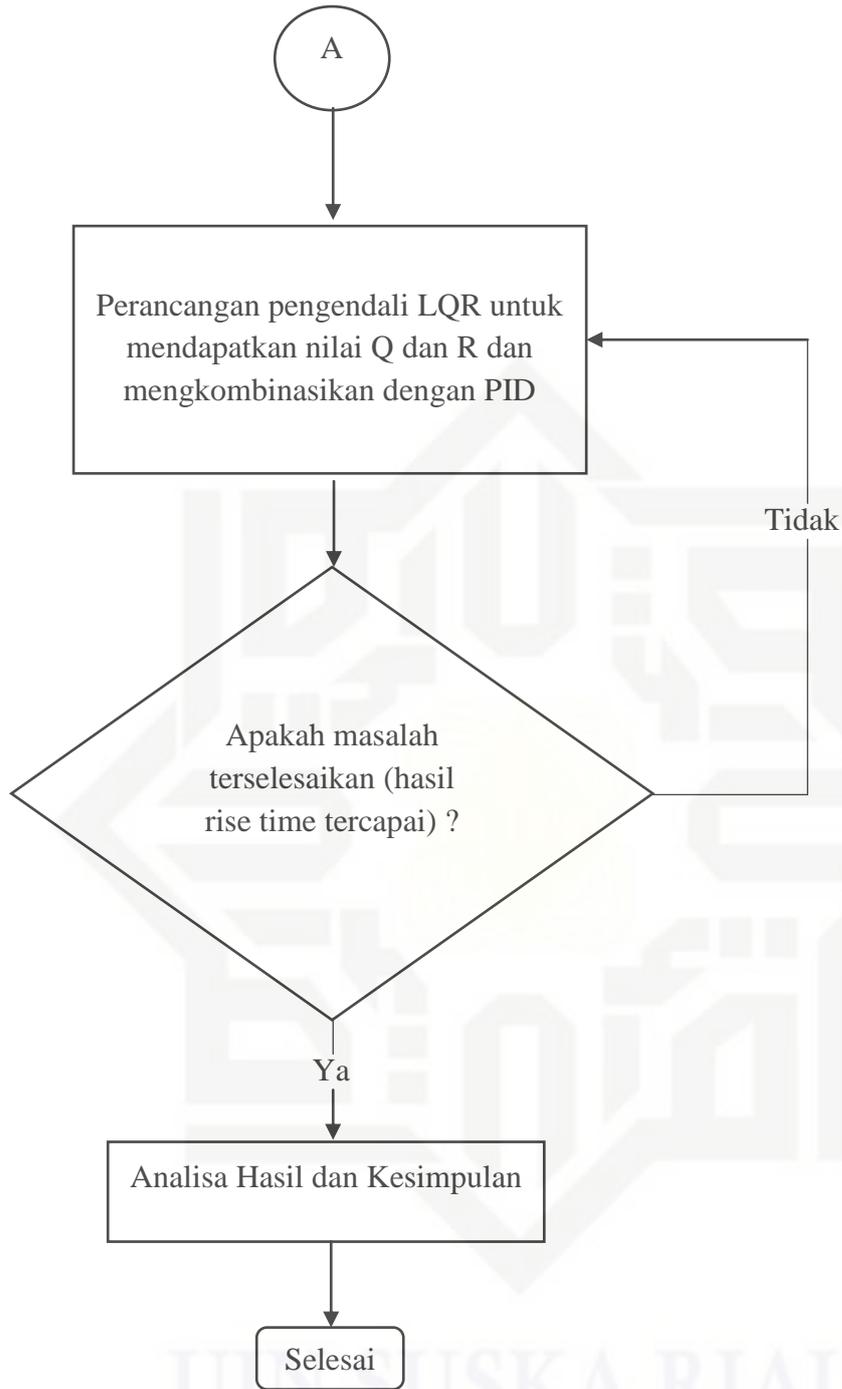
3.1. Proses Alur Penelitian

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

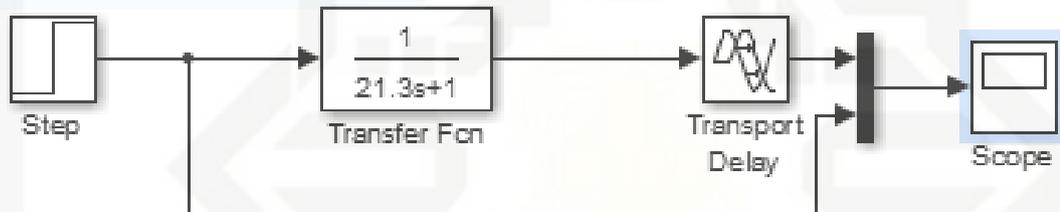
3.2. Penentuan Variabel

Tahap penentuan variabel ini pertama didapatkan dulu grafik temperatur *real plant* dari penelitian sebelumnya. Setelah penentuan variabel didapatkan nilai τ dan nilai K_p pada pengumpulan data ke dalam persamaan (2.10).

Sehingga didapatkan fungsi alih sistem proses temperatur sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1e^{-14.7s}}{21.3s+1} \quad (3.1)$$

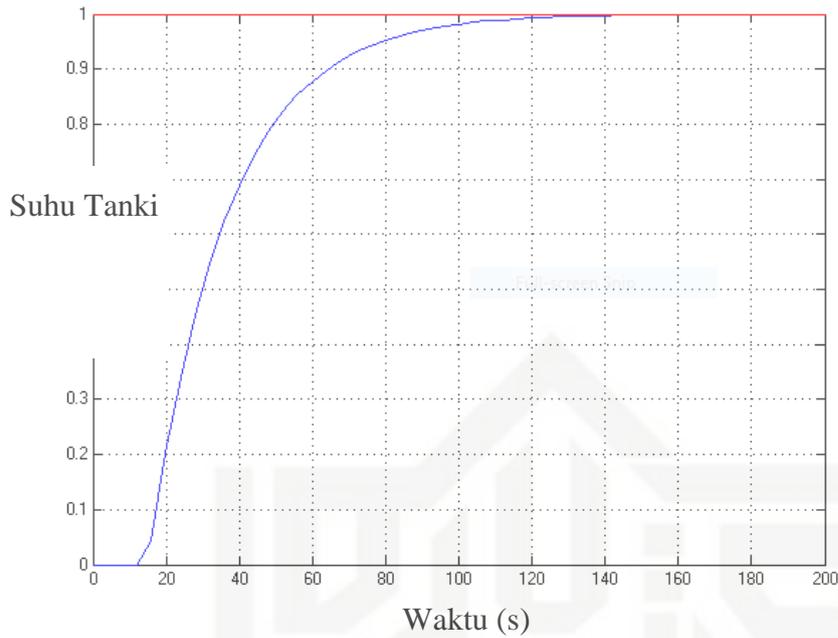
Untuk memastikan bahwa fungsi alih sistem proses temperatur mempunyai karakteristik yang sama dengan *real plant* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3, dibuatlah perbandingan respon sistem hasil pengukuran dengan simulasi secara *open loop* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Diagram blok *open loop* sistem HE tipe *shell and tube*

Pada blok diagram yang ditunjukkan Gambar 3.2, terdapat *transport delay* yang digunakan untuk memodelkan waktu tunda yang ada pada fungsi alih sistem yaitu -14,7 detik. Penentuan waktu tunda tersebut didasari dari penelitian yang dilakukan oleh JB Riggs pada tahun 2001 dengan judul “*Chemical Process Control*”, dimana pada penelitian itu Riggs menjelaskan bahwa $\frac{Y(s)}{X(s)}$ adalah fungsi alih proses, K_p adalah penguatan, t_d atau θ adalah waktu tunda, dan τ adalah konstanta waktu (*time constan*) dari proses.

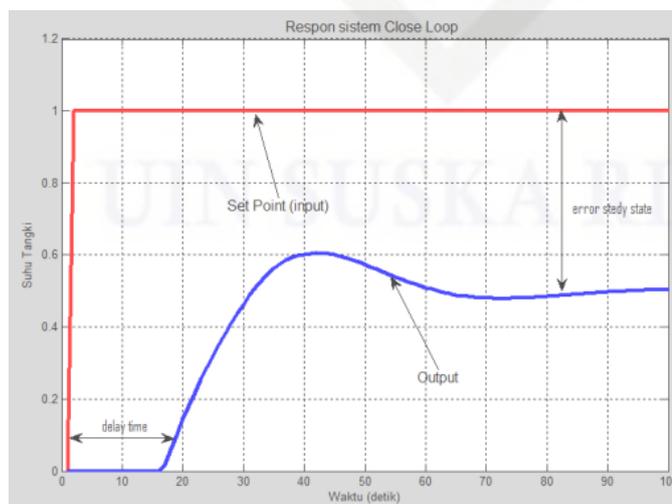
Respon Sistem Heat Exchanger



Gambar 3.3 Grafik keluaran sistem HE tipe *shell and tube* secara *open loop*

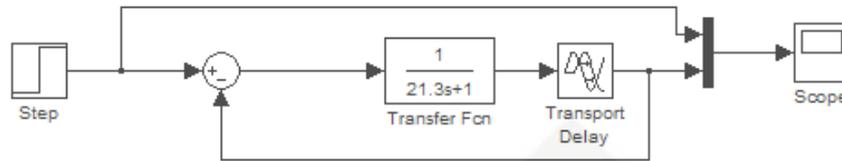
Dari hasil grafik keluaran pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa respon sistem hasil simulasi mempunyai kesamaan sebesar 97% dengan hasil pengukuran yang terlihat pada Gambar 2.3 sebelumnya. Hal ini mengidentifikasi bahwa pemodelan sistem ini berhasil dan dapat digunakan sebagai model sistem untuk merancang pengendali. Proses perancangan sistem dengan pengendali, hal pertama yang dilakukan adalah menganalisa sistem secara *close loop*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya grafik temperatur *real plant* secara *close loop* ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut:

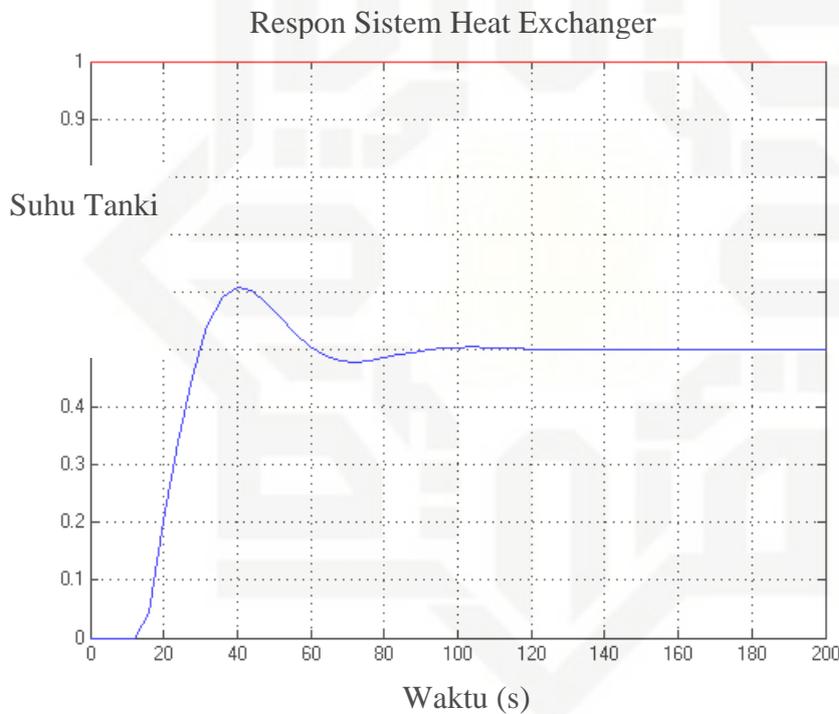


Gambar 3.4 respon *real plant* secara *close loop* proses temperatur pada HE tipe *shell and tube* [4]

Grafik temperatur *real plant* inilah yang nantinya akan digunakan untuk menguji validitas sistem yang diturunkan secara matematis. Berdasarkan persamaan (3.1) dibuatlah diagram blok sistem HE secara *close loop* dan diperoleh hasil seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Diagram blok *close loop* sistem HE tipe *shell and tube*



Gambar 3.6 Respon Identifikasi Sistem HE tipe *shell and tube* secara *close loop*

Pada gambar 3.6 merupakan hasil identifikasi sistem HE secara *close loop* dengan respon berupa tegangan yang di gambarkan dalam bentuk grafik. Berdasarkan hasil identifikasi respon asli dengan menggunakan metode pendekatan orde satu menunjukkan respon yang sama. Respon *close loop* berupa tegangan tanpa pengendali merupakan sistem yang tidak stabil karena dari *close loop* tidak mencapainya harga *set point* yang diinginkan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.6 dimana ketika diberi harga *set point* sebesar 1V, respon sinyal keluaran berupa tegangan tanpa pengendali menunjukkan nilai sebesar 0,5

detik. Hal ini ini berarti sinyal keluaran dari temperatur belum mencapai *set point* dengan kata lain proses temperatur tidak dapat mengikuti harga *set point* yang diberikan yaitu 1V.

Secara analitik dapat dibuktikan dengan mengidentifikasi sistem sebagai berikut:

1. Konstanta waktu (τ)

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

$$\tau = \text{waktu ketika } h = 63,2 \text{ v dari}$$

$$h_{63,2\%} = 1 \times 63,2 \text{ v}$$

$$= 0,632$$

Setelah didapatkan nilai τ ketika $h_{63,2\%} = 0,632$ maka kita dapat menentukan nilai t ketika $h_{63,2\%}$ pada tabel *workspace* yaitu pada saat 39,9248 detik

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

$$t_d = 50\% \times \text{Setpoint}$$

$$= 50\% \times 1$$

$$= 0,5$$

Setelah didapatkan nilai t_d waktu ketika mendekati mencapai 0,5 adalah 27,9248 detik

3. Waktu naik atau *Rise Time* (t_r)

$$t_r(10\%-90\%) = 10\% \times 1 = 0,1 = 15,9248 \text{ detik}$$

$$= 90\% \times 1 = 0,9 = 39,9248 \text{ detik}$$

$$t_r = 90\% - 10\% = 39,9248 \text{ detik} - 15,9248 \text{ detik} = 24 \text{ detik}$$

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

$$t_s(5\%) = 3\tau$$

$$= 3 (39,9248)$$

$$= 119,7744 \text{ detik}$$

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

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss}$$

$$= 1 - 0,5 \text{ v}$$

$$= 0,5 \text{ v}$$

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

Tabel 3.1 Analisa respon *close loop*

Analisa Respon	Temperatur
τ	39,9248 detik
$t_s(\pm 5\%)$	119,7744 detik
$t_r(10\% - 90\%)$	24 detik
$t_d(3\%)$	27,9248 detik
e_{ss}	0,5 v

Dari analisa diatas, penggunaan nilai *set point* sebesar 1v dikarenakan penelitian ini merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Murie Dwiyanti yang mana pada penelitiannya variabel temperatur yang digunakan diukur dalam bentuk tegangan. Sehingga pada penelitian ini variabel yang digunakan mengikuti variabel penelitian sebelumnya, maka nilai *set point* yaitu 1v. Penggunaan nilai *set point* 1v dikarenakan penelitian ini hanya berskala laboratorium bukan industri pabrik.

3.3. Perancangan Pengendali

3.3.1 Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, fungsi alih pada persamaan (3.1) tersebut perlu dikembalikan kedalam bentuk *State Space* seperti berikut :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{21.3s+1}$$

$$1X(s) = 21.3sY(s) + Y(s)$$

Dari turunan fungsi alih pada persamaan (3.1) tersebut kemudian diturunkan dengan menggunakan metode inverse transformasi laplace balik sehingga diperoleh persamaan diferensial orde satu:

$$1X = 21.3 \frac{dy}{dt} + Y$$

$$1X = 21.3\dot{y} + y$$

$$21.3\dot{y} = -y + 1X$$

$$\dot{y} = \frac{-y + 1X}{21.3}$$

$$\dot{y} = -0.0469y + 0.0469X$$

Di definisikan:

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

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = -0.0469y + 0.0469X$$

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = -0.0469x_1 + 0.0469X$$

$$[\dot{x}_1] = [-0.0469][x_1] + [0.0469]X$$

$$[y] = [1][x_1]$$

Didapat solusi persamaan keadaan:

$$[\dot{x}_1] = [-0.0469][x_1] + [0.0469]X \tag{3.2}$$

Dengan persamaan keluaran:

$$y = cx$$

$$[y] = [1][x_1] \tag{3.3}$$

Jadi dari persamaan keadaan (3.2) dan persamaan keluaran (3.3), dapat ditentukan matriks *state space* A, B, C dan D seperti berikut:

$$A = [-0.0469] \tag{3.4}$$

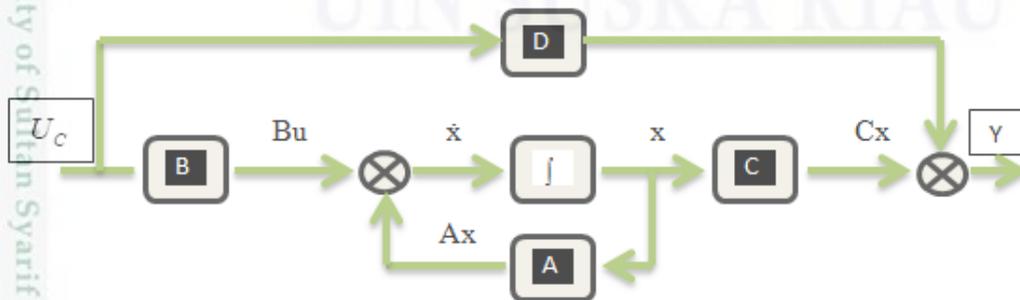
$$B = [0.0469] \tag{3.5}$$

$$C = [1] \tag{3.6}$$

$$D = [0] \tag{3.7}$$

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

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{3.8}$$



Gambar 3.7 Diagram blok ruang keadaan sistem untuk pengaturan temperatur pada HE

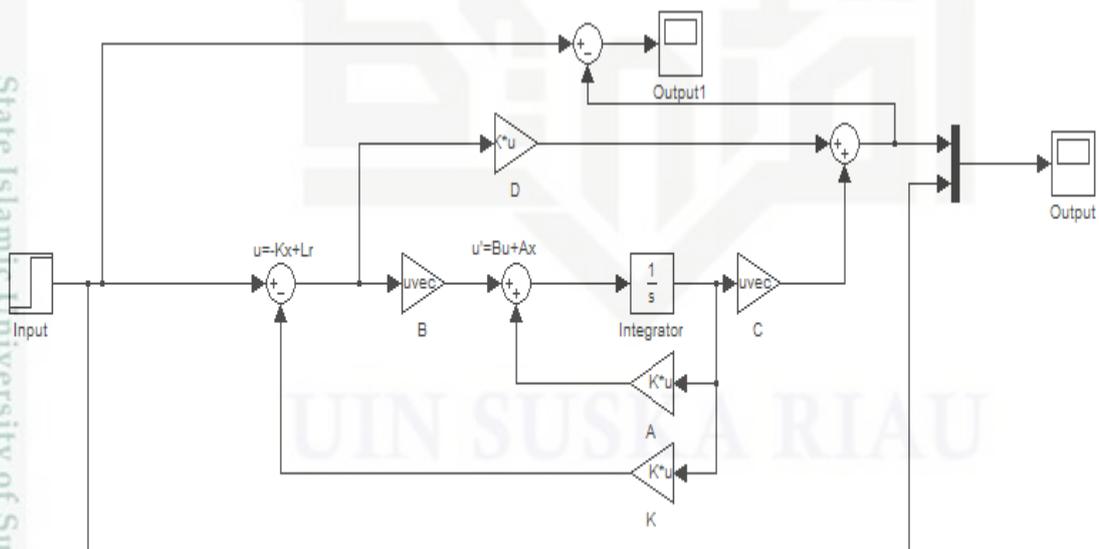
Masukan step berupa tegangan yang hasil performansi sistem akan di analisis dengan respon transien sebaik mungkin. Hal yang dilakukan untuk melakukan perancangan adalah mencari umpan balik optimal K , yang akan meminimumkan indeks performansi sistem sesuai dengan persamaan (2.21). Dengan menggunakan *Software* MATLAB nilai konstanta umpan balik K akan di dapatkan dengan memasukkan program ke dalam M-File seperti berikut:

$$[K, S, e] = lqr(sys, Q, R, N) \tag{3.9}$$

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*.

Untuk melakukan perhitungan kendali optimal *Linear Qudratic 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* HE menggunakan kendali optimal LQR

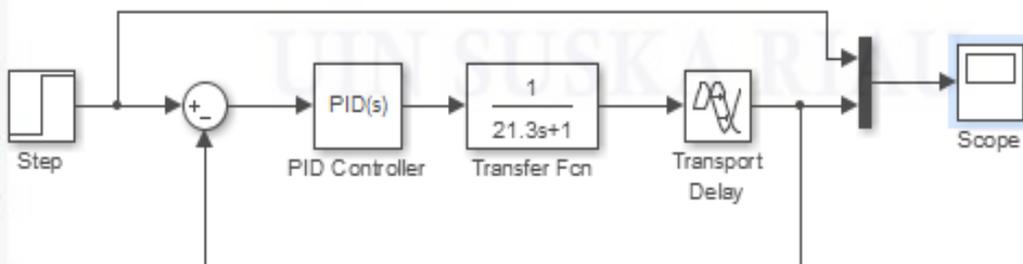
```

kaliang.m* x
1 - A=[-0.0469];
2 - B=[0.0469];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[10];
6 - Q=[0.00003];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

Gambar 3.9 Tampilan *m-file* sistem *heat exchanger* (HE) menggunakan kendali optimal LQR

3.3.2 Perancangan Pengendali *Proportional – Integral – Derivatife* (PID)

Berdasarkan studi literatur yang telah ditentukan maka desain pengendali PID dapat dibuat dengan bentuk blok diagram yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 dengan memasukkan nilai *transfer function* yang diperoleh dari sistem HE dengan kondisi *set point* 1v yang telah dimasukkan kedalam blok desain pengendali PID. Penentuan konstanta K_p , K_i dan K_d merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Murie Dwiyanti, dimana pada penelitain itu penentuan konstanta K_p , K_i dan K_d diperoleh dengan menggunakan metode *ciancone*.

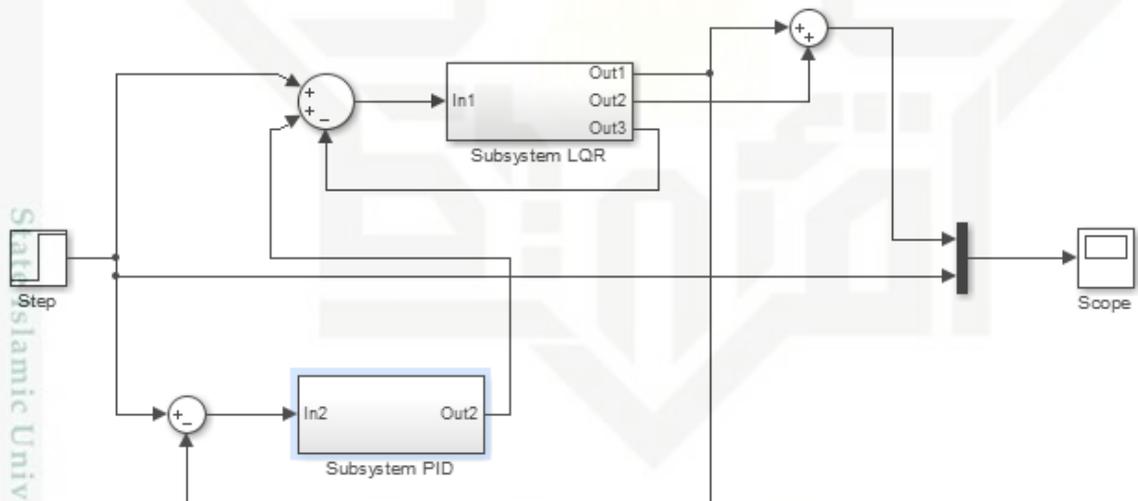


Gambar 3.10 Desain pengendali PID pada blok *simulink*

3.3.3 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. Pada perancangan pengendali *hybrid* LQR-PID, nilai konstanta K_p , K_i dan K_d tidak lagi menggunakan nilai konstanta yang diperoleh dengan metode *ciancone* melainkan dengan menggunakan metode *heuristic*. Metode *heuristic* adalah sebuah metode dimana metode ini menggunakan cara eksplorasi dan cara mencoba-coba dalam mendapatkan nilai yang maksimal.

Penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian ditambahkan dengan pengendali I dan ditambahkan dengan pengendali D. Pada perancangan pengendali *hybrid* LQR-PID ini pengoptimalan difokuskan pada nilai *rise time* (t_r) yang cepat. Kemudian didapatlah blok diagram desain pengendali LQR-PID pada Gambar 3.11



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

```

kaliang.m* x
1 - A=[-0.0469];
2 - B=[0.0469];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[10];
6 - Q=[0.00003];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)

```

Gambar 3.12 Tampilan *m-file* sistem *heat exchanger* (HE) menggunakan pengendali *hybrid* LQR-PID

- 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.