

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomasi industri dalam lima tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, khususnya pada sektor manufaktur dan sistem logistik cerdas. Revolusi Industri 4.0 memicu perusahaan untuk mengimplementasikan sistem otomatis guna meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keselamatan kerja. Salah satu teknologi yang berkembang pesat yaitu *robot mobile*, merupakan kendaraan tanpa pengemudi yang dirancang untuk memindahkan material secara otomatis mengikuti jalur tertentu. Penggunaan *robot mobile* mampu mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual, menekan risiko kecelakaan kerja, serta meningkatkan konsistensi distribusi material di area produksi. Implementasi *robot mobile* dalam sistem otomasi industri *modern* terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu distribusi material dan mengoptimalkan proses produksi secara keseluruhan [1].

Dalam implementasinya di industri, *robot mobile* tidak hanya berfungsi sebagai alat transportasi material, tetapi juga mulai dikembangkan dengan sistem mekanik tambahan seperti sistem pengangkatan (*lifting system*). Sistem *lifting* memungkinkan *robot mobile* melakukan proses *loading* dan *unloading* barang secara otomatis tanpa bantuan alat eksternal. Keberadaan sistem *lifting* ini sangat penting terutama pada sistem distribusi internal pabrik yang membutuhkan fleksibilitas pemindahan barang antar *workstation*. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa desain mekanik dan kapasitas angkut sangat berpengaruh terhadap kestabilan dan performa *robot mobile* ketika membawa beban. Distribusi massa yang tidak seimbang dapat menyebabkan ketidakstabilan kendaraan serta menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan [2].

Selain aspek mekanik, sistem kendali merupakan komponen penting dalam menentukan keandalan sistem *lifting* pada *robot mobile*. Sistem kendali yang baik harus mampu mengatur pergerakan aktuator secara terstruktur dan aman sesuai dengan kondisi yang terjadi pada sistem. Salah satu metode kendali diskrit yang banyak diterapkan pada sistem robotika adalah *Finite State Machine* (FSM).

Metode FSM bekerja berdasarkan perubahan kondisi (*state*) yang telah didefinisikan sebelumnya, sehingga setiap proses berjalan sesuai urutan logika yang sistematis. Implementasi FSM pada sistem robotik terbukti mampu meningkatkan kestabilan transisi antar kondisi serta mempermudah perancangan algoritma kontrol dibandingkan metode kontrol kontinu yang lebih kompleks [3].

Metode FSM sangat sesuai diterapkan pada sistem *lifting robot mobile* karena proses pengangkatan beban bersifat sekuensial. Sistem dapat dirancang dalam beberapa kondisi seperti *standby*, *lifting* naik, menahan beban, *lifting* turun, dan *error condition*. Setiap kondisi memiliki logika transisi berdasarkan input sensor atau perintah pengguna. Pendekatan ini memungkinkan sistem bekerja secara deterministik dan meminimalkan kesalahan logika yang dapat membahayakan keselamatan operasi. Penelitian yang mengombinasikan FSM dengan sistem robotik menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam mengatur urutan gerak aktuator secara stabil dan terstruktur [4].

Dalam sistem pengangkatan beban, aspek keamanan menjadi faktor yang sangat penting. Beban yang melebihi kapasitas aktuator dapat menyebabkan kerusakan mekanik maupun kegagalan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring berat berbasis sensor *load cell* untuk mendeteksi beban secara *real-time*. Sensor *load cell* bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi akibat gaya tekan, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik untuk dibaca oleh mikrokontroler. Integrasi *load cell* pada sistem *robot mobile* memungkinkan dilakukan klasifikasi beban serta pencegahan kondisi *overload*. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan *load cell* pada sistem *robot mobile line follower* mampu meningkatkan keamanan sistem dan memberikan informasi berat secara akurat selama proses pengangkutan [5].

Dalam sistem *lifting robot mobile*, kestabilan pergerakan aktuator merupakan salah satu faktor yang sangat penting karena berpengaruh terhadap keamanan dan ketepatan proses pengangkatan beban. Penggunaan metode kendali konvensional umumnya masih menghasilkan perubahan respon aktuator yang kurang adaptif terhadap variasi beban sehingga dapat menimbulkan getaran atau osilasi selama proses pengangkatan. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan posisi akhir *lifting*

kurang presisi serta meningkatkan beban kerja aktuator. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Fuzzy Logic Mamdani*, karena mampu menghasilkan keputusan kendali berdasarkan derajat keanggotaan sehingga respon sistem menjadi lebih halus dan menyesuaikan kondisi masukan [6]. Karakteristik tersebut menjadi dasar penerapan *Fuzzy Logic Mamdani* pada penelitian ini untuk menghasilkan pergerakan linear aktuator yang lebih stabil, sehingga osilasi selama proses *lifting* dapat diminimalkan dan ketepatan posisi pengangkatan sesuai kategori beban dapat ditingkatkan.

Metode fuzzy memungkinkan sistem melakukan pengambilan keputusan secara adaptif terhadap perubahan berat material sehingga motor dapat bekerja lebih stabil, aman, dan efisien. Selain itu, metode fuzzy juga berfungsi sebagai sistem pengaman untuk mencegah beban kerja motor yang berlebihan (*overload*) yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem mekanik maupun aktuator. Pendekatan ini menunjukkan bahwa integrasi sensor *load cell* dan metode fuzzy mampu meningkatkan keandalan sistem otomasi berbasis pengendalian beban. Konsep pengendalian berbasis fuzzy tersebut memiliki relevansi terhadap pengembangan sistem *lifting* pada robot *mobile*, khususnya dalam proses klasifikasi dan penyesuaian beban angkut. Dengan memanfaatkan data berat dari sensor *load cell*, metode fuzzy dapat digunakan untuk membantu menentukan kategori beban serta memberikan respons kontrol yang lebih fleksibel dibandingkan metode logika konvensional. Integrasi metode fuzzy pada sistem robot *mobile* memungkinkan proses pengangkatan dan distribusi barang berlangsung lebih aman, stabil, dan sesuai dengan kapasitas aktuator yang digunakan. Hal ini menjadi penting karena beban yang berbeda dapat memengaruhi kestabilan gerak robot *mobile* selama proses navigasi maupun pengangkatan material [7].

Pengembangan robot *mobile* modern saat ini juga mulai mengintegrasikan berbagai metode kontrol lanjutan seperti PID dan kecerdasan buatan. Namun demikian, untuk sistem dengan karakteristik logika berurutan dan tidak memerlukan kontrol kontinu presisi tinggi, metode FSM dinilai lebih sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan pada mikrokontroler seperti *Atmega2560* atau Arduino. Implementasi metode yang terlalu kompleks pada sistem sederhana

justru dapat meningkatkan konsumsi sumber daya dan memperbesar potensi kesalahan sistem. Oleh karena itu, pemilihan metode kontrol harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang dirancang [3].

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengembangan robot *mobile* tidak hanya berfokus pada sistem navigasi, tetapi juga pada sistem mekanik *lifting* dan sistem kendali yang terintegrasi dengan sensor beban. Kombinasi antara metode *Finite State Machine*, sensor *load cell*, dan pendekatan *fuzzy logic Control* menjadi solusi yang relevan untuk meningkatkan stabilitas, keamanan, serta efektivitas sistem pengangkatan beban pada robot *mobile*. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem *lifting* otomatis pada robot *mobile* berbasis metode FSM dengan klasifikasi beban menggunakan sensor *load cell*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang sistem kontrol fuzzy mamdani untuk sistem lifting robot *mobile* agar menghasilkan sinyal PWM adaptif berdasarkan klasifikasi berat dan klasifikasi ketinggian lifting ?
- b. Bagaimana melakukan tuning open-loop untuk menentukan membership fuzzy pada sistem lifting yang menghasilkan osilasi paling minimal pada saat proses lifting dengan parameter performance indikator berupa osilasi yang dideteksi oleh sensor mpu6050?
- c. Bagaimana performa sistem lifting dibandingkan dengan metode konvensional?
- d. Bagaimana mengimplementasikan metode *Finite State Machine* (FSM) dalam mengatur proses standby, pre-lift, holding, klasifikasi, *lifting* utama, dan *lower* secara sistematis?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Merancang dan merealisasikan sistem *robot mobile* dengan mekanisme *lifting* berbasis aktuator linear.

- b. Mengintegrasikan sensor *load cell* untuk mendukung proses penimbangan dan klasifikasi beban secara *real-time*.
- c. Menerapkan metode *Finite State Machine* (FSM) sebagai sistem kendali agar proses *lifting* berjalan terstruktur dan aman.
- d. Menganalisis performa sistem *lifting* menggunakan metode *fuzzy logic* pada berbagai kategori beban serta membandingkannya dengan metode *ON-OFF*.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Penelitian ini memberikan manfaat terhadap pengembangan di bidang sistem kendali otomatis dan teknologi *robot mobile*, khususnya pada perancangan sistem *lifting* berbasis mikrokontroler dan metode *Finite State Machine* (FSM), dengan cara berikut:

- a. Menghasilkan rancangan sistem *robot mobile* dengan mekanisme *lifting* bertahap yang lebih aman dan stabil.
- b. Memberikan referensi teknis dalam penerapan sensor *load cell* untuk proses klasifikasi berat secara otomatis. Integrasi sensor dengan metode penahanan 3 detik memungkinkan pembacaan berat yang lebih akurat dan mengurangi fluktuasi data akibat getaran atau gangguan mekanis.
- c. Mengimplementasikan metode *Finite State Machine* (FSM) sebagai sistem kendali yang terstruktur dan sistematis. Pendekatan ini memudahkan pengaturan transisi kondisi seperti *standby*, *pre-lift*, *holding*, klasifikasi, dan *lifting* utama sehingga sistem bekerja lebih terkontrol.
- d. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem *robot mobile* berbasis mikrokontroler yang mengintegrasikan sensor *load cell*, metode *Finite State Machine* (FSM), dan metode *fuzzy logic* pada mekanisme *lifting*, serta menjadi acuan dalam mengevaluasi performa metode *fuzzy logic* melalui perbandingan dengan metode *ON-OFF* pada sistem pengangkatan otomatis.

1.5 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus untuk menghindari pembahasan yang meluas, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a. Penelitian difokuskan pada sistem *lifting robot mobile* dan tidak membahas sistem navigasi lanjutan seperti *SLAM* atau *vision processing* dan *reinforcement learning*.
- b. Dimensi beban yang diangkat dibatasi berdasarkan ukuran fisik platform pengangkut, sehingga benda yang dapat diangkat harus berada dalam batas platform.
- c. Metode *Finite State Machine* (FSM) digunakan untuk mengatur urutan kerja sistem *lifting* yang terdiri atas *state* idle, pre-lift, weighing, classify, lifting, hold, dan lower. FSM berfungsi sebagai pengatur urutan operasi (*sequence control*).
- d. Metode *Fuzzy Logic Mamdani* hanya diterapkan pada *state lifting* untuk mengatur pergerakan linear actuator.
- e. Beban yang digunakan pada pengujian dibatasi pada rentang 0–10 kg sesuai kapasitas sistem *lifting* yang dirancang. Dan Ketinggian maksimum pengangkatan (*lifting*) dibatasi hingga 10 cm, dengan target ketinggian yang telah ditentukan berdasarkan kategori beban.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar pembahasan lebih terstruktur dan mudah dipahami. Adapun sistematika tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang mengenai pentingnya pengembangan sistem *robot mobile* yang dilengkapi dengan mekanisme *lifting* berbasis klasifikasi beban untuk mendukung proses pengangkatan barang secara otomatis. Pada bab ini juga dibahas rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini membahas teori-teori dasar yang mendukung penelitian dan perancangan sistem *robot mobile*. Uraian dalam bab ini mencakup konsep *robot mobile*, sistem *lifting* menggunakan *linear actuator*, prinsip kerja sensor *load cell*, modul HX711, sensor HC-SR04, metode *Finite State Machine* (FSM), metode *fuzzy*

logic, motor DC, motor driver, serta teori-teori lain yang mendukung perancangan dan implementasi sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan dalam perancangan dan pengembangan sistem *robot mobile*. Pembahasan meliputi pendekatan penelitian, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pemilihan komponen, serta proses integrasi antara sensor *load cell*, sensor HC-SR04, *linear actuator*, metode *Finite State Machine* (FSM), dan *fuzzy logic*. Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan diagram blok sistem, perancangan mekanik, perhitungan parameter sistem, diagram alir (*flowchart*), perancangan *Finite State Machine*, perancangan *membership function fuzzy logic*, serta tahapan pengujian sistem yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem *robot mobile* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan terhadap kinerja sistem *lifting*, meliputi pengujian pembacaan berat menggunakan sensor *load cell*, klasifikasi beban, kesesuaian posisi *lifting*, pengujian metode *fuzzy logic*, pengujian integrasi sistem, serta perbandingan performa metode *fuzzy logic* dan *ON-OFF* berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Seluruh hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian. Selain itu, bab ini juga memuat saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang, seperti penyempurnaan metode pengendalian, peningkatan performa sistem *lifting*, serta pengembangan sistem agar dapat diimplementasikan pada aplikasi *robot mobile* yang lebih kompleks.