

BAB 1

ANALISIS KEBUTUHAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Robot lengan atau manipulator menjadi sangat populer karena produktivitas dan performa yang berkualitas tinggi dalam pengaplikasiannya di industri [1]. Pengaplikasian umum dari robot lengan di industri banyak digunakan untuk proses manufaktur digital, untuk memilih dan menempatkan barang (*pick and place*), pengelasan, manufaktur subtraktif dan aditif, ini menunjukkan contoh keserbagunaan robot dan penggunaannya untuk industri [2].

Robot manipulator memiliki minimal satu *link*, fleksibilitas dan jangkauannya dapat ditingkatkan berdasarkan kebutuhan untuk pengaplikasian [3]. Jenis robot lengan 3 DOF merupakan robot lengan dengan DOF paling umum digunakan yang dapat bergerak mencakup 3 dimensi.

Dengan meningkatnya DOF, hal ini dapat menurunkan kestabilan dari *end effector* yang berakibat menurunnya performa dari sistem dan membuat sistem tidak stabil. Metode kendali dapat digunakan untuk meningkatkan kestabilan dari suatu sistem, salah satu jenis metode kendali yang umum digunakan adalah kendali PID [4]. PID bekerja dengan menggunakan nilai *error* yang merupakan perbedaan antara nilai *set point* dan nilai sebenarnya dari suatu proses yang akan dikendalikan [5]. Kendali PID hanya mencakup sistem yang memiliki satu masukan dan satu keluaran (SISO), linier dan tidak berubah terhadap waktu [4].

Metode kendali lain seperti *Linear Quadratic Regulator* (LQR) yang merupakan salah satu metode kendali optimal, LQR memperhitungkan setiap *state space* dinamis serta *input* kendali untuk membuat keputusan yang ideal [6].

LQR berfokus pada optimasi matematis dari sebuah *cost function* untuk sistem dinamis yang memiliki banyak masukan dan banyak keluaran atau MIMO, dan diharapkan lebih cocok dan dapat diandalkan untuk digunakan pada sistem *multi-link* seperti robot lengan 3 DOF [4].

Pada penelitian-penelitian sebelumnya [7][8][9], metode kendali optimal selalu memberikan stabilitas dan akurasi terbaik untuk robot manipulator.

Pada penelitian lain [4], hasil simulasi 3-DOF *spherical* manipulator untuk operasi *pick and place* menggunakan MATLAB menunjukkan hasil kendali optimal LQR lebih cocok untuk diterapkan dibandingkan dengan kendali PID dalam hal *output*, kompleksitas dan waktu

komputasi, selain itu LQR hanya memerlukan satu *loop feedback* dan dua matriks yang perlu dilakukan *tuning* sehingga mengurangi kompleksitas dari sistem.

Kinerja metode LQR sangat bergantung pada nilai dari matriks Q dan R, untuk mendapatkan performa yang baik salah satu metode yang umum digunakan yaitu menggunakan cara *trial and error*, sehingga untuk dapat menentukan nilai tersebut dengan benar dapat memerlukan waktu dan dapat menjadi sulit jika belum memiliki pengetahuan tentang hal tersebut [10].

Pada *Capstone design* ini akan dikembangkan alat lengan robot 3 DOF dengan menerapkan kendali optimal LQR dengan kapabilitas *pick and place* yang digunakan untuk demonstrasi pengaruh kendali optimal pada sistem *multi-link* dan MIMO serta memiliki aplikasi antarmuka dan program mikrokontroler yang terintegrasi, aplikasi memungkinkan untuk kalkulasi *gain* LQR dengan menentukan parameter Q dan R serta mengatur parameter untuk mengatur gerak lengan robot seperti *waypoint trajectory*, nilai *gain*, jumlah iterasi gerakan dan iterasi untuk *gripper* melakukan operasi *pick and place* dan visualisasi data.

1.2 Informasi Pendukung

Metode kendali LQR memiliki keunggulan dapat memberikan solusi untuk masalah pengendalian sistem yang membutuhkan kriteria keluaran optimal tertentu. Metode LQR dapat memecahkan masalah pengendalian pada sistem dengan *Multi Input Multi Output* (MIMO) [11]. Selain itu metode kendali LQR dapat menjamin kestabilan sistem yang baik selama pemodelan sistem juga baik [12].

Relasi dari pembobotan matriks Q dan R terhadap perilaku sistem sangat bergantung pada pemodelan sistem dan bisa menjadi cukup kompleks, sehingga tidak praktis untuk memprediksi efek pembobotan matriks Q dan R terhadap perilaku sistem. Salah satu pendekatan untuk mengatasi masalah ini, yaitu dengan mencoba beberapa nilai *gain* pada sistem berdasarkan beberapa kombinasi matriks Q dan R dan memilih kombinasi dengan nilai *gain* mendekati respon sistem yang diinginkan [13].

Metode kendali LQR merepresentasikan solusi kontrol menengah dalam hal desain dan persamaan antara metode sederhana, seperti PID, dan yang lebih kompleks seperti *predictive control*, dalam hal desain dan persamaan [5].

Selain metode kendali seperti LQR, metode kendali lain seperti *neural network* dapat digunakan pada sistem lengan robot, *neural network* memiliki banyak kelas yang berbeda yang

tiap kelasnya memiliki *tradeoff* antara kompleksitas komputasi dan efisiensi dalam kendali robot manipulator [14].

Metode lain adalah *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Kemudahan dalam perancangan metode kendali FLC menjadi salah satu kelebihan dari metode kendali ini, di mana dalam tahap perancangan tidak dibutuhkan model matematika yang detail dari sistem yang sedang ditinjau. Kendala utama dari metode kendali ini terdapat pada kompleksitas proses algoritmanya yang terdiri dari proses *fuzzification*, *inference* dan *defuzzification* yang dapat menyebabkan waktu komputasi menjadi lebih lama [15].

Metode kendali kompleks seperti *Model Predictive Control* (MPC) banyak digunakan untuk sistem kendali pada berbagai pengaplikasian industri, terutama pada sistem yang kompleks dan lambat seperti *plant* kimia [16]. MPC telah terbukti dapat mengendalikan sistem dengan dinamika yang cepat, seperti robot manipulator [16].

MPC memiliki keunggulan yaitu cocok untuk satu jenis operasi pada satu sistem dan menyempurnakannya ke kondisi atau *set point* yang diinginkan. Hal ini juga dapat menjadi kelemahan karena persamaan model hanya akan bekerja untuk satu situasi atau kondisi [17].

1.3 Constraint

Constraint bertujuan untuk membatasi aspek-aspek yang dibutuhkan dalam pengerjaan *capstone design*. Batasan dari tiap aspek dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Tabel *Constraint*

No	Aspek	Penjelasan terkait aspek
1	Integrasi	Sistem terintegrasi dengan program mikrokontroler dan perangkat lunak antarmuka interaktif yang memungkinkan pengguna menjalankan sistem lengan robot, aplikasi memungkinkan pengguna menentukan parameter Q dan R untuk kalkulasi nilai <i>gain</i> , <i>input</i> data <i>waypoint trajectory</i> , nilai <i>gain</i> hasil kalkulasi, jumlah iterasi gerakan lengan robot dan iterasi untuk <i>gripper</i> melakukan operasi <i>pick and place</i> ke mikrokontroler serta kemampuan untuk visualisasi data.
2	Manufakturabilitas	Lengan robot mudah untuk diproduksi karena bahan baku yang dibutuhkan untuk membuat lengan robot ini sudah banyak tersedia di pasaran.

3	Ekonomi	Lengan robot ini dibuat dengan batasan biaya maksimal Rp. 5,000,000
4	Pembelajaran	Sebagai alat demonstrasi dari teori kendali optimal LQR. Alat ini merepresentasikan perubahan perilaku sistem terhadap pengaruh parameter Q dan R.
5	Kinerja	Lengan robot dapat mencapai <i>trajectory</i> dengan menggunakan nilai <i>gain</i> yang didapatkan dari mengatur parameter Q dan R.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah rumusan kebutuhan yang harus dipenuhi:

1. Lengan robot 3 DOF dapat bergerak, mengambil, memindahkan dan menaruh barang ke posisi tujuan sesuai *trajectory* dan bergerak mencakup 3 dimensi.
2. Sistem dapat mendemonstrasikan cara kerja metode kendali LQR pada sistem lengan robot 3 DOF.
3. Sistem memiliki program mikrokontroler untuk mengontrol lengan robot dan perangkat lunak antarmuka yang terintegrasi, aplikasi dapat digunakan untuk melakukan kalkulasi nilai *gain* dengan mengatur parameter Q dan R, *input* data *waypoint trajectory*, nilai *gain* hasil kalkulasi, jumlah iterasi gerakan lengan robot dan iterasi untuk *gripper* melakukan operasi *pick and place* dan visualisasi data.
4. Biaya pengembangan sistem tidak melebihi Rp. 5,000,000.

1.5 Tujuan

Capstone Design ini bertujuan untuk mengembangkan alat untuk demonstrasi penerapan kendali optimal pada lengan robot 3 DOF.