

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital pada era revolusi industri 4.0 menuju *society* 5.0 telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk bidang pendidikan. Teknologi seperti kecerdasan buatan, pemrosesan citra digital, *Computer Vision*, dan sistem siber-fisik semakin banyak dimanfaatkan untuk mendukung aktivitas manusia. Konsep *Society* 5.0 menekankan pemanfaatan teknologi sebagai sarana untuk membantu menyelesaikan berbagai permasalahan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Oleh karena itu, dunia pendidikan dituntut untuk mampu menyesuaikan diri dengan perkembangan teknologi agar proses pembelajaran tetap relevan dengan kebutuhan zaman (Teknowijoyo & Marpelina, 2021).

Perguruan tinggi sebagai lembaga pendidikan memiliki peran penting dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang mampu menghadapi perkembangan teknologi tersebut. Dalam bidang pendidikan teknik, mahasiswa tidak hanya dituntut memahami teori, tetapi juga harus memiliki kemampuan menerapkan pengetahuan yang diperoleh ke dalam praktik nyata. Pembelajaran yang hanya berfokus pada penyampaian materi secara teoritis dinilai kurang mampu memberikan pengalaman belajar yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang dapat membantu mahasiswa memahami hubungan antara konsep yang dipelajari dengan penerapannya dalam kehidupan nyata. Penggunaan media pembelajaran berbasis proyek maupun produk nyata terbukti mampu

meningkatkan pemahaman konsep serta keterampilan teknis mahasiswa (Sukawijana & Wiratama, 2024).

Kebutuhan akan pembelajaran yang mengintegrasikan teori dan praktik juga terlihat pada mata kuliah Sistem Kendali Cerdas. Mata kuliah ini membahas proses pengambilan keputusan pada suatu sistem berdasarkan data yang diperoleh dan diolah melalui berbagai metode kecerdasan komputasional. Namun, proses pembelajaran yang berlangsung selama ini masih banyak berfokus pada penjelasan teori dan simulasi sederhana sehingga belum sepenuhnya menggambarkan penerapan teknologi tersebut dalam kondisi nyata. Akibatnya, mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antara konsep yang dipelajari dengan implementasinya pada sebuah sistem kendali yang sebenarnya (Budi dkk., 2024).

Salah satu dasar sub materi dalam mata kuliah Sistem Kendali Cerdas adalah logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* merupakan metode pengambilan keputusan yang digunakan untuk menangani kondisi yang tidak pasti atau tidak tegas, berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal nilai benar dan salah. Melalui penggunaan derajat keanggotaan dan aturan *IF-THEN*, logika *fuzzy* memungkinkan suatu sistem menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel sesuai dengan kondisi yang diterima. Karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian, logika *fuzzy* telah banyak diterapkan pada berbagai sistem kendali modern. Meskipun demikian, pemahaman terhadap konsep logika *fuzzy* sering kali menjadi tantangan bagi mahasiswa apabila hanya dipelajari melalui penjelasan teoritis tanpa didukung media pembelajaran yang menunjukkan penerapannya secara langsung (Nanda, 2024).

Meskipun logika *fuzzy* memiliki peran penting dalam sistem kendali cerdas, proses pembelajaran *sub* materi tersebut masih menghadapi berbagai kendala di lingkungan perkuliahan. Berdasarkan hasil observasi, pengalaman, dan wawancara dengan dosen pengampu mata kuliah Sistem Kendali Cerdas di Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Pendidikan Ganesha, ditemukan beberapa permasalahan. Pertama, *sub* materi logika *fuzzy* masih didominasi oleh penjelasan teori. Kedua, variasi media pembelajaran masih sedikit terutama yang menggunakan proses pengambilan keputusan dengan logika *fuzzy* dan kamera sebagai sensor (*input*). Ketiga, belum tersedia media pembelajaran berupa *trainer* yang mengintegrasikan ESP32-CAM dengan metode logika *fuzzy* dalam sistem kendali cerdas pada satu kesatuan sistem yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan pengembangan media pembelajaran yang mampu memperlihatkan penerapan sistem kendali cerdas secara langsung. Salah satu media yang dapat dikembangkan adalah *trainer* kursi roda cerdas (*smart wheelchair*) berbasis ESP32-CAM dengan logika *fuzzy*. Sistem ini dirancang menggunakan arsitektur multikontroler yang terhubung melalui jaringan nirkabel lokal. ESP32-CAM berfungsi sebagai perangkat akuisisi citra, sedangkan proses pengolahan data dilakukan pada perangkat komputasi menggunakan teknologi *computer vision* untuk mendeteksi orientasi kepala pengguna. Hasil pengolahan data tersebut kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses pengambilan keputusan dan pengendalian pergerakan kursi roda meskipun belum menjadi proses utama (Balasaheb dkk., 2026).

Sebagai kontribusi pengembangan, sistem ini mengintegrasikan teknologi *computer vision*, komunikasi data multikontroler, serta algoritma logika *fuzzy* Mamdani dalam satu platform pembelajaran. Orientasi kepala pengguna yang dideteksi melalui ESP32-CAM digunakan untuk menentukan arah pergerakan. Dalam sistem ini, logika *fuzzy* mengambil peran untuk menangani arah pandang kepala sebagai data masukan. Algoritma ini memproses variabel (seperti sudut orientasi kepala yang fluktuatif), lalu menghasilkan keluaran berupa nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang agar transisi kecepatan motor DC pada kursi roda menjadi adaptif, halus, dan tidak tersentak (Azizah dkk., 2021). Melalui integrasi ini, mahasiswa dapat mengamati langsung alur kerja industri modern mulai dari proses akuisisi data, proses *fuzzifikasi* informasi, hingga tahap *defuzzifikasi* yang menjadi keputusan akhir. Pengalaman belajar berbasis produk nyata ini tidak hanya meningkatkan kemampuan analitis dan pemecahan masalah mahasiswa, tetapi juga memperkuat kesiapan mereka dalam menghadapi tuntutan otomasi di masa depan.

Aspek keselamatan diintegrasikan ke dalam trainer melalui penggunaan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi hambatan dan mekanisme penghentian sistem ketika kondisi tertentu terdeteksi (Song, 2022). Penerapan fitur tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran kepada mahasiswa mengenai pentingnya aspek keamanan dalam perancangan sistem kendali cerdas. Keberadaan berbagai sensor dan aktuator dalam satu sistem memungkinkan mahasiswa memahami keterkaitan antara perangkat keras, perangkat lunak, dan algoritma kendali yang bekerja secara terpadu.

Pemilihan trainer kursi roda sebagai media pembelajaran didasarkan pada kemampuannya dalam merepresentasikan penerapan sistem kendali multivariabel

yang relatif kompleks. Berbeda dengan robot edukasi sederhana, sistem kursi roda melibatkan berbagai komponen yang harus bekerja secara terintegrasi, mulai dari sensor, pengolahan data, komunikasi sistem, hingga aktuator (Ramadhan dkk., 2026). Kondisi tersebut menjadikan trainer kursi roda sebagai sarana yang relevan untuk memperlihatkan implementasi konsep-konsep yang dipelajari dalam mata kuliah Sistem Kendali Cerdas. Berdasarkan permasalahan dan urgensi kebutuhan media pembelajaran yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan dengan judul **“Pengembangan Media Pembelajaran *Smart Wheelchair* Berbasis ESP32-CAM dengan Logika *Fuzzy* pada Mata Kuliah Sistem Kendali Cerdas”**.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama sebagai berikut:

1. Materi logika *fuzzy* dalam proses pembelajaran masih didominasi oleh aspek teoritis.
2. Terbatasnya variasi media pembelajaran yang menggunakan logika *fuzzy* sebagai pengambilan keputusan.
3. Terbatasnya media pembelajaran berbasis ESP32-CAM yang memanfaatkan teknologi *computer vision* dan deteksi arah kepala sebagai bentuk penerapan sistem kendali cerdas.
4. Belum tersedianya media pembelajaran *Smart Wheelchair* berbasis ESP32-CAM dengan logika *fuzzy* pada Mata Kuliah Sistem Kendali Cerdas.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian identifikasi masalah yang telah dipaparkan, diperlukan penetapan batasan masalah yang guna memfokuskan lingkup kajian penelitian

sehingga kemampuan produk benar-benar tertuju pada persoalan yang relevan. Batasan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada media pembelajaran *smart wheelchair* berbasis ESP32-CAM dengan logika *fuzzy* pada mata kuliah sistem kendali cerdas. Media ini ditujukan untuk mendukung proses belajar mahasiswa dalam memahami konsep dan implementasi sistem kendali cerdas secara praktikal pada mata kuliah sistem kendali cerdas.

1.4 Rumusan Masalah

Dari batasan masalah yang telah dijelaskan, maka peneliti mengajukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah merancang dan membuat media pembelajaran berupa trainer *smart wheelchair* dalam mata kuliah sistem kendali cerdas?
2. Bagaimanakah tingkat kelayakan dan fungsionalitas media pembelajaran trainer kursi roda cerdas dalam mata kuliah sistem kendali cerdas?
3. Bagaimanakah respon peserta didik terhadap penggunaan media *smart wheelchair* dalam mata kuliah sistem kendali cerdas?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Membuat media pembelajaran berupa trainer *smart wheelchair* dengan berbasis *head pose estimation* dengan ESP32-CAM dan logika *fuzzy* pada mata kuliah sistem kendali cerdas.
2. Mengetahui nilai kelayakan media pembelajaran trainer *smart wheelchair* berbasis *head pose estimation* dengan ESP32-CAM dan logika *fuzzy* pada mata kuliah sistem kendali cerdas.

3. Mengetahui respon mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran *smart wheelchair* pada mata kuliah sistem kendali cerdas.

1.6 Spesifikasi Produk yang Diharapkan

Merujuk pada tujuan penelitian, produk yang dikembangkan dirancang dalam bentuk perangkat keras dengan konstruksi yang sederhana serta mudah dioperasikan, sehingga dapat menjadi media pembelajaran yang menarik dan aplikatif. Adapun spesifikasi produk yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

1. Sistem kontrol gerak kursi roda dengan identifikasi arah hadap kepala berbasis kamera ESP32-CAM dengan logika *fuzzy*.
2. Navigasi mendukung empat arah dasar yaitu maju, mundur, belok kiri, dan kanan dengan kategori cepat, sedang dan lambat, serta fitur berhenti otomatis menggunakan sensor ultrasonik sebagai bentuk keamanan.
3. Komponen utama terdiri dari modul ESP32, ESP32-CAM, motor DC, driver motor, sensor ultrasonik, *Python*, perangkat lunak, VsCode, dan Arduino IDE serta berbagai librarynya.
4. Bersifat edukatif dan dirancang untuk digunakan oleh mahasiswa dalam praktikum juga alat media pembelajaran untuk dosen dalam mata kuliah sistem kontrol cerdas yang menekankan pembelajaran kontekstual dan nilai-nilai teknologi inklusif serta mandiri.

1.7 Pentingnya Pengembangan

Dengan dilaksanakannya penelitian yang berfokus pada pengembangan media pembelajaran berupa trainer *smart wheelchair* dengan identifikasi arah hadap kepala (*head pose*) berbasis ESP32-CAM dengan logika *fuzzy* sebagai implementasi

simulation-based instruction dalam pembelajaran sistem kendali cerdas, maka diharapkan penelitian ini dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Media ini mendukung pendekatan *experiential learning* dengan menggabungkan teori sistem kontrol cerdas berbasis logika *fuzzy* dan aplikasinya dalam dunia nyata, sekaligus memperkuat konsep rekayasa teknologi inklusif.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi Mahasiswa, Meningkatkan pemahaman terhadap sistem kendali cerdas berbasis logika *fuzzy* sekaligus menumbuhkan empati dan kesadaran terhadap peran teknologi dalam kehidupan sosial.
- b. Bagi Dosen, Menyediakan media nyata dan kontekstual dalam penyampaian materi pembelajaran pada sistem kendali cerdas dengan ESP32-CAM dan logika *fuzzy*.
- c. Bagi Lembaga, Mendukung pencapaian kompetensi melalui inovasi media pembelajaran yang aplikatif dan berbasis kepedulian sosial.

1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan

A. Asumsi

Beberapa asumsi yang mendasari dilakukannya pengembangan media pembelajaran pada mata kuliah sistem kendali cerdas adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan media ini membuat penyampaian materi oleh dosen menjadi lebih jelas dan mudah dipahami, sehingga proses belajar berjalan lebih efektif.

2. Kelas menjadi lebih hidup dan interaktif karena kehadiran media pembelajaran yang menarik, yang turut membangkitkan motivasi belajar mahasiswa.
3. Media ini dapat dimanfaatkan dosen sebagai alat bantu visual dalam menjelaskan konsep-konsep pada mata kuliah sistem kendali cerdas, sehingga materi menjadi lebih mudah dipahami.
4. Mahasiswa dapat langsung terlibat dalam proses belajar dengan cara mencoba, mengeksplorasi, dan menganalisis menggunakan media ini, sehingga pembelajaran terasa lebih menyenangkan dan tidak membosankan.

B. Keterbatasan Pengembangan

Beberapa keterbatasan dalam pelaksanaan pengembangan media pembelajaran ini yaitu sebagai berikut.

1. Sistem belum mendukung pengenalan ekspresi wajah dan perintah suara.
2. Logika *fuzzy* untuk menentukan *head pose estimation* bukan proses utama.
3. Kinerja sistem dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan untuk pengenalan wajah dan deteksi gerakan kepala.
4. Pengujian hanya dilakukan di ruang kelas dalam skala terbatas, belum mencakup pengguna disabilitas secara langsung maupun bentuk nyata.
5. Media ini masih berfungsi sebagai alat bantu pembelajaran, bukan sebagai alat bantu mobilitas untuk penggunaan medis atau lapangan.

1.9 Definisi Istilah

Dalam penelitian dan pengembangan ini, terdapat istilah dalam judul yang bertujuan untuk menghindari penyimpangan makna dalam memahaminya, oleh karena itu berikut ini beberapa definisi istilah, antara lain:

1. Pengembangan

Pengembangan merupakan suatu rangkaian kegiatan terencana yang bertujuan menciptakan atau menyempurnakan sebuah produk, baik berupa media, alat, maupun metode, yang disusun berdasarkan kebutuhan dan diuji untuk memastikan kelayakan serta fungsinya secara optimal dalam konteks tertentu (Fitria, 2025).

2. Media Pembelajaran

Media pembelajaran berfungsi sebagai alat bantu dalam menyampaikan pesan dari pendidik kepada peserta didik sebagai penerima informasi. Apabila lingkungan pembelajaran dirancang dengan terencana dan sistematis, maka hal tersebut dapat mendukung pencapaian tujuan pembelajaran secara maksimal (Hasan dkk., 2021).

3. Sistem Kendali Cerdas

Sistem kendali cerdas adalah sistem yang mampu mengendalikan perangkat atau proses secara otomatis dengan menggunakan algoritma cerdas seperti logika *fuzzy*, jaringan saraf tiruan, atau algoritma optimasi (Cahyono dkk., 2024). Dalam penelitian ini, sistem kendali cerdas diimplementasikan menggunakan logika *fuzzy* untuk mengendalikan pergerakan *smart wheelchair* berdasarkan input *head pose* yang terdeteksi.

4. *Wheelchair*

Wheelchair dalam bahasa Indonesia adalah sebuah kursi roda yang biasa digunakan oleh orang yang mengalami gangguan motorik dalam istilah lain yaitu orang yang mengalami kesulitan atau gangguan dalam berjalan. Dalam

judul ini kata *wheelchair* menunjukkan bahwa media ini berupa prototipe kursi roda yang masih mengambang.

5. Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* adalah pendekatan komputasi yang memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan informasi yang tidak pasti atau tidak lengkap. Dalam penelitian ini, logika *fuzzy* digunakan untuk menginterpretasikan data *head pose* yang terdeteksi oleh ESP32-CAM dan mengonversinya menjadi perintah kendali untuk menggerakkan *smart wheelchair* secara halus dan responsif (Adha, 2022).

6. *Head Pose Detection*

Head pose detection adalah metode untuk mengetahui posisi dan gerakan kepala seseorang dalam ruang tiga dimensi. Informasi ini kemudian dimanfaatkan sebagai masukan dalam sistem logika *fuzzy* untuk mengatur PWM motor DC (Putra & Utaminingrum, 2025).

7. ESP32-CAM

ESP32-CAM ialah sebuah mikrokontroler yang dilengkapi dengan kamera. Ini digunakan untuk menangkap gambar atau video, lalu mengirimkannya melalui jaringan WI-FI (Difa & Endri, 2021). Dalam penelitian ini, ESP32-CAM digunakan untuk mengambil video pengguna dan mengirimkannya ke server atau laptop untuk diproses.