

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobilitas merupakan salah satu aspek fundamental dalam kehidupan manusia yang berperan penting dalam menunjang kemandirian, produktivitas, serta kualitas hidup seseorang. Namun demikian, tidak semua individu memiliki kemampuan mobilitas yang optimal. Sebagian masyarakat mengalami keterbatasan mobilitas akibat kondisi disabilitas fisik seperti kelumpuhan, amputasi anggota tubuh, maupun gangguan sistem neuromuskular. Menurut laporan dari World Health Organization, lebih dari 1,3 miliar orang di dunia atau sekitar 16% populasi global hidup dengan berbagai bentuk disabilitas [1]. Kondisi ini menjadikan pengembangan teknologi asistif sebagai salah satu kebutuhan penting dalam meningkatkan kualitas hidup serta kemandirian penyandang disabilitas.

Di Indonesia, jumlah penyandang disabilitas tergolong signifikan, di mana jutaan penduduk mengalami keterbatasan fungsional dalam aktivitas sehari-hari [2]. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi asistif untuk meningkatkan kemandirian, khususnya dalam mobilitas. Salah satu yang paling umum digunakan adalah kursi roda elektrik. Seiring perkembangan teknologi, konsep intelligent wheelchair dikembangkan dengan integrasi sensor dan algoritma kendali untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi navigasi [3], [4]. Namun, sebagian besar kursi roda elektrik masih menggunakan joystick konvensional yang membutuhkan koordinasi motorik halus, sehingga kurang optimal bagi pengguna dengan keterbatasan fungsi tangan. Oleh karena itu, diperlukan metode kendali alternatif yang lebih intuitif dan adaptif.

Berbagai penelitian telah mengembangkan pendekatan human-machine interaction (HMI) untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Salah satunya adalah penggunaan brain-computer interface (BCI) yang memungkinkan pengguna mengendalikan kursi roda melalui sinyal otak [5]. Selain itu, penelitian lain mengembangkan sistem kendali berbasis multi-mode sensing dan interaksi manusia-mesin untuk meningkatkan fleksibilitas kontrol [6], serta pendekatan berbasis shared human-machine interface untuk meningkatkan pemahaman antara pengguna dan sistem [7]. Meskipun pendekatan ini memberikan solusi alternatif, implementasinya masih memiliki keterbatasan berupa kompleksitas sistem yang tinggi, kebutuhan kalibrasi yang rumit, serta biaya implementasi yang relatif besar, sehingga belum praktis untuk penggunaan sehari-hari.

Sebagai alternatif yang lebih sederhana dan ekonomis, penggunaan sensor inersia seperti accelerometer dan gyroscope mulai banyak dikembangkan dalam sistem kendali berbasis gerakan tubuh. Sensor ini mampu mendeteksi perubahan orientasi dan gerakan pengguna secara real-time sehingga dapat diterjemahkan

menjadi perintah navigasi kursi roda [8], [9]. Penelitian oleh Zhang et al. [8] menunjukkan bahwa gerakan kepala dapat digunakan sebagai input kendali kursi roda dengan bantuan pemrosesan sinyal berbasis *Kalman filter*. Selain itu, sensor inersia juga telah digunakan dalam berbagai penelitian untuk klasifikasi aktivitas manusia dengan akurasi yang baik [10], [11]. Keunggulan sensor inersia terletak pada ukurannya yang kecil, konsumsi daya rendah, serta kemampuannya untuk digunakan secara wearable tanpa bergantung pada kondisi lingkungan. Namun demikian, sebagian besar sistem kendali berbasis sensor inersia yang telah dikembangkan masih menggunakan pendekatan yang bersifat user-independent, di mana parameter sistem tidak disesuaikan dengan karakteristik masing-masing pengguna. Padahal, setiap individu memiliki pola gerakan yang berbeda-beda, baik dari segi amplitudo, kecepatan, maupun kestabilan gerakan. Perbedaan ini dapat menyebabkan sistem menjadi kurang responsif atau terlalu sensitif, sehingga mengurangi kenyamanan dan keamanan penggunaan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, beberapa penelitian mulai mengintegrasikan metode *machine learning* ke dalam proses pengenalan gerakan. Penggunaan algoritma seperti Support Vector Machine (SVM) telah diterapkan dalam sistem berbasis sensor inersia untuk mendeteksi aktivitas pengguna dengan tingkat akurasi yang tinggi [12]. Selain itu, metode klasifikasi berbasis data sensor seperti yang ditunjukkan pada penelitian human activity recognition juga menunjukkan bahwa algoritma berbasis pembelajaran mesin mampu meningkatkan performa pengenalan pola gerakan [10], [11]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada klasifikasi gerakan dan belum mengintegrasikan mekanisme kalibrasi personal secara optimal dalam sistem kendali kursi roda.

Beberapa penelitian terdahulu juga telah memanfaatkan data sensor inersia untuk mengenali pola gerakan dalam konteks kursi roda maupun aktivitas terkait. Chawaphan dkk. [13] mengevaluasi kinerja berbagai algoritma machine learning, termasuk Decision Tree yang dikombinasikan dengan Adaptive Boosting, untuk mengklasifikasikan data IMU tanpa pemrosesan window pada kursi roda pemanjat tangga. Namun, penelitian tersebut berfokus pada pengenalan status pergerakan menaiki tangga, bukan pada klasifikasi arah navigasi, dan tidak melibatkan penyesuaian parameter terhadap karakteristik gerakan tiap pengguna. Selanjutnya, Fu dkk. [14] mengembangkan algoritma machine learning untuk mengklasifikasikan manuver kursi roda ke dalam delapan kelas gerakan berdasarkan data accelerometer dan gyroscope yang mengandung derau (noise), namun sistem tersebut dirancang untuk analisis pola mobilitas harian pengguna, bukan sebagai mekanisme kendali navigasi real-time, serta belum mempertimbangkan variasi karakteristik gerakan antarindividu. Di sisi lain, Huda dkk. [15] mengembangkan model matematis untuk pengenalan gestur tangan secara real-time berdasarkan posisi titik-titik tangan dan ambang jarak tertentu, namun pendekatan ini bergantung pada citra visual dari ekstremitas tangan dan

menggunakan ambang batas yang sama untuk seluruh pengguna. Sementara itu, Kundu dkk. [16] mengembangkan sistem kendali kursi roda omnidireksional berbasis gestur tangan dengan menggabungkan sensor IMU dan elektromiografi (EMG) menggunakan *classifier Dendrogram Support Vector Machine* (DSVM), mencapai akurasi 90,5% saat pengoperasian secara real-time. Akan tetapi, pendekatan ini membutuhkan sensor EMG tambahan pada otot lengan sehingga meningkatkan kompleksitas sistem. Keterbatasan keempat penelitian tersebut secara konsisten menonjolkan urgensi pengembangan sistem klasifikasi gerakan tubuh berbasis sensor inersia yang tidak hanya akurat, tetapi juga adaptif terhadap karakteristik gerakan setiap pengguna melalui mekanisme kalibrasi personal.

Di sisi lain, aspek kestabilan sistem juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan kursi roda cerdas. Berbagai pendekatan kendali adaptif telah dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi sistem navigasi. Penelitian oleh Yadav et al. [17] menggunakan metode sliding mode control untuk meningkatkan performa pelacakan lintasan, sedangkan Cui et al. [6] mengembangkan metode adaptive model predictive control untuk meningkatkan keamanan sistem melalui pengaturan kecepatan secara adaptif. Selain itu, pendekatan model reference adaptive control juga telah digunakan untuk meningkatkan kestabilan sistem kursi roda [18], [19]. Meskipun metode kendali adaptif mampu meningkatkan performa sistem, sebagian besar penelitian tersebut belum mengintegrasikannya secara langsung dengan sistem pengenalan gerakan berbasis kalibrasi personal pengguna.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi bahwa masih terdapat celah penelitian yang signifikan, yaitu belum adanya integrasi yang optimal antara sistem kendali berbasis sensor inersia, metode klasifikasi berbasis machine learning untuk kalibrasi personal, serta mekanisme kendali adaptif dalam satu sistem yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan **Implementasi Kendali Adaptif Kursi Roda Berbasis Gerakan Tubuh dengan Kalibrasi Personal Menggunakan SVM dan K-NN**. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan data gerakan tubuh sebagai input kendali yang diklasifikasikan menggunakan metode SVM dan K-NN untuk menyesuaikan karakteristik pengguna, serta dikombinasikan dengan kendali adaptif guna meningkatkan stabilitas dan respons sistem. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem mampu memberikan kinerja yang lebih akurat, adaptif, serta nyaman digunakan oleh penyandang disabilitas dalam aktivitas sehari-hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, sistem kendali kursi roda elektrik berbasis gestur tubuh masih menghadapi beberapa tantangan, khususnya dalam menyesuaikan karakteristik gerakan setiap pengguna serta menjaga stabilitas respons sistem. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem kendali yang mampu mendeteksi gerakan tubuh secara akurat serta menyesuaikan parameter

kendali secara adaptif terhadap kondisi pengguna. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan sistem kendali kursi roda berbasis gestur tubuh menggunakan sensor inersia dengan mekanisme kalibrasi personal?
2. Bagaimana performa algoritma SVM dan KNN ketika diimplementasikan pada kursi roda elektrik sebelum dan setelah adanya fitur kendali adaptif berupa kalibrasi personal?
3. Metode klasifikasi manakah yang lebih optimal antara SVM dan K-NN, serta bagaimana perbandingan performa sistem kendali kursi roda berbasis gerakan tubuh yang dikembangkan dengan hasil penelitian terdahulu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan sistem kendali kursi roda berbasis gestur tubuh menggunakan sensor inersia dengan mekanisme kalibrasi personal.
2. Menganalisis performa algoritma SVM dan KNN ketika diimplementasikan pada kursi roda elektrik sebelum dan setelah adanya kalibrasi personal.
3. Membandingkan kinerja metode SVM dan K-NN serta performa sistem kendali kursi roda berbasis gerakan tubuh yang dikembangkan dengan hasil penelitian terdahulu.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah mengembangkan sistem kendali adaptif pada kursi roda berbasis gestur tubuh dengan memanfaatkan sensor inersia serta metode klasifikasi Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (K-NN). Sistem yang dirancang diharapkan mampu menyesuaikan respons secara otomatis terhadap karakteristik gerakan pengguna melalui proses kalibrasi personal, sehingga dapat meningkatkan stabilitas, kenyamanan, serta kemudahan mobilitas bagi penyandang disabilitas dalam mengendalikan kursi roda.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah disusun untuk memastikan bahwa pembahasan dalam penelitian ini memiliki fokus yang jelas serta tetap relevan dengan permasalahan yang diteliti. Selain itu, batasan masalah juga membantu penulis untuk memusatkan perhatian pada aspek-aspek utama penelitian sehingga proses penelitian dapat dilakukan secara lebih terarah dan efisien. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem hanya mengklasifikasikan gestur tubuh menjadi lima perintah gerak, yaitu maju, mundur, belok kiri, belok kanan, dan berhenti.

2. Sensor yang digunakan adalah Inertial Measurement Unit (IMU) yang terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope* untuk mendeteksi percepatan serta orientasi gerakan tubuh pada tiga sumbu (x, y, dan z).
3. Metode klasifikasi yang digunakan dibatasi pada Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (K-NN) dengan pendekatan kalibrasi personal berbasis data pengguna.
4. Sistem kendali yang diterapkan menggunakan metode kendali adaptif untuk menyesuaikan respons terhadap variasi gerakan pengguna.
5. Pengujian sistem dilakukan pada skenario terbatas (lingkungan terkontrol) dan tidak mencakup seluruh kondisi nyata seperti permukaan jalan yang tidak rata atau penggunaan di luar ruangan secara ekstrem.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum mengenai isi dari tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori dasar yang mendukung penelitian tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari tahapan penelitian dan langkah-langkah yang diperlukan dalam melakukan analisa proteksi.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisikan informasi hasil dan pembahasan dari penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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