BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika, khususnya robot *humanoid*, telah membuka berbagai peluang baru, salah satunya sebagai media pelestarian seni dan budaya. Robot *humanoid* merupakan salah satu jenis robot yang paling kompleks karena berupaya meniru bentuk dan gerak manusia, sehingga umumnya tersusun atas banyak derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang harus bekerja secara terkoordinasi [1]. Indonesia memiliki kekayaan seni tari tradisional yang sangat beragam, dan pelestariannya kini tidak lagi terbatas pada panggung konvensional, melainkan juga dapat dihadirkan melalui gerak robot. Upaya tersebut terwujud dalam Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI), yaitu kompetisi tingkat nasional yang menantang mahasiswa untuk merancang robot *humanoid* yang mampu menampilkan gerakan seni tari secara luwes dan stabil. Dalam konteks tersebut, dikembangkan sebuah robot *humanoid* penari yang diberi nama PURWARA.

Nama Purwara berasal dari kata purwa yang berarti awal atau permulaan, serta raga yang bermakna tubuh dan gerak. Nama tersebut melambangkan langkah awal Universitas Multimedia Nusantara (UMN) dalam mengikuti ajang KRSTI, sekaligus menjadi simbol kebangkitan dan keberanian untuk mulai berkarya di bidang robot seni tari, layaknya gerak pertama dalam sebuah tarian yang menentukan keseluruhan alur pertunjukan. Berlandaskan konsep tersebut, Tim Purwara mengembangkan robot penari yang mampu mengenali irama musik dan menerjemahkannya ke dalam rangkaian gerakan tari yang terstruktur, selaras, dan adaptif. Dengan memadukan nilai seni budaya Nusantara dan kecanggihan teknologi robotika, Tim Purwara berkomitmen untuk menampilkan performa yang kompetitif sekaligus mendukung pelestarian seni tari Indonesia melalui inovasi teknologi.

Dalam mewujudkan robot penari tersebut, bagian kaki merupakan salah satu subsistem yang paling krusial karena menopang keseluruhan beban tubuh, menentukan keseimbangan, sekaligus menghasilkan gerak tari. Perancangan dan pengendalian gerak kaki memerlukan pemodelan kinematika, yaitu kajian mengenai gerak tanpa memperhitungkan gaya penyebabnya [2]. Kinematika maju (*forward kinematics*) memetakan sudut setiap sendi menjadi posisi dan orientasi ujung rantai kinematik, dalam hal ini telapak kaki, melalui perkalian berantai matriks transformasi homogen antar tautan [3], [4]. Pendekatan matriks transformasi homogen ini banyak diterapkan pada analisis kinematika kaki robot *humanoid* karena mampu menyatakan hubungan posisi dan orientasi antar tautan secara sistematis [7].

Selain aspek kinematika, tantangan utama pada robot berkaki dua (*biped*) adalah menjaga kestabilan agar tidak terguling saat bergerak. Kestabilan gerak umumnya dievaluasi melalui konsep *Zero-Moment Point* (*ZMP*), yakni titik pada bidang tumpu tempat resultan momen reaksi bernilai nol; robot dianggap stabil selama ZMP berada di dalam area tumpuan (*support polygon*) [5], [6]. Dengan demikian, konfigurasi derajat kebebasan dan struktur kaki harus dirancang sedemikian rupa agar mampu mendukung jangkauan gerak tari sekaligus menjaga kestabilan robot.

Perancangan struktur kaki menghadapi beberapa tantangan yang saling berkaitan. Pertama, kaki harus memiliki derajat kebebasan yang memadai agar mampu mereproduksi gerak tari yang ekspresif; pada robot ini, setiap kaki memiliki lima derajat kebebasan, atau sepuluh dari total dua puluh lima derajat kebebasan robot. Kedua, struktur rangka kaki harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup untuk menahan beban tubuh serta torsi servo tanpa mengalami lendutan yang menurunkan presisi gerak. Ketiga, konfigurasi dan struktur kaki sangat menentukan kestabilan robot sebagaimana dijelaskan melalui konsep ZMP di atas.

Untuk menjawab tantangan tersebut, pada laporan MBKM ini dilakukan analisis kinematika serta perancangan dan pembangunan struktur kaki robot *humanoid* PURWARA. Analisis kinematika maju digunakan untuk memodelkan dan memverifikasi hubungan antara sudut sendi dengan posisi dan orientasi telapak kaki, sementara perancangan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (*CAD*) Fusion 360 dengan penekanan pada kekakuan rangka dan kestabilan gerak. Melalui pendekatan tersebut, diharapkan diperoleh rancangan struktur kaki beserta model kinematiknya yang mampu mendukung gerak tari yang stabil dan presisi, sekaligus menjadi landasan bagi pengembangan robot *humanoid* penari pada tahap selanjutnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dibuatlah beberapa poin masalah sebagai acuan dalam program MBKM independent:

1. Bagaimana rancangan struktur kaki robot *humanoid* PURWARA agar tetap stabil dan seimbang saat menari?
2. Bagaimana konfigurasi 5 derajat kebebasan tiap kaki agar mampu menghasilkan gerak tari yang ekspresif?
3. Bagaimana merancang rangka kaki yang cukup kaku dan kuat menahan beban tubuh serta torsi servo?
4. Bagaimana hasil analisis kinematika maju (*forward kinematics*) pada gerak kaki robot PURWARA?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan laporan MBKM ini adalah merancang dan membangun struktur kaki robot *humanoid* penari PURWARA yang kokoh dan stabil, serta melakukan analisis kinematika terhadap struktur tersebut sebagai landasan dalam mewujudkan gerak seni tari yang selaras.

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam laporan MBKM ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan rancangan struktur kaki robot *humanoid* PURWARA yang mampu menjaga kestabilan dan keseimbangan robot selama melakukan gerakan tari.
2. Menentukan konfigurasi lima derajat kebebasan pada setiap kaki agar mampu menghasilkan gerak tari yang ekspresif dan luwes.
3. Merancang dan membangun rangka kaki dengan kekakuan serta kekuatan yang memadai untuk menahan beban tubuh dan torsi servo menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) Fusion 360.
4. Memperoleh model kinematika maju (*forward kinematics*) yang memodelkan serta memverifikasi hubungan antara sudut setiap sendi dengan posisi dan orientasi telapak kaki.

1.4 Waktu dan Prosedur

Proyek MBKM independen berlangsung pada periode Januari hingga Juli 2026. Pelaksanaannya berlangsung secara bertahap dan dengan tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur. Mengumpulkan dan mempelajari referensi mengenai robot *humanoid*, konfigurasi kaki, kinematika (khususnya *forward kinematics* dan transformasi homogen), serta karakteristik gerak seni tari.
2. Identifikasi kebutuhan dan spesifikasi. Menentukan kebutuhan derajat kebebasan, dimensi, estimasi beban tubuh, serta pemilihan aktuator servo yang sesuai.
3. Perancangan konsep dan konfigurasi derajat kebebasan. Menetapkan konfigurasi lima derajat kebebasan pada tiap kaki, yaitu pinggul (2 DOF), lutut (1 DOF), dan pergelangan kaki (2 DOF).
4. Analisis kinematika. Menyusun matriks transformasi homogen dan menghitung *forward kinematics* untuk memperoleh posisi serta orientasi telapak kaki.
5. Perancangan struktur tiga dimensi. Memodelkan rangka kaki menggunakan perangkat lunak Fusion 360 dengan mempertimbangkan kekakuan struktur, penempatan servo, dan rentang gerak yang dibutuhkan.
6. Analisis kestabilan. Menghitung posisi pusat massa, menentukan area tumpuan (*support polygon*), dan menyusun diagram benda bebas untuk memperoleh gaya pada tiap komponen kaki pada pose berdiri dua kaki dan berdiri satu kaki.
7. Fabrikasi dan perakitan. Membuat komponen struktur kaki melalui pencetakan tiga dimensi dan merakitnya menjadi satu kesatuan.

8. Pengujian dan evaluasi. Menguji gerak dan kestabilan kaki, kemudian membandingkannya dengan hasil analisis yang telah disusun.
9. Penyusunan laporan. Mendokumentasikan keseluruhan proses dan hasil ke dalam laporan proyek.

UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA