

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Disabilitas merupakan suatu kondisi yang mencakup berbagai keterbatasan fisik, intelektual, sensorik, atau mental yang menghambat individu dalam berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya secara mandiri [1]. Kondisi ini dapat bersifat bawaan sejak lahir, akibat kecelakaan, atau dampak penyakit yang menimbulkan gangguan dalam jangka waktu lama. Di antara berbagai aspek kehidupan, mobilitas menjadi salah satu elemen fundamental yang paling terdampak. Padahal, mobilitas memegang peranan krusial dalam menunjang kemandirian, produktivitas, dan kualitas hidup seseorang. Keterbatasan mobilitas ini umumnya dialami oleh penyandang disabilitas fisik akibat kondisi seperti kelumpuhan, amputasi, atau gangguan sistem neuromuskular. Menurut *World Health Organization* (WHO), lebih dari 1,3 miliar orang atau sekitar 16% populasi global hidup dengan disabilitas signifikan [1]. Tingginya angka tersebut menjadikan pengembangan teknologi asistif sebagai sebuah kebutuhan yang sangat mendesak, mengingat peran vitalnya dalam memfasilitasi fungsi gerak, mendukung kemandirian, dan meningkatkan kualitas hidup penyandang disabilitas [2].

Di Indonesia, urgensi penanganan disabilitas juga menjadi perhatian serius. Kemenko PMK menyebutkan bahwa jumlah penyandang disabilitas di Indonesia mencapai 22,97 juta jiwa atau sekitar 8,5% dari jumlah penduduk Indonesia [3]. Selain itu, BPS melalui publikasi Potret Penyandang Disabilitas di Indonesia: Hasil *Long Form* SP2020 menyajikan gambaran kondisi penyandang disabilitas di Indonesia berdasarkan indikator kependudukan dan sosial-demografi [4]. Tingginya angka ini menegaskan bahwa akses terhadap alat bantu gerak bukan sekadar fasilitas tambahan, melainkan kebutuhan penting untuk mendukung kemandirian individu dalam menjalankan aktivitas harian.

Untuk mengakomodasi kebutuhan mobilitas tersebut, kursi roda menjadi teknologi asistif yang berperan penting dalam mendukung kemandirian pengguna [2], [5]. Agar berfungsi optimal, kursi roda harus memiliki stabilitas tinggi untuk menjamin keamanan bermanuver di jalan yang tidak rata, serta sifat responsif dalam menerjemahkan *input* secara cepat guna menghindari rintangan mendadak. Menjawab tantangan tersebut, pengembangan kursi roda cerdas (*smart wheelchair*) saat ini berfokus pada peningkatan mobilitas mandiri, keselamatan, dan dukungan navigasi bagi pengguna yang kesulitan mengoperasikan kursi roda konvensional [6], [7].

Secara konvensional, kursi roda dioperasikan secara manual dengan mendorong *handrim* menggunakan tangan. Metode ini sangat bergantung pada kekuatan otot lengan, koordinasi motorik, serta kekuatan menggenggam [5]. Akan

tetapi, kontrol manual menjadi hambatan signifikan bagi penyandang disabilitas yang juga memiliki gangguan fungsi ekstremitas atas, seperti kelemahan otot, keterbatasan jangkauan, hingga tremor. Tuntutan penggunaan tangan dalam aktivitas produktif lainnya juga membuat penggunaan kursi roda manual menjadi tidak efisien. Seiring perkembangan teknologi, kursi roda elektrik dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap tenaga fisik pengguna, dengan antarmuka kendali yang umumnya menggunakan *joystick* [8]. Namun, teknologi ini tetap menyulitkan bagi individu dengan keterbatasan motorik halus atau gangguan neuromuskular berat.

Untuk menjembatani keterbatasan *joystick*, berbagai pendekatan *Human-Machine Interaction* tipe *hands-free* telah dikembangkan, antara lain kendali berbasis gestur tubuh, sinyal EMG, EEG, dan pendekatan sensorik lainnya [5], [8]. Meskipun menawarkan solusi tanpa tangan, implementasi praktisnya sering kali terbentur pada tingginya kompleksitas komputasi, latensi pemrosesan yang dapat mengurangi respons sistem, serta ketidaknyamanan konfigurasi perangkat pada penggunaan harian.

Sebagai solusi instrumentasi yang lebih praktis, non-invasif, dan presisi, metode pengenalan intensi gerak (*action intention recognition*) berbasis perubahan postur atau gestur tubuh menawarkan potensi yang sangat menjanjikan. Melalui pemanfaatan sensor inersia atau *Inertial Measurement Unit* (IMU), perubahan orientasi tubuh seperti fleksi, ekstensi, dan *lateral bending* dapat direkam sebagai data masukan untuk mengenali pola gerakan pengguna [9], [10], [11]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan sensor IMU sebagai konfigurasi masukan utama untuk merepresentasikan kecenderungan gerak tubuh bagian atas, yaitu condong ke depan, condong ke belakang, miring ke kanan, dan miring ke kiri. Pemilihan konfigurasi sensor ini bertujuan untuk mengurangi kompleksitas perangkat keras, komunikasi I2C, dan beban akuisisi data tanpa menghilangkan informasi gerak utama yang dibutuhkan untuk klasifikasi [12].

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengembangkan sistem pengendalian kursi roda cerdas melalui berbagai pendekatan. Salah satunya adalah penelitian oleh Anam dkk. yang mencoba mengklasifikasikan manuver gerakan kendali kursi roda menggunakan ekstraksi data sensor dengan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Akan tetapi, model KNN terbukti cukup sensitif terhadap *noise* dinamis dan kedekatan jarak data, serta sistem ini belum mengintegrasikan mekanisme interupsi keselamatan otomatis [13]. Selanjutnya, terdapat penelitian oleh Fu dkk. yang mengembangkan algoritma *machine learning* dengan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) untuk mengklasifikasikan manuver kursi roda ke dalam delapan kelas gerakan berdasarkan data *accelerometer* dan *gyroscope* yang mengandung *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 [14]. Terdapat juga penelitian oleh Chawaphan yang mengevaluasi kinerja berbagai algoritma *machine*

learning, termasuk metode *Decision Tree*, dalam mengklasifikasikan data sensor IMU pada kursi roda. Namun, sistem tersebut masih berfokus pada deteksi *state* pergerakan menaiki tangga dan belum menargetkan navigasi terarah yang dilengkapi fitur *safety override* sensor jarak [15]. Keterbatasan dari penelitian-penelitian sebelumnya inilah yang menonjolkan urgensi pengembangan sistem navigasi yang mampu memadukan akurasi algoritma klasifikasi dengan mekanisme keselamatan pemantauan lingkungan yang solid.

Meskipun kendali *hands-free* sangat membantu, sistem yang hanya bergantung pada orientasi tubuh masih berisiko tinggi terhadap benturan. Oleh karena itu, lapisan keamanan tambahan berupa sensor ultrasonik diperlukan untuk mendeteksi rintangan secara *real-time* [7], [16]. Pada penelitian ini, mekanisme keselamatan (*Safety Override*) tidak hanya menghentikan kursi roda secara otomatis pada jarak kritis, tetapi juga memberikan tindakan preventif melalui peringatan *buzzer*. Pola bunyi *buzzer* dirancang semakin rapat seiring dekatnya jarak rintangan, sehingga pengguna dapat lebih waspada [16].

Data gerakan tubuh yang diperoleh dari tiga titik sensor IMU memiliki karakteristik *time-series* karena nilai *accelerometer* dan *gyroscope* berubah secara kontinu terhadap waktu. Dalam penerapan kursi roda, data tersebut sangat rentan terhadap *noise*, seperti getaran jalan, gerakan tubuh yang tidak disengaja, perubahan postur, serta perbedaan pola gerak antar pengguna. Gangguan tersebut dapat menyebabkan pola sinyal fleksi, ekstensi, dan *lateral bending* menjadi kurang stabil, sehingga diperlukan algoritma klasifikasi yang mampu menangani variasi data dan tetap menghasilkan keputusan yang konsisten. Random Forest dipilih karena merupakan algoritma *ensemble learning* yang membangun banyak pohon keputusan dan menghasilkan keputusan akhir melalui agregasi prediksi. Pendekatan ini dapat meningkatkan kemampuan generalisasi model serta mengurangi risiko *overfitting* dibandingkan penggunaan satu pohon keputusan tunggal [15], [17]. Selain itu, Random Forest lebih sesuai dibandingkan KNN yang sensitif terhadap kedekatan data dan SVM yang membutuhkan pemilihan parameter yang tepat, terutama ketika digunakan pada data multifitur dari beberapa sensor IMU [18], [19], [20].

Berdasarkan urgensi untuk menciptakan sistem navigasi yang inklusif, aman, dan adaptif, penelitian ini dirancang dan diwujudkan dalam tugas akhir yang berjudul **"Implementasi Kendali Kursi Roda Berbasis Gerakan Tubuh dengan Algoritma Random Forest Menggunakan Sensor MPU-6050 dan Ultrasonik sebagai *Override* Otomatis"**. Sistem ini mengintegrasikan instrumentasi sensor dan algoritma klasifikasi agar kursi roda dapat beroperasi secara responsif serta memiliki mekanisme *Safety Override* otomatis untuk meningkatkan keselamatan pengguna.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, sistem kendali kursi roda *hands-free* berbasis gestur tubuh saat ini masih rentan terhadap risiko benturan karena belum adanya fitur pemantauan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem terintegrasi yang memadukan sensor IMU dan algoritma Random Forest untuk klasifikasi gerak secara presisi, serta sensor ultrasonik sebagai mekanisme interupsi keamanan otomatis (*Safety Override*). Berdasarkan permasalahan tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kendali kursi roda berbasis sensor IMU dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi gestur tubuh pengguna serta memantau rintangan di depan kursi roda atau di sepanjang jalur gerak kursi roda secara *real-time*?
2. Bagaimana kinerja algoritma Random Forest dalam mengklasifikasikan pola gerakan tubuh (fleksi, ekstensi, dan *lateral bending*) menjadi instruksi gerak motorik yang presisi untuk kursi roda?
3. Bagaimana respons dan tingkat keberhasilan fitur *Safety Override* (penambahan sensor ultrasonik dan *buzzer*) dalam mengamankan pergerakan kursi roda saat menghadapi rintangan statis maupun dinamis sederhana di lingkungan *indoor* terkontrol?
4. Bagaimana performa penelitian yang dilakukan dibandingkan penelitian sebelumnya?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem integrasi sensor IMU dan ultrasonik sebagai unit akuisisi data untuk kendali kursi roda elektrik yang aman dan responsif.
2. Mengevaluasi kinerja algoritma Random Forest dalam mengklasifikasikan pola gerakan tubuh pengguna menjadi perintah navigasi kursi roda.
3. Menganalisis keandalan sistem *Safety Override* (penambahan sensor ultrasonik dan *buzzer*) dalam memberikan peringatan dan menghentikan kursi roda secara otomatis saat mendeteksi rintangan statis maupun dinamis sederhana di lingkungan *indoor* terkontrol.
4. Menganalisis perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah disusun untuk memastikan bahwa pembahasan dalam penelitian ini memiliki fokus yang jelas serta tetap relevan dengan permasalahan yang diteliti. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor IMU yang digunakan adalah MPU-6050 sebanyak tiga unit untuk mendeteksi orientasi tubuh pengguna dan sensor jarak yang digunakan adalah HC-SR04 sebanyak dua unit yang dipasang di depan kursi roda untuk memantau rintangan sesuai cakupan area sensor pada jalur gerak kursi roda.
2. Metode klasifikasi yang digunakan terbatas pada algoritma Random Forest sebagai pengolah data klasifikasi gestur tubuh pengguna.
3. Klasifikasi perintah navigasi dibatasi pada lima kondisi: "Maju (fleksi)", "Mundur (ekstensi)", "Belok Kanan (*lateral bending* kanan)", "Belok Kiri (*lateral bending* kiri)", dan "Berhenti/Diam".
4. Sistem kendali difokuskan pada hasil klasifikasi gestur tubuh dan mekanisme *Safety Override* berdasarkan pembacaan jarak sensor ultrasonik, termasuk peringatan menggunakan *buzzer* dan interupsi otomatis saat jarak kritis terdeteksi.
5. Pengujian dilakukan pada lingkungan *indoor* terkontrol dengan rintangan statis serta rintangan dinamis sederhana, tanpa membahas optimasi sudut pemasangan sensor ultrasonik, analisis torsi motor, efisiensi motor, konsumsi daya motor secara detail, spesifikasi kursi roda, maupun pengujian pada medan ekstrem.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rancangan dan implementasi sistem kendali kursi roda *hands-free* yang intuitif dan aman bagi penyandang disabilitas dengan keterbatasan motorik ekstremitas atas. Melalui sensor IMU dan algoritma Random Forest, sistem mampu mengklasifikasikan gestur tubuh pengguna secara presisi dan adaptif, sementara integrasi sensor ultrasonik menghadirkan mekanisme *Safety Override* berdasarkan pembacaan jarak rintangan untuk mengurangi risiko benturan. Penambahan *buzzer* sebagai indikator peringatan jarak juga memberikan informasi dini kepada pengguna sebelum sistem mencapai kondisi berhenti otomatis.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan pada tugas akhir.

Bab II Tinjauan Pustaka

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

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan tentang rancangan dan prosedur yang akan digunakan untuk memecahkan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir.

Bab IV Hasil dan Analisa

Bab ini berisi tentang hasil pengujian dan pembahasan dari hasil pengujian, yang nantinya akan dianalisis selama pengerjaan tugas akhir.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dari hasil tugas akhir yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

