

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika telah mendorong pemanfaatan robot *humanoid* pada berbagai bidang, seperti industri, pelayanan, pendidikan, penelitian, hingga seni pertunjukan. Dibandingkan dengan jenis robot lainnya, robot humanoid memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi karena harus mampu merepresentasikan gerakan tubuh manusia melalui koordinasi sejumlah aktuator yang bekerja secara simultan. Oleh karena itu, proses pengembangannya memerlukan integrasi antara perancangan mekanik, sistem elektronika, pemodelan kinematika, serta analisis dinamika agar robot mampu menghasilkan gerakan yang menyerupai gerakan manusia dan memenuhi kebutuhan aplikasi yang dirancang [1].

Salah satu penerapan robot humanoid adalah pada bidang seni tari, di mana robot dituntut tidak hanya mampu menghasilkan rangkaian gerakan yang sesuai dengan koreografi, tetapi juga mampu mempertahankan keseimbangan selama melakukan perpindahan posisi maupun perubahan postur. Karakteristik tersebut menyebabkan proses perancangan robot seni tari memiliki tantangan yang lebih kompleks dibandingkan robot bergerak pada umumnya karena melibatkan koordinasi gerak seluruh anggota tubuh secara bersamaan serta evaluasi keseimbangan pada setiap konfigurasi gerak [2].

Keberhasilan sebuah robot humanoid dalam melakukan gerakan tari sangat dipengaruhi oleh proses pemodelan sistem yang dilakukan sejak tahap perancangan. Pemodelan tersebut meliputi penentuan konfigurasi derajat kebebasan (*Degrees of Freedom/DoF*), penentuan hubungan antar *joint*, analisis kebutuhan torsi aktuator, estimasi distribusi massa, pemodelan kinematika, hingga penentuan posisi pusat massa (*Center of Mass/CoM*) sebagai dasar analisis keseimbangan. Pemodelan yang baik akan menghasilkan dasar perancangan yang lebih akurat sehingga mampu mengurangi kesalahan pada tahap fabrikasi, perakitan, maupun implementasi robot [3].

Selain aspek mekanik, analisis keseimbangan memiliki peranan penting dalam mengevaluasi kemampuan robot untuk mempertahankan posisinya selama melakukan berbagai gerakan. Analisis ini dilakukan dengan memanfaatkan hasil pemodelan sistem, seperti distribusi massa setiap segmen, CoM, serta konfigurasi *joint*, sehingga dapat diketahui apakah posisi pusat massa masih berada dalam daerah tumpuan (*support polygon*). Oleh karena itu, pemodelan sistem dan analisis keseimbangan merupakan dua tahapan yang saling berkaitan dan menjadi dasar dalam pengembangan robot humanoid yang memiliki banyak derajat kebebasan [4].

Sebagian besar platform riset modern mengadopsi konfigurasi antara 20 hingga 30 DoF untuk dapat meniru proporsi dan artikulasi gerak tubuh manusia (*antropomorfik*) secara ideal [5]. Pemilihan konfigurasi 25 DoF pada perancangan robot di penelitian ini didasarkan pada kebutuhan pemenuhan trajektori gerak tari tradisional yang kompleks dan dinamis. Jumlah artikulasi tersebut dinilai sebagai titik optimal yang mampu mengakomodasi keluwesan gerakan ekspresif—seperti kombinasi gerakan menekuk lutut (*squatting*), kemiringan panggul (*hip sway*), hingga artikulasi kepala dan lengan—tanpa over-kompleksitas komputasi kinematika maupun penambahan bobot inersia yang berlebih pada struktur mekanik robot [6].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, pada proyek ini dikembangkan sebuah robot humanoid 25 derajat kebebasan bernama Purwara yang dirancang untuk aplikasi seni tari. Ruang lingkup pekerjaan difokuskan pada pemodelan sistem dan analisis keseimbangan, meliputi penentuan konfigurasi derajat kebebasan, analisis kebutuhan torsi aktuator, pemodelan kinematika, estimasi kebutuhan daya, perhitungan distribusi massa, serta analisis posisi *Center of Mass* pada berbagai konfigurasi gerakan sebagai dasar evaluasi keseimbangan robot. Hasil dari proses perancangan ini diharapkan menjadi landasan yang andal dalam proses manufaktur, integrasi sistem, serta pengembangan gerakan robot humanoid untuk aplikasi seni tari.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang menjadi fokus dalam pengembangan robot humoid seni tari, yaitu:

- Bagaimana merancang konfigurasi robot *humanoid* 25 derajat kebebasan yang sesuai untuk menghasilkan gerakan seni tari?
- Bagaimana menentukan kebutuhan torsi aktuator, estimasi konsumsi daya, dan pemilihan baterai berdasarkan hasil pemodelan sistem?
- Bagaimana melakukan analisis keseimbangan robot humanoid berdasarkan hasil pemodelan sistem untuk mengevaluasi kemampuan robot dalam mempertahankan posisi saat melakukan gerakan seni tari?

1.3.Maksud dan Tujuan

Pelaksanaan program MBKM Proyek Independen pada *jobdesk* pemodelan sistem dan analisis keseimbangan robot humanoid Purwara dimaksudkan sebagai sarana untuk mengimplementasikan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh selama perkuliahan ke dalam pengembangan robot humanoid untuk aplikasi seni tari. Kegiatan ini bertujuan untuk merancang model sistem yang meliputi konfigurasi *DoF* analisis kebutuhan torsi aktuator, estimasi kebutuhan daya, serta analisis keseimbangan robot sebagai dasar pengembangan robot. Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan meningkatkan kemampuan dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan rekayasa, mengintegrasikan aspek mekanik, elektronika, dan analisis dinamika robot, serta mengembangkan kemampuan profesional, seperti kerja sama tim, komunikasi teknis, manajemen waktu, dan penyusunan dokumentasi rekayasa selama proses pengembangan robot humanoid.

1.4. Manfaat

Pelaksanaan program MBKM Proyek Independen pada *jobdesk* pemodelan sistem dan analisis keseimbangan robot humanoid Purwara diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, tim pengembang, dan institusi. Bagi mahasiswa, kegiatan ini menjadi sarana untuk meningkatkan kompetensi dalam bidang robotika melalui penerapan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan ke dalam pengembangan sistem robot humanoid secara nyata. Bagi tim

pengembang, hasil pemodelan sistem dan analisis keseimbangan dapat dijadikan sebagai dasar dalam proses pengembangan robot, mulai dari penentuan konfigurasi mekanik, pemilihan spesifikasi aktuator, hingga evaluasi stabilitas robot serta integrasi sistem mekanik dan elektronika sehingga proses perancangan dapat dilakukan secara lebih sistematis dan efisien. Sementara itu, bagi institusi, kegiatan ini diharapkan dapat menjadi salah satu bentuk implementasi pembelajaran berbasis proyek serta menjadi referensi dalam pengembangan penelitian maupun proyek robotika, khususnya pada pengembangan robot humanoid untuk aplikasi seni tari.

1.5. Waktu dan Prosedur

Pelaksanaan kegiatan pada program MBKM Proyek Independen dilaksanakan selama enam bulan, yaitu mulai Januari hingga Juni 2026. Selama periode tersebut, kegiatan dilakukan secara bertahap sesuai dengan pembagian *jobdesk* yang telah ditetapkan bersama *supervisor* dan *advisor*. Adapun tahapan pelaksanaan kegiatan yang dilakukan selama proyek berlangsung dijelaskan sebagai berikut.

1. Pembagian Tugas dan Studi Literatur (Januari)

Kegiatan diawali dengan pembagian tugas bersama *supervisor* dan *advisor*. Penulis bertanggung jawab pada perancangan struktur robot bagian kepala dan badan, pemodelan sistem robot, analisis kebutuhan aktuator, serta analisis kestabilan robot. Pada tahap ini juga dilakukan studi terhadap Buku Pedoman KRSTI, jurnal, serta berbagai referensi mengenai robot *humanoid* dan konfigurasi DoF.

2. Perancangan Mekanik Robot (Januari–April)

Tahap berikutnya difokuskan pada perancangan struktur mekanik robot menggunakan *Autodesk Fusion 360*, meliputi penentuan konfigurasi DoF, perancangan kepala, badan, dan sebagian struktur kaki, serta pemilihan komponen mekanik seperti *bearing*, *spur gear*, baut, dan dudukan servo.

Selama proses perancangan dilakukan beberapa kali revisi untuk meningkatkan kemudahan perakitan, jalur kabel, *range of motion*, dan kompatibilitas antar komponen.

3. **Pemodelan Sistem dan Analisis Robot (Februari–Juni)**

Setelah rancangan mekanik diperoleh, dilakukan pemodelan sistem robot dengan menghitung estimasi massa setiap komponen, *Center of Mass*, kebutuhan torsi pada setiap *joint*, serta pemilihan servo yang sesuai dengan hasil perhitungan. Selanjutnya dilakukan analisis keseimbangan menggunakan metode *Zero Moment Point (ZMP)* untuk mengevaluasi kemampuan robot dalam mempertahankan keseimbangan secara teoritis selama berjalan.

4. **Verifikasi Komponen dan Persiapan Fabrikasi (Maret–Juni)**

Tahap akhir meliputi verifikasi komponen yang telah dibeli, pengujian fungsi servo dan perangkat pendukung, penyesuaian desain berdasarkan hasil pengujian, serta persiapan proses fabrikasi melalui *slicing* model tiga dimensi dan pencetakan komponen menggunakan printer tiga dimensi. Hasil seluruh kegiatan kemudian didokumentasikan dan disusun dalam bentuk laporan sebagai bagian dari pelaksanaan proyek.

