

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika membuat sistem otomasi semakin banyak digunakan dalam pendidikan, industri, riset, dan prototipe mesin cerdas. Salah satu bentuk robot yang banyak dipelajari adalah robot lengan karena memiliki hubungan langsung dengan konsep gerak, aktuator, kontrol, sensor, dan pemodelan matematika. Robot lengan dapat digunakan untuk mengambil benda, memindahkan objek, melakukan proses inspeksi, atau menjadi media pembelajaran untuk memahami cara kerja manipulator. Dalam sistem seperti ini, perhitungan posisi ujung lengan menjadi kebutuhan utama karena robot harus mengetahui di mana titik kerja atau *end-effector* berada setelah setiap sendi bergerak. Craig (2005) dalam bukunya "*Introduction to Robotics: Mechanics and Control*" menjelaskan bahwa *forward kinematics* merupakan fondasi utama dalam sistem robotika untuk menentukan posisi *end-effector* berdasarkan parameter sendi [1].

Forward kinematics adalah metode untuk menentukan posisi dan orientasi *end-effector* berdasarkan nilai sudut sendi dan panjang *Link*. Jika nilai sudut setiap sendi diketahui, maka posisi ujung robot dapat dihitung menggunakan persamaan matematika. Pada robot planar tiga derajat kebebasan, perhitungan dapat dilakukan menggunakan fungsi sinus dan cosinus. Walaupun bentuk mekaniknya sederhana, konsep ini menjadi dasar untuk memahami robot manipulator yang lebih kompleks. Siciliano et al. (2009) dalam "*Robotics: Modelling, Planning and Control*" mengembangkan pemodelan kinematika robot planar dan spatial secara sistematis menggunakan parameter Denavit-Hartenberg [2].

Dalam tugas akhir ini, robot yang dibahas menggunakan tiga motor *stepper* sebagai penggerak utama. *Stepper* pertama berperan sebagai sendi bahu atau *shoulder*, sedangkan *stepper* kedua berperan sebagai sendi siku atau *elbow*. Panjang *Link* pertama ditetapkan 14 cm dan panjang *Link* kedua 14 cm. Program menghitung posisi siku dan posisi *end-effector* berdasarkan masukan sudut

melalui komunikasi serial. Spong et al. (2006) dalam "*Robot Modeling and Control*" membahas bahwa motor *stepper* merupakan aktuator yang banyak digunakan pada robot kecil karena mudah dikendalikan dan memiliki rangkaian kontrol internal [3].

Permasalahan utama yang ingin dikaji adalah bagaimana menghubungkan nilai sudut servo dengan koordinat posisi robot secara matematis dan bagaimana mengimplementasikan persamaan tersebut ke dalam program. Kajian ini penting karena tanpa model kinematika, gerakan robot hanya menjadi perubahan sudut mekanis tanpa informasi posisi. Niku (2011) dalam "*Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications*" mengimplementasikan *forward kinematics* pada robot planar 2 DOF dan 3 DOF menggunakan metode trigonometri sederhana dan membuktikan bahwa persamaan tersebut cukup akurat untuk menghitung posisi *end-effector* [4].

Metode Denavit-Hartenberg (DH) yang dikembangkan oleh Jacques Denavit dan Richard Hartenberg pada tahun 1955 menjadi standar untuk mendefinisikan kerangka koordinat pada setiap *joint* robot manipulator. Jazar (2010) dalam "*Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control*" membahas kinematika forward robot manipulator menggunakan metode DH dan matriks transformasi, serta menjelaskan hubungan antara metode DH dan persamaan trigonometri sederhana untuk robot planar [5].

Penelitian mengenai visualisasi *forward kinematics* telah dilakukan oleh Corke (2017) dalam "*Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*" yang mengintegrasikan *forward kinematics* dengan visualisasi 3D menggunakan MATLAB untuk robot manipulator 6 DOF. Penelitian ini membuktikan bahwa visualisasi 3D membantu pemahaman hubungan antara sudut sendi dan posisi *end-effector* secara intuitif [6].

Lynch dan Park (2017) dalam "*Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control*" mengembangkan metode *forward kinematics* menggunakan produk eksponensial *screw theory*. Penelitian ini menunjukkan alternatif metode selain

DH parameter untuk pemodelan kinematika robot dan menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem robotika modern [7].

Quigley et al. (2015) dalam "*Programming Robots with ROS*" mengimplementasikan *forward kinematics* pada robot berbasis ROS (*Robot Operating System*). Penelitian ini menunjukkan bahwa software framework dapat mempermudah pengembangan sistem robotika dan komunikasi serial antara komputer dan mikrokontroler [8].

Hartawan et al. (2020) membandingkan akurasi antara metode *forward kinematics* berbasis trigonometri dengan berbasis matriks transformasi homogen pada robot lengan 3 DOF. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan hasil yang tidak signifikan ($<0,5$ mm) untuk kedua metode, membuktikan bahwa persamaan trigonometri sederhana cukup akurat untuk aplikasi robot skala kecil [9].

Dengan demikian, penelitian-penelitian sebelumnya menjadi landasan dalam analisis dan implementasi *forward kinematics* pada robot lengan 3 DOF berbasis motor *stepper* menggunakan Arduino dan Python untuk mengintegrasikan *forward kinematics* dengan visualisasi 3D menggunakan Python dan matplotlib. Penelitian ini membuktikan bahwa GUI berbasis Python mampu menampilkan konfigurasi robot secara *real-time* dan menjadi dasar pengembangan antarmuka pada tugas akhir ini [10].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang model *Forward kinematics* untuk robot lengan tiga derajat kebebasan berbasis motor *Stepper*?
2. Bagaimana memprogram Arduino (C++) untuk menghitung posisi?
3. Bagaimana membuat GUI Python untuk antarmuka pengguna?
4. Bagaimana menganalisis akurasi perhitungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Membuat model *Forward kinematics* robot lengan tiga derajat kebebasan.
2. Memprogram Arduino (C++) untuk menghitung posisi
3. Membuat GUI Python untuk antarmuka pengguna
4. Menganalisis akurasi perhitungan

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisis hanya berfokus pada *Forward kinematics*.
2. Motor penggerak yang digunakan adalah tipe *Stepper* dengan Driver A4988.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560 Mini Pro.
4. Data dikirim melalui antarmuka serial dengan bahasa pemrograman Python.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
 - a) Mengaplikasikan ilmu teori yang didapat selama perkuliahan di jurusan Teknologi Rekayasa Otomasi UNDIP ke dalam bentuk alat aplikatif.
 - b) Memberikan literatur detil mengenai penurunan rumus kinematika.
 - c) Memenuhi syarat kelulusan Program Sarjana Terapan (D4) Teknologi Rekayasa Otomasi Universitas Diponegoro.

2. Bagi Pembaca

Dapat menjadi referensi bacaan dan informasi khususnya bagi mahasiswa STr. Teknologi Rekayasa Otomasi tentang kegunaan sebuah alat yang dapat dikendalikan secara otomatis dan komponen lainnya yang telah diajarkan saat masa perkuliahan.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun secara sistematis dalam lima bab yang saling berkaitan dan membentuk alur penelitian yang utuh, dimulai dari

pendahuluan hingga penutup. Bagian awal laporan memuat halaman judul, halaman pengesahan, lembar persetujuan, abstrak, intisari, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar tabel yang menjadi panduan navigasi bagi pembaca.

BAB I Pendahuluan membahas latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya *Forward kinematics* dalam sistem robotika, khususnya pada robot lengan tiga derajat kebebasan. Bab ini juga memuat rumusan masalah yang mencakup perancangan model *forward kinematics*, penerapan pada program mikrokontroler Arduino, tampilan hasil melalui komunikasi serial, serta analisis pengaruh perubahan sudut sendi terhadap posisi *end-effector*. Tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan juga dijelaskan secara terperinci dalam bab ini.

BAB II Landasan Teori memaparkan dasar-dasar teori yang menjadi fondasi penelitian, meliputi konsep robotika dan robot manipulator tiga derajat kebebasan, karakteristik motor servo, platform Arduino, persamaan trigonometri pada robot planar, metode *Forward kinematics* untuk perhitungan posisi *end-effector*, serta komunikasi serial antara komputer dan mikrokontroler. Setiap subbab disertai penjelasan parameter teknis yang relevan dengan sistem yang dikaji.

BAB III Metodologi Penelitian menjelaskan metode rancang bangun dan pengujian eksperimental yang digunakan. Bab ini mencakup tahapan penelitian mulai dari studi literatur, penentuan parameter robot, penyusunan persamaan *forward kinematics*, implementasi program pada Arduino menggunakan bahasa C++ dan pada GUI menggunakan Python, hingga metode pengujian dengan variasi sudut yang mewakili berbagai kondisi kinematika. Diagram blok, flowchart sistem, rancangan wiring, dan parameter robot juga disajikan secara visual.

BAB IV Hasil dan Pembahasan menyajikan hasil implementasi *Forward kinematics* dalam bentuk data numerik, grafik, dan visualisasi 3D. Pengujian dilakukan dengan enam kombinasi sudut yang mencakup posisi *Home*, translasi sepanjang sumbu X positif dan negatif, translasi sepanjang sumbu Y positif dan negatif, serta kembali ke *Home*. Analisis akurasi posisi, *Repeatability*, grafik hasil pada GUI, visualisasi 3D konfigurasi lengan robot, hasil pengujian numerik

tambahan, serta konsistensi antara antarmuka GUI dan firmware Arduino dibahas secara komprehensif.

BAB V Penutup berisi kesimpulan yang merangkum seluruh hasil penelitian, menyatakan bahwa *Forward kinematics* pada robot lengan tiga derajat kebebasan berhasil diimplementasikan menggunakan persamaan trigonometri sederhana dengan hasil yang konsisten terhadap model geometri. Saran pengembangan meliputi penambahan *inverse kinematics*, integrasi sensor *feedback*, pengembangan *path planning*, kalibrasi otomatis, dan visualisasi lanjutan. Bagian akhir laporan dilengkapi dengan daftar pustaka dan lampiran yang memuat contoh program Arduino serta uraian tambahan mengenai analisis sistem, implementasi, dan evaluasi.