

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dalam dua dekade terakhir, perkembangan teknologi robot *mobile* menunjukkan lonjakan yang sangat pesat [1], [2]. Hal ini sejalan dengan kemajuan teknologi di bidang mekatronika, pemrosesan *visual* digital (*computer vision*), serta sistem kontrol adaptif dengan kecerdasan buatan. Robot *mobile* telah diaplikasikan secara luas dalam berbagai sektor, mulai dari manufaktur, pertanian, hingga logistik dan transportasi otonom, bahkan pengawasan di wilayah-wilayah yang berbahaya atau sulit dijangkau manusia. Kemampuan robot untuk bergerak mandiri di berbagai kondisi menjadikannya teknologi yang semakin penting untuk dikembangkan, baik untuk kebutuhan industri besar maupun aplikasi miniatur yang lebih fleksibel dan ekonomis. Kemampuan bergerak otonom ini tidak hanya bergantung pada aktuator atau sensor, melainkan sangat membutuhkan sistem kontrol yang cerdas dan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan secara *real-time*.

Dalam sistem *mobile* robot, kemampuan bergerak otonom bertumpu pada integrasi tiga komponen utama: persepsi lingkungan, pengambilan keputusan, dan pengendalian gerak. Proses persepsi menjadi langkah pertama, di mana robot mengamati dan memahami kondisi sekitar serta mengenali jalur yang harus dilalui dengan bantuan sensor seperti kamera. Selanjutnya, pengambilan keputusan menganalisis data sensor dan menentukan tindakan yang tepat berdasarkan informasi yang diperoleh. Terakhir, sistem kontrol gerak mengimplementasikan keputusan tersebut menjadi pergerakan nyata dari aktuator, seperti pengaturan kecepatan atau arah robot. Ketiga komponen ini harus bekerja secara terpadu agar robot mampu bergerak sesuai dengan jalan yang akan dilalui, termasuk dalam menghadapi perubahan rute jalan secara tiba-tiba.

Jenis jalan satu arah dengan berbagai macam belokan, seperti belokan siku dengan sudut 90° , belokan melengkung dengan sudut 110° hingga 130° dan belokan tajam yang memiliki sudut 50° hingga 70° . Jalan seperti ini mudah dijumpai pada jalan raya tol, jalur logistik di dalam gudang, hingga sistem pengiriman barang otomatis [3], [4]. Meski terlihat sederhana, jalur berbelok ini menuntut akurasi tinggi dalam pelacakan jalan dan pengendalian arah robot. Kesalahan kecil dalam

interpretasi arah bisa menyebabkan robot melenceng dari jalur atau bahkan gagal menyelesaikan tugasnya. Masalah utama dari penelitian ini adalah bagaimana robot bisa mengenali dan mengikuti jalur dengan *center* di tengah jalur dan tidak terjadi kesalahan dalam ber-*manuver*, serta menyesuaikan arah belok robot secara tepat.

Tantangan dalam skenario ini adalah merancang sistem kendali yang bisa menyesuaikan arah belok robot secara *real-time*, khususnya untuk jalur satu arah. Kompleksitas semakin tinggi apabila digunakan mekanisme *ackerman steering*, seperti yang terdapat pada kendaraan beroda empat pada umumnya. Berbeda dengan sistem penggerak diferensial yang memungkinkan arah dikendalikan melalui perbedaan kecepatan roda, sistem *ackerman steering* mengandalkan pengaturan sudut pada dua roda depan. Akibatnya, robot dengan sistem ini memiliki karakteristik *non-holonomic*, yang artinya arah dan posisinya tidak bisa diubah secara bebas dan harus mengikuti jalur tertentu. Oleh sebab itu, diperlukan sistem kontrol yang lebih kompleks dan perencanaan lintasan yang lebih cermat agar *manuver* belok dapat dilakukan secara stabil dan halus.

Penelitian oleh Damar Wicaksono menganalisis efektivitas metode *Canny Edge Detection* dalam mendeteksi marka jalan pada citra dengan berbagai kondisi lingkungan seperti siang cerah, siang hujan, malam cerah, dan malam hujan. Pendekatan ini diawali dengan serangkaian teknik pra-pemrosesan citra, termasuk konversi *grayscale*, *adaptive thresholding*, dan pengurangan *noise* menggunakan beberapa filter seperti *Median Blur*, *Bilateral Filter*, dan *Non-local Means Blur* [5]. Penelitian ini membuktikan bahwa efektivitas deteksi tepi sangat bergantung pada metode pra-pemrosesan yang digunakan, dan menyarankan penyesuaian dinamis terhadap kondisi lingkungan guna menghasilkan deteksi marka jalan yang akurat dan optimal.

Penelitian oleh Canicius Mwitta dan Glen C. Rains mengembangkan sistem navigasi otonom untuk robot dengan kemudi *ackerman* menggunakan integrasi kamera stereo dan *Global Positioning System* (GPS). Deteksi jalur dilakukan dengan *semantic segmentation* berbasis *Fully Convolutional Network* (FCN), dilanjutkan dengan *Canny Edge Detection* untuk mengekstraksi batas lintasan, yang kemudian *difitting* dengan polinomial orde dua. Kontrol arah menggunakan *Pure Pursuit* berdasarkan model kinematika *Ackerman*. Sistem ini menunjukkan deviasi

lateral rata-rata 4,8 cm (*visual*) dan 9,5 cm (gabungan GPS-*visual*), membuktikan efektivitas pendekatan *visual* dan kontrol berbasis model untuk navigasi presisi di medan sempit dan berbelok [6].

Penelitian oleh Zhuozhu Jian et al. mengusulkan metode navigasi aman untuk robot *mobile* dalam lingkungan dinamis menggunakan pendekatan *Model Predictive Control* (MPC) yang dikombinasikan dengan *Dynamic Control Barrier Function* (D-CBF). Hasil pengujian nyata dan simulasi menunjukkan bahwa metode ini dapat menghindari berbagai rintangan bergerak secara presisi dan stabil, dengan jarak minimum aman 0,828 m terhadap rintangan, serta waktu reaksi dan variasi kecepatan yang lebih baik dibanding metode *baseline* lainnya seperti MPC biasa dan MPC-CBF [7]. Temuan ini memperkuat efektivitas MPC sebagai metode kendali prediktif yang adaptif dan aman untuk lingkungan tak terstruktur dan kompleks.

Penelitian terdahulu yang sudah dijelaskan sebelumnya dapat mendukung penelitian ini untuk mengatasi masalah yang ada. Penelitian ini akan merancang robot dengan konfigurasi *ackerman steering* yang mampu yang mampu ber-*manuver* dengan baik, yang artinya robot dapat berbelok sesuai batas marka jalan yang akan di lewati. kemudian memanfaatkan kombinasi *deep learning* melalui kamera yang terpasang di robot dan kontrol prediksi menggunakan pendekatan *Model Predictive Control* (MPC). Sistem ini dirancang agar dapat mengenali jalur dari hasil deteksi kamera, menentukan arah lintasan, dan menghitung sudut kemudi secara tepat. Proses diawali dengan pengolahan citra menggunakan metode *canny Edge Detection* dan *Hough transforms* untuk menentukan posisi dan arah lintasan. Parameter arah (*heading angle*) dan deviasi lintasan kemudian dikirimkan secara nirkabel melalui WiFi ke mikrokontroler ESP32. Di mikrokontroler, parameter tersebut menjadi *input* untuk MPC yang akan menghasilkan sinyal pengendali berupa sudut kemudi *servo* berdasarkan prinsip *ackerman steering*.

Penggunaan MPC dalam penelitian ini dipilih karena kemampuannya dalam merencanakan lintasan jangka pendek berdasarkan kondisi saat ini dan prediksi masa depan. MPC mampu memperhitungkan batas-batas fisik seperti sudut maksimum kemudi, batas kecepatan, dan karakteristik *non-holonomik* dari kendaraan [8]. Berbeda dari kontrol PID yang hanya merespon *error* saat ini, MPC mampu meminimalkan *cost function* kendali dengan pendekatan matematis,

sehingga menghasilkan keputusan kendali yang lebih optimal. Kemampuan ini sangat penting dalam menghadapi tantangan sistem *ackerman steering* yang sangat bergantung pada presisi sudut belok dan posisi terhadap jalur.

Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa integrasi sistem pengenalan jalur berbasis kamera dengan kendali *Model Predictive Control* (MPC) pada robot *ackerman steering* dapat meningkatkan akurasi, kestabilan, dan adaptivitas pengendalian gerak robot. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter kuantitatif seperti *Root Mean Square Error* (RMSE) terhadap jalur referensi, *error* sudut kemudi terhadap arah ideal, serta waktu respon sistem dalam menyesuaikan perubahan arah. Keberhasilan sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem kontrol otonom di masa depan.

1.2. Rumusan Masalah

Agar penelitian ini dapat berfokus pada apa yang akan di bahas, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan:

1. Bagaimana memanfaatkan model *ackerman steering* yang sudah ada [19] untuk digunakan pada *mobile robot*.
2. Bagaimana kamera mengenali bentuk lintasan jalan berbelok yang akan dilalui oleh *mobile robot*?
3. Bagaimana *mobile robot* dapat bergerak mengikuti lintasan yang telah dikenal dan akan dilewati?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Agar penelitian ini bisa mendapatkan *goal* yang diinginkan, berikut merupakan tujuan pada penelitian yang akan dilakukan:

1. Mengoptimalkan pergerakan *mobile robot* dengan tingkat ke halusan 1° saat mengikuti lintasan jalan yang akan di lalui.
2. Menerapkan algoritma pengolahan citra *Canny Edge Detection* dan *Transformasi Hough* pada komputer *vision* untuk mendapatkan sudut jalan dan batas tepi jalan.
3. Menerapkan metode *Model Predictive Control* (MPC) pada sistem kontrol *mobile robot* agar robot dapat bergerak pada *center line*.

Agar penelitian ini bisa berguna terhadap perkembangan teknologi, berikut merupakan manfaat pada penelitian yang akan dilakukan:

1. *Mobile* robot dapat ber-*manuver* dengan baik saat melalui lintasan berbelok.
2. Terciptanya sebuah kecerdasan buatan yang dapat mengetahui bentuk lintasan dalam satuan derajat dan batasan lintasan secara *real-time*.
3. Mewujudkan *mobile* robot otonom yang dapat mengikuti lintasan berdasarkan informasi arah jalur yang diperoleh dari kamera.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap fokus dan tidak meluas di luar cakupan yang telah ditetapkan, maka terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Lintasan yang digunakan tidak memiliki lingkungan 2 arah.
2. Pengujian tidak dilakukan pada *outdoor*
3. Terdapat 3 jenis belokan
4. Lebar jalan dianggap sama 20 cm
5. Kecepatan konstan 5 cm/s
6. Luas *banner testbed* 3 x 1,5 m²

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian terdapat lima tahapan yang harus dilakukan, sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
Tahap pertama merupakan tahap persiapan dimana menentukan topik sebagai penelitian yang akan dilakukan. Beberapa tahap persiapan, seperti menentukan topik, membuat latar belakang, membuat proposal, penyusunan skripsi, melakukan studi literatur untuk menentukan garis besar penelitian.
2. Tahap Perancangan
Tahap selanjutnya merupakan tahap perancangan untuk membuat alat penelitian setelah proposal skripsi disetujui.
3. Tahap Pengujian Sistem
Tahap ini dilakukan pengujian dari sistem *hardware* maupun *software*. Perlukan dokumentasi foto maupun video pada pengujian alat.
4. Tahap Analisis
Tahap analisis merupakan tahap menganalisa dan mengambil data pengujian dengan menggunakan metode yang telah ditentukan. Data yang sudah diambil maka disimpulkan didalam beberapa paragraf.

5. Tahap Pengerjaan Laporan Akhir

Tahap ini merupakan kesimpulan data hasil dari perancangan dan pengujian setelah dianalisa, kemudian dimasukkan ke dalam laporan akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdapat sistematika penulisan antara lain :

1. BAB I : Pendahuluan

Bab ini berisi mengenai penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

2. BAB II : Teori Penunjang

Pada bab ini berisi penjelasan mengenai penelitian terdahulu dengan topik yang sama sebagai penunjang topik penelitian.

3. BAB III : Perancangan Sistem

Pada bab ini berisi penjelasan dari langkah-langkah dalam proses pembuatan sistem dengan metode dan desain dari alat tersebut.

1.7. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Tabel 1.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Nama Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Studi literatur dan penyusunan proposal						
2	Perancangan sistem dan pemodelan kinematika <i>ackerman</i>						
3	Implementasi kamera dan <i>Line Detection</i>						
4	Desain dan pengujian komunikasi data WiFi (Laptop ke ESP32)						
5	Implementasi dan integrasi algoritma MPC di ESP32						
6	Integrasi sistem lengkap dan pengujian awal robot						
7	Pengujian di medan berbelok dan pengumpulan data						
8	Analisis data hasil pengujian						
9	Penyusunan laporan akhir						