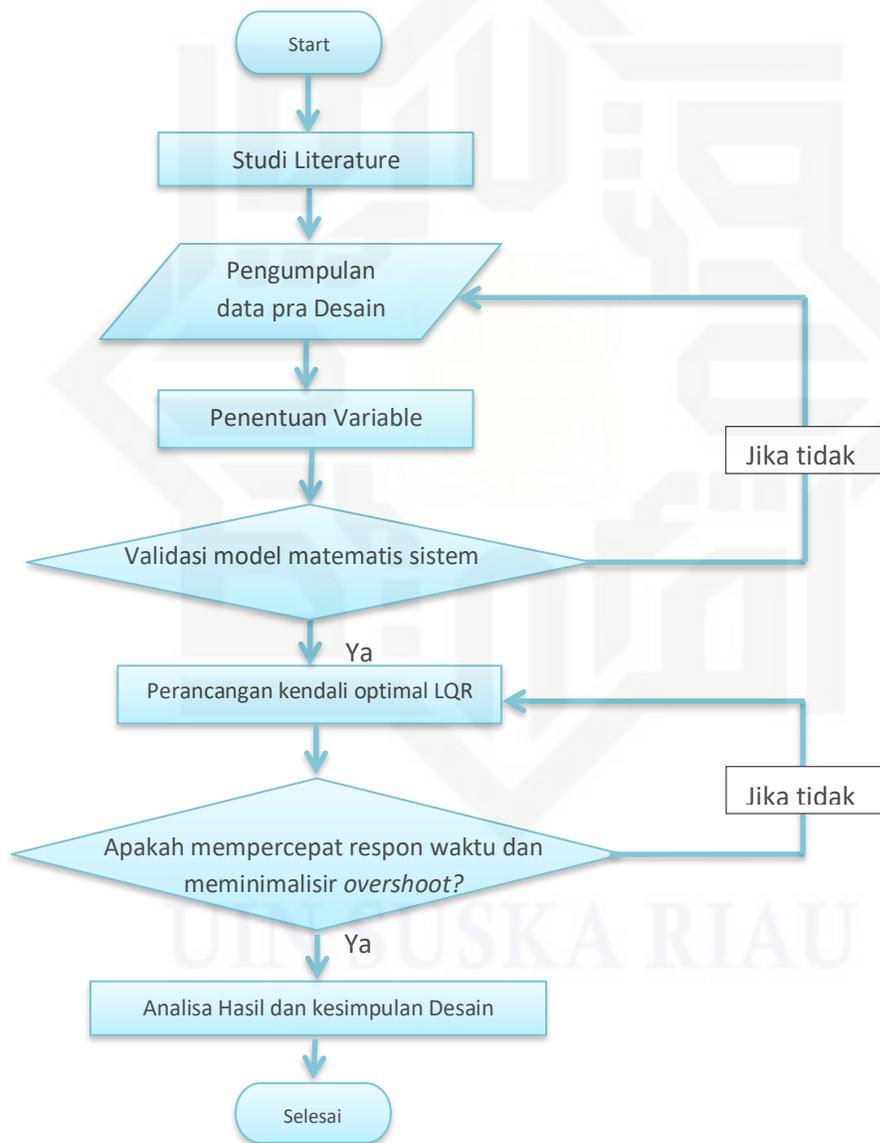


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan, mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian. Adapun tahap yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2. Tahapan Penelitian

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

1. Studi literatur

Mencari dan mempelajari referensi yang terkait judul yang di bahas dalam penelitian tugas akhir ini, mengenai pemodelan matematis sistem *Annealing* dan pengendali LQR baik dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan di internet maupun di buku-buku yang telah membahas mengenai penelitian tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data Pra-Desain

Pada tahap ini data-data yang terkait akan dikumpulkan untuk mengetahui katakteristik dari sistem yang akan diteliti meliputi data *setpoint* sebesar 450°C, dan membentuk persamaan *State space* dengan matrik A, B, C dan D .

3. Penentuan Variable

Data-data pada pra-desain yang sudah didapatkan dibuat model matematis berbentuk persamaan *state space* adalah berbentuk:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad \text{Dengan nilai A,B,C dan D sebagai berikut:}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.000327 & -0.0857 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C = [0.9875 \quad 1] \quad D = [0]$$

4. Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis *Annealing Lehr*

Validasi pemodelan dan pengujian *Plant* adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *state space* dari sistem *Annealing* yang sudah dibentuk dalam bahasa pemograman *matlab Simulink* guna divalidasi tersebut adalah bentuk keluaran dari sistem sudah sesuai dengan hasil keluaran dari rujukan.

5. Desain Pengendali LQR

Pada tahap ini melakukan perancangan pengendali LQR guna meminimalisir *overshoot* dan mempercepat respon waktu yang terdapat pada jurnal rujukan.

6. Analisa Hasil Pasca-Desain

Pada tahap ini penulis akan mengalisa hasil keluaran dari *plant Annealing* setelah dan sebelum dipasang pengendali. Kemudian mengetahui apakah pengendali LQR dapat



mempercepat respon waktu, meperkecil *overshoot* pada sistem dan dapat mengikuti *setpoint* yang telah diberikan.

7. Hasil Desain dan kesimpulan

Pada tahap ini penulis mengklarifikasi hasil disain tersebut terhadap tujuan yang akan dicapai. Apabila telah terpenuhi berarti penelitian yang telah dilakukan berhasil, dan apabila sebaliknya, maka perlu melakukan pemeriksaan ulang pada perancangan pengendali yang telah dibuat. Apabila masalah telah terselesaikan dan tujuan tercapai kembali maka ditariklah kesimpulan penelitian.

3.3. Pemodelan *Annealing Lehr*

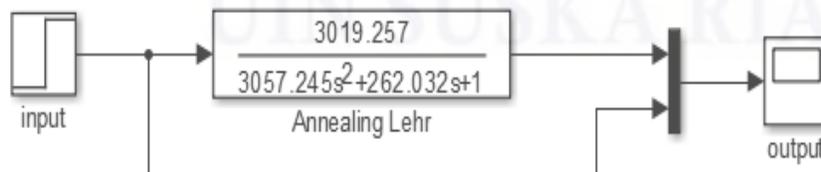
Berdasarkan persamaan 2.7 model fungsi alih *Annealing Lehr*, setelah dimasukkan nilai-nilai parameternya pada table 2.1 adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{0.028 \text{ m}^3 \text{ kg/sA} \times 46488.8 \text{ W} \times 3.1224 \text{ m/W}^\circ\text{C}}{(1 + 12.245s)(1 + 3.1224 \text{ m/W}^\circ\text{C} \times 80 \text{ J/K})} \tag{3.1}$$

$$\frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \tag{3.2}$$

3.4. Pengujian *Plant Annealing Lehr*

Pengujian *Plant Annealing* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab R2014a*. Blok diagram simulasi pengujian dilakukan secara *Open Loop* pada *Plant Annealing* dengan masukan berupa panas dan keluaran berupa Temperatur yang digambarkan seperti pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.2 Blok simulink diagram *Open Loop Annealing Lehr*

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.

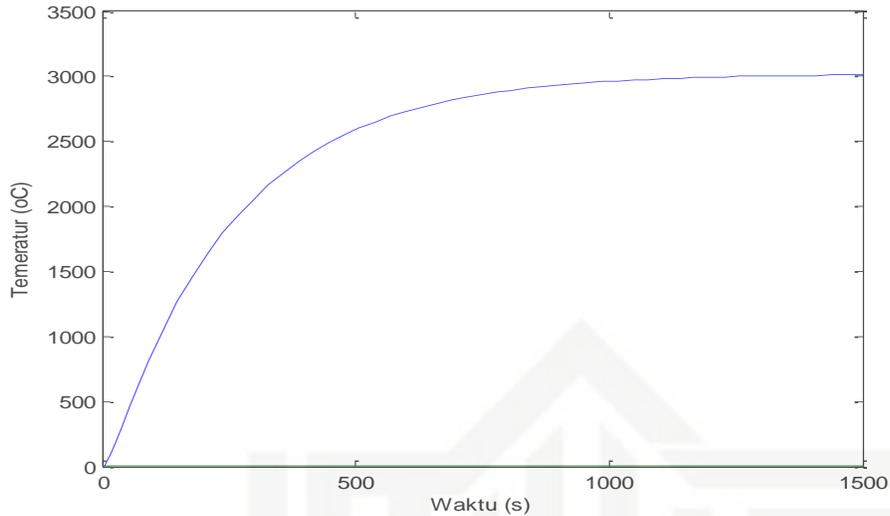


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 Respon *Open Loop* Temperatur pada *Annealing* (tanpa pengendali)

Dari Respon sistem *Annealing Lehr* tanpa pengendali (*Open Loop*) diatas dapat dilihat respon sistem, merupakan sistem yang stabil namun dalam waktu yang lama serta tidak dapat mengikuti nilai *Set Point* yang diinginkan. Pada gambar 3.3 ditunjukkan Saat *setpoint* diberikan sebesar 1°C, respon hasil keluaran temperatur *Annealing* menunjukkan nilai sebesar 3000°C dengan waktu 1000 detik untuk mencapai keadaan stabil, error yang dihasilkan sangat besar. Ini menunjukkan bahwa temperatur pada *Annealing Lehr room* tidak dapat mengikuti nilai *set point* yang diberikan.

3.5. Perancangan Kendali Optimal Linear Quadratic Regulator (LQR)

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, fungsi alih pada persamaan (3.2) tersebut perlu dikembalikan kedalam bentuk *State Space* seperti berikut :

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{3019.257}{3057.45s^2 + 262.032s + 1}$$

$$3019.257U(s) = 3057.45s^2\theta(s) + 262.032s\theta(s) + \theta(s)$$

$$3019.257U = 3057.45 \frac{d^2\theta}{dt^2} + 262.032 \frac{d\theta}{dt} + \theta$$

$$3019.257U = 3057.45\ddot{\theta} + 262.032\dot{\theta} + \theta$$



Di definisikan:

$$x_1 = \theta \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{\theta} = x_2$$

$$x_2 = \dot{\theta} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{\theta} = -0.0857\dot{\theta} - 0.000327\theta + 0.9875U \\ = -0.0857x_2 - 0.000327x_1 + 0.9875U$$

$$3019.257U = 3057.45\ddot{\theta} + 262.032\dot{\theta} + \theta$$

$$3057.45\ddot{\theta} = -262.032\dot{\theta} - \theta + 3019.257U$$

$$\ddot{\theta} = \frac{-262.032\dot{\theta} - \theta + 3019.257U}{3057.45}$$

$$\ddot{\theta} = -0.0857\dot{\theta} - 0.000327\theta + 0.9875U$$

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = -0.0857x_2 - 0.000327x_1 + 0.9875U$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.000327 & -0.0857 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U$$

$$[y] = [0.9875 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Solusi persamaan keadaan :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.000327 & -0.0857 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \tag{3.2}$$

Persamaan keluaran :

$$y = cx \\ y = [0.9875 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Jadi dari persamaan keadaan (3.2) dan persamaan keluaran (3.3), dapat ditentukan matriks

State Space A, B, C dan D seperti berikut :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.000327 & -0.0857 \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

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

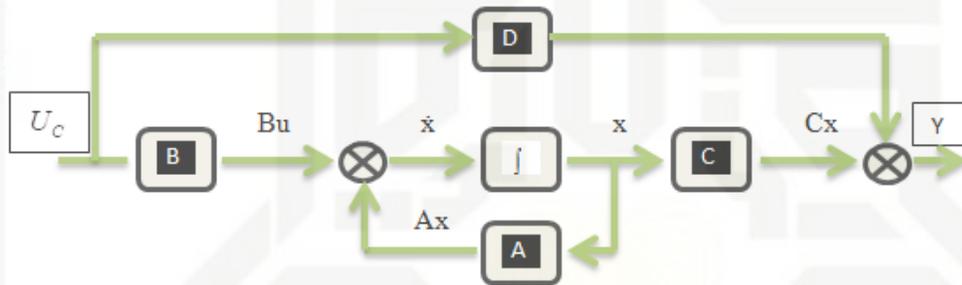


$$C = [0.9875 \quad 0] \tag{3.6}$$

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

Gambar 3.4 menunjukkan diagram blok dari *Plant Annealing Lehr*. Matriks A, B, C, dan D secara bersama-sama yang menyatakan parameter dinamika *Plant*. Persamaan sebagai berikut:

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



Gambar 3.4 Diagram blok ruang keadaan *Plant* untuk pengaturan temperatur pada *Annealing*

Masukan step berupa temperatur ruangan sebesar 450°C yang nantinya performa sistem dianalisis dengan respon transien dan kriteria integral menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*) sekecil mungkin.

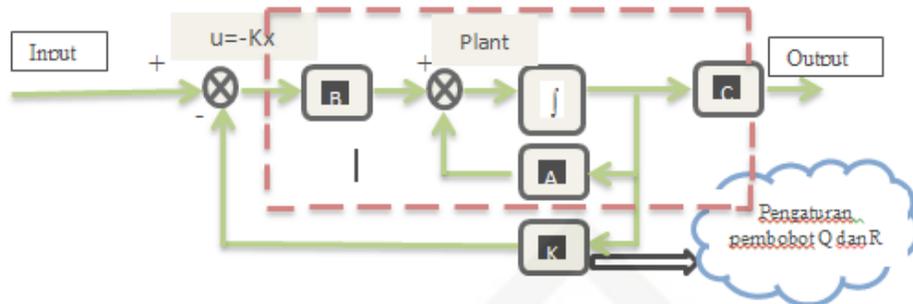
Langkah yang akan dilakukan adalah mencari umpan balik optimal K, yang akan meminimumkan indeks perfomansi sistem sesuai dengan persamaan (2.27). Dengan menggunakan *Software* MATLAB nilai konstanta umpan balik K yang diinginkan akan didapatkan. Ketikkan program pada M-file matlab seperti berikut :

$$[K, S, e] = lqr(sys, Q, R, N) \tag{3.7}$$

Dimana, penentuan matriks pembobot Q dan R berpedoman pada :

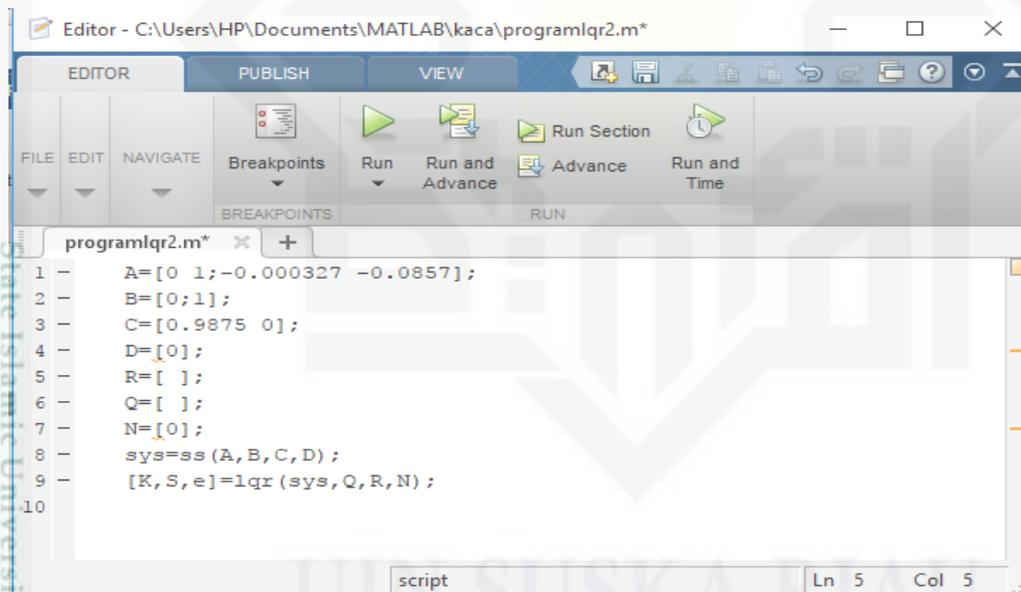
- a. Semakin besar harga matriks Q, maka akan memperbesar harga elemen matriks gain kendali dan mempercepat sistem mencapai *Steady State*.
- b. Semakin besar harga matriks R, maka akan memperkecil harga elemen matriks gain kendali dan memperlambat sistem mencapai *Steady State*.

Setelah program dijalankan, maka akan diperoleh hukum umpan balik sinyal kendali LQR pada persamaan (2.17).



Gambar 3.5 Diagram blok kendali optimal LQR dengan umpan balik K

Dimana, hasil ketikan dari persamaan yang akan dilakukan dengan perhitungan kendali optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) pada *Software* Matlab hingga mendapatkan matriks Q dan R yang optimal yaitu dapat dilihat pada gambar (3.6) berikut:



```

1 - A=[0 1;-0.000327 -0.0857];
2 - B=[0;1];
3 - C=[0.9875 0];
4 - D=[0];
5 - R=[ ];
6 - Q=[ ];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D);
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N);
10
    
```

Gambar 3.6 Tampilan sistem *Annealing* menggunakan kendali optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) pada M-File