

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kendali (*control system*) memiliki peran penting di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya industri. Sistem kendali merupakan sistem yang meliputi pengendalian terhadap variabel-variabel tertentu yang harus dijaga tetap sesuai dengan keinginan atau *set point* yang telah ditetapkan oleh operator[1]. Variabel-variabel ini bisa berupa temperatur, aliran, tekanan, ataupun kecepatan.

Sistem kendali dapat memberikan dampak positif pada *output* sebuah Hal tersebut dapat dilihat dari respon sistem yang lebih bagus dan nilai eror (*state error*) yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan pengendali. Pada perancangan sistem kendali diharapkan sistem dapat bekerja secara optimal untuk mendapatkan hasil terbaik dengan memperhatikan kondisi dan kendala dari sistem tersebut. Sistem kendali yang bagus adalah sistem yang memiliki respon yang cepat dan stabil. Hal tersebut dapat diketahui dari indeks performansi sistem. Dalam sistem kendali optimal sering kali mengacu pada nilai minimum, misalnya meminimalkan kesalahan, waktu, dan biaya pengendalian.

Linear quadratic regulator atau disingkat LQR merupakan salah satu kendali optimal yang banyak dikaji dan dikembangkan baik dari sisi pengembangan teori maupun aplikasinya. Kendali LQR meminimumkan biaya pengendalian pada suatu sistem linier yang disajikan dalam bentuk fungsi kuadrat dengan tujuan pengendalian membawa keadaan sistem tersebut menuju ke titik equilibrium nol ataupun ke sebuah persekitaran yang sangat dekat dengan nol[2].

Dewasa ini, baik pendulum biasa maupun pendulum terbalik menjadi objek penting dalam pendidikan dan penelitian di bidang teknik pengendalian. Berbagai penelitian dan pengujian dilakukan untuk membandingkan dan mengevaluasi berbagai teori pengendalian yang tepat untuk sistem pendulum terbalik. Di bidang teknik, baik pendulum biasa maupun pendulum terbalik dipakai untuk

memantau pergerakan fondasi bendungan, jembatan, dermaga, dan struktur bangunan lainnya. Selain itu, pendulum terbalik juga dimanfaatkan untuk seismik-makro, oseanik, dan atmosferik. Pengaplikasian yang identik dengan prinsip pendulum terbalik juga diterapkan pada transportasi *segway* yang diciptakan oleh Dean Kamen[3].

Pendulum terbalik merupakan sebuah sistem pendulum yang titik beratnya berada di atas titik tumpunya. Pendulum terbalik memiliki karakteristik yang tidak stabil dan tidak linier[4-6]. Pendulum terbalik memiliki pusat gravitasi yang berada di atas poros putar sehingga menyebabkan pendulum terbalik tidak seimbang. Gaya gravitasi bumi membuat pendulum jatuh ke bawah menuju arah gravitasi. Hal inilah yang membuat pendulum terbalik memiliki karakteristik yang tidak stabil. Suatu kendali khusus dibutuhkan agar pendulum mencapai posisi seimbang. Pendulum harus digerakkan dengan cara memberikan torsi pada titik porosnya atau dengan menggerakkan titik poros secara horizontal dengan menggunakan kendali umpan-balik hingga mencapai titik keseimbangan[5,7]. Gerakan yang diberikan harus cukup kuat dan cepat agar dapat mencapai titik keseimbangan.

Tipe pendulum terbalik yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah *rotary inverted pendulum*. *Rotary inverted pendulum* memiliki lintasan berbentuk lingkaran dengan tujuan untuk menghilangkan batasan lintasan pada pendulum terbalik sehingga dapat diseimbangkan dengan leluasa[5-7]. Ada dua aspek masalah dalam pengendalian *rotary inverted pendulum*. Pertama, *swing-up control*, yaitu mengayunkan pendulum dari posisi stabil ke posisi tegak yang tidak stabil. Kedua, *stabilization control*, yaitu menyeimbangkan pendulum selama berada di posisi tegak[8]. Pada penelitian tugas akhir ini akan dikaji mengenai aplikasi kendali optimal LQR pada sistem *rotary inverted pendulum* dalam hal *stabilization control*, yaitu menyeimbangkan pendulum selama berada di posisi tegak. Pada penelitian ini akan dianalisa pengaruh kendali optimal LQR terhadap sistem *rotary inverted pendulum* dan berapa lama pendulum dapat bertahan di kondisi tegak setelah diberikan pengendali.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memperoleh konstanta LQR untuk sistem *rotary inverted pendulum*.
2. Bagaimana perancangan kendali optimal LQR pada sistem *rotary inverted pendulum*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini diantaranya:

1. Memperoleh konstanta LQR untuk sistem *rotary inverted pendulum*.
2. Merancang kendali optimal LQR pada sistem *rotary inverted pendulum* dan menentukan konstanta LQR yang terbaik dengan simulasi maupun eksperimen untuk sistem *rotary inverted pendulum*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini diantaranya:

1. Dapat memahami pengaruh konstanta-konstanta LQR terhadap *output* sistem *rotary inverted pendulum*.
2. Dapat memahami proses pengontrolan LQR terhadap sistem *rotary inverted pendulum*.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Tipe pendulum terbalik yang digunakan adalah *rotary inverted pendulum*.
2. Kendali yang digunakan adalah kontrol optimal LQR.
3. Perancangan kontrol optimal LQR pada sistem *rotary inverted pendulum* menggunakan aplikasi Matlab.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
5. Matriks pembobot R pada kendali optimal LQR bernilai konstan, yaitu 1.

1.6 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Melakukan studi literatur mengenai pendulum terbalik, *rotary inverted pendulum*, kendali optimal LQR, dan materi lainnya yang berhubungan dengan penelitian.
2. Menganalisa model matematis sistem *rotary inverted pendulum*.
3. Merancang model kendali LQR untuk sistem *rotary inverted pendulum*.
4. Mengimplementasikan rancangan kendali optimal LQR pada *prototype rotary inverted pendulum*.
5. Pengambilan data dan analisa sistem berdasarkan data yang didapatkan sehingga diperoleh kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab I berisikan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab II berisikan teori-teori yang terkait dengan pendulum terbalik, *rotary inverted pendulum*, kendali optimal, LQR, dan teori pendukung lainnya.

BAB III Metode Penelitian

Bab III berisikan penjelasan mengenai rincian kerja selama penelitian tugas akhir.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisikan hasil pengujian dan analisa sistem *rotary inverted pendulum* berdasarkan data yang diperoleh baik dari simulasi maupun eksperimen.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab V ini berisikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.