

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri 4.0 mendorong transformasi sistem logistik menuju otomasi yang lebih efisien dan aman, khususnya pada lingkungan *warehouse*. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan adalah *Automated Guided Vehicle* (AGV), yaitu kendaraan otonom yang digunakan untuk memindahkan material tanpa operator manusia. Implementasi AGV di *warehouse* terbukti mampu meningkatkan efisiensi distribusi barang, mengurangi kesalahan manusia, serta meningkatkan keselamatan kerja [1]. Oleh karena itu, sistem kendali AGV harus dirancang agar mampu beroperasi secara stabil dan adaptif terhadap kondisi lingkungan yang dinamis.

Operasional AGV dalam sistem intralogistik mencakup berbagai aktivitas yang berkaitan dengan perencanaan dan pengendalian pergerakan kendaraan. Sistem tersebut melibatkan perencanaan rute, penjadwalan tugas, serta pengaturan aliran material di dalam fasilitas produksi dan pergudangan. Proses *dispatching* dan *routing* digunakan untuk menentukan jalur perpindahan material sesuai kebutuhan operasional. Pengaturan pergerakan kendaraan berkaitan dengan tata letak fasilitas, titik tujuan distribusi, serta kondisi operasional di lingkungan kerja. Aktivitas tersebut menjadi bagian dari sistem intralogistik yang mengatur pergerakan kendaraan secara terkoordinasi dalam proses distribusi material [2].

Dalam operasionalnya, AGV membawa muatan dengan massa yang bervariasi sesuai kebutuhan distribusi barang. Variasi *payload* berpengaruh terhadap dinamika gerak robot pembawa muatan, termasuk perubahan respons percepatan dan kebutuhan gaya penggerak. Perubahan massa muatan berkaitan dengan perubahan gaya inersia yang memengaruhi karakteristik dinamis kendaraan. Distribusi beban pada robot memengaruhi gaya kontak antara roda dan permukaan lantai. Kondisi tersebut berkaitan dengan perubahan kebutuhan torsi motor selama

kendaraan bergerak. Perubahan karakteristik dinamis akibat variasi beban menjadi bagian dari kondisi operasional robot pembawa muatan [3].

Selain variasi beban, stabilitas pergerakan kendaraan berkaitan dengan kondisi orientasi selama beroperasi di lingkungan pergudangan. Sistem robot mobile menggunakan sensor untuk memperoleh informasi keadaan kendaraan saat bergerak. *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang terdiri atas akselerometer dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur percepatan linier serta kecepatan sudut kendaraan. Data sensor tersebut digunakan untuk memperoleh informasi orientasi kendaraan dalam sistem koordinat gerak robot. Sudut pada sumbu *pitch*, *roll*, dan *yaw* termasuk dalam parameter keadaan yang digunakan dalam analisis dan pengendalian gerak robot mobile. Informasi orientasi menjadi bagian dari variabel yang berkaitan dengan stabilitas pergerakan kendaraan selama beroperasi [4].

Metode logika *fuzzy* digunakan dalam sistem kendali robot mobile untuk mengatur respons gerak berdasarkan kondisi masukan sistem. Metode berbasis kecerdasan buatan diterapkan dalam perencanaan jalur dan pengendalian navigasi robot otonom. Pada sistem kendali *fuzzy*, nilai masukan diolah melalui tahap *fuzzification*, proses inferensi, dan *defuzzification* untuk menghasilkan nilai keluaran. Proses inferensi menggunakan aturan *if-then* yang menghubungkan variabel masukan dan variabel keluaran berdasarkan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan digunakan untuk menyatakan tingkat keanggotaan suatu nilai pada setiap kategori yang telah ditentukan. Metode ini digunakan dalam pengendalian gerak robot untuk menghasilkan respons kendali sesuai kondisi masukan sistem [5].

Platform robot mobile dengan roda *mecanum* memiliki kemampuan gerak *omnidirectional*, yaitu dapat bergerak maju, mundur, menyamping, dan berotasi tanpa mengubah orientasi rangka robot. Model kinematika roda *mecanum* menggambarkan hubungan antara kecepatan translasi dan kecepatan sudut kendaraan terhadap kecepatan sudut masing-masing roda. Persamaan kinematika tersebut digunakan untuk menghitung kecepatan setiap roda sesuai arah gerak yang ditentukan [6]. Distribusi beban pada robot pembawa muatan memengaruhi distribusi gaya kontak antara roda dan permukaan lantai selama kendaraan

bergerak. Perubahan kondisi beban berkaitan dengan perubahan gaya gesek dan gaya dorong pada sistem penggerak robot [3].

Dalam tugas akhir ini, penulis merancang sistem kendali berbasis logika *fuzzy* tipe *Mamdani* untuk mengatur kecepatan motor penggerak AGV. Variabel masukan terdiri atas berat muatan yang diukur menggunakan sensor *load cell* dengan modul penguat HX711 serta sudut kemiringan kendaraan yang diperoleh dari sensor MPU6050. Data berat dan sudut kemiringan diproses dalam sistem *fuzzy* untuk menghasilkan keluaran berupa nilai kecepatan dalam bentuk sinyal *Revolutions Per Minute* (RPM). Nilai RPM tersebut digunakan sebagai referensi kecepatan kendaraan dan didistribusikan ke masing-masing motor berdasarkan perhitungan invers kinematika roda *mecanum* [6]. Perhitungan invers kinematika digunakan untuk menentukan besar kecepatan setiap roda agar sesuai dengan arah dan kecepatan gerak kendaraan.

Berdasarkan rancangan sistem AGV yang dibuat, penulis memberi judul dengan nama “Rancang Bangun *Automated Guided Vehicle* (AGV) Beroda *Mecanum* dengan Sistem Kendali *Fuzzy logic* Mamdani–PID Berbasis Sensor *Load cell* dan IMU MPU6050”. Penulis berkolaborasi dengan Akbar Novrizza yang dalam tugas akhirnya membahas mengenai sistem *charging* dan Yufa Artika Dewi yang membahas mengenai sistem AGV *Trackless*. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem kendali adaptif yang mampu menyesuaikan performa gerak kendaraan berdasarkan variasi berat muatan dan kondisi kemiringan selama proses operasional. Sistem AGV yang dirancang dilengkapi dengan sensor *load cell* sebagai pengukur berat muatan secara *real time* serta sensor *gyroscope* sebagai pendeteksi sudut kemiringan kendaraan guna menjaga stabilitas pergerakan. Penelitian yang dilakukan oleh Hernández *et al.* [6] dengan judul *Kinematic Control in a Four-Wheeled Mecanum Mobile Robot for Trajectory Tracking*, menunjukkan bahwa perhitungan invers kinematika digunakan untuk mengonversi kecepatan translasi dan rotasi kendaraan menjadi kecepatan sudut masing-masing roda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi kecepatan roda yang dihitung berdasarkan model kinematika memungkinkan robot menghasilkan gerakan

omnidirectional secara presisi sesuai referensi kecepatan yang diberikan. Penelitian yang dilakukan oleh Ibáñez *et al.* [5] dengan judul *Path Planning for Autonomous Mobile Robots: A Review*, menunjukkan bahwa metode *fuzzy* digunakan dalam sistem kendali robot untuk menentukan respons gerak berdasarkan kombinasi variabel masukan melalui aturan inferensi. Penelitian yang dilakukan oleh Yee Leong *et al.* [3] dengan judul *Exploring Autonomous Load-Carrying Mobile Robots in Indoor Settings: A Comprehensive Review*, menunjukkan bahwa variasi beban memengaruhi dinamika kendaraan, distribusi gaya pada roda, serta kebutuhan daya penggerak selama robot beroperasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem kendali AGV beroda *mecanum* yang mampu menyesuaikan kecepatan motor berdasarkan variasi berat muatan dan kondisi kemiringan?
2. Bagaimana menerapkan metode logika *fuzzy* Mamdani dalam pengolahan data sensor *load cell* dan *gyroscope* untuk menghasilkan kendali motor yang adaptif?
3. Bagaimana performa sistem kendali berbasis *fuzzy* dalam mengevaluasi kinerja stabilitas dan keselamatan AGV saat membawa beban berbeda?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, dapat diuraikan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem AGV yang mampu beradaptasi terhadap variasi berat muatan pada lingkungan *warehouse* melalui pendekatan kendali cerdas.
2. Mengintegrasikan sensor *load cell* dan *gyroscope* sebagai parameter masukan dalam sistem kendali untuk meningkatkan stabilitas dan keselamatan operasional kendaraan.

3. Menerapkan metode logika *fuzzy* tipe Mamdani dalam pengaturan RPM melalui driver BTS7960 guna menghasilkan penyesuaian kecepatan motor yang responsif terhadap kondisi beban dan kemiringan.

1.4 Manfaat

Penelitian yang dilakukan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang lebih stabil, adaptif, dan aman dalam proses pemindahan barang di lingkungan industri.
2. Mendukung penerapan teknologi otomasi berbasis sensor terintegrasi (*load cell*, *gyroscope*, dan sistem kendali motor) untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasional.
3. Meningkatkan keandalan sistem AGV melalui pemantauan kondisi beban dan kemiringan secara *real time* sebagai bagian dari sistem keselamatan aktif.
4. Mengurangi risiko kerusakan alat dan kecelakaan kerja melalui penerapan sistem peringatan dini berbasis *buzzer* dan kontrol kecepatan adaptif.
5. Mendorong pengembangan solusi otomasi yang lebih cerdas dan responsif terhadap variasi beban serta kondisi operasional di area *warehouse* atau industri.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa batasan masalah, hal tersebut agar penelitian memiliki fokus dan tujuan yang baik. Batasan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Penelitian ini bersifat kelompok, pada penelitian ini hanya berfokus pada sistem kendali cerdas berbasis *fuzzy logic* menggunakan sensor *load cell* dan *gyroscope*.
2. Parameter kendali dibatasi pada berat muatan (*load cell*) dan sudut kemiringan (*gyroscope*), tanpa mempertimbangkan faktor eksternal seperti slip roda, kondisi lantai, atau gangguan dinamis lainnya.

3. Metode kendali yang digunakan terbatas pada logika *fuzzy* Mamdani sebagai kendali tingkat tinggi (penentu *setpoint* RPM) yang dipadukan dengan pengendali PID sebagai kendali tingkat rendah untuk menjaga kecepatan motor. Penelitian ini tidak membandingkan metode kendali tingkat tinggi lain seperti kontrol adaptif berbasis model.
4. Pengujian sistem hanya dilakukan pada variasi beban sesuai kapasitas yang dirancang, sehingga belum mencakup kondisi beban berlebih (*overload*) atau kemungkinan kerusakan mekanis.
5. Analisis sistem difokuskan pada kestabilan dan respons terhadap perubahan beban, tanpa membahas efisiensi konsumsi energi, umur komponen, maupun aspek komersialisasi.
6. Sistem dibatasi tanpa gangguan eksternal (benda diambil pada saat AGV sedang berjalan).

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Demi terwujudnya suatu penulisan yang baik, maka diperlukan adanya sistematika penulisan. Sistematika dari tugas akhir ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat tugas akhir, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II DASAR TEORI

Berisikan mengenai teori - teori dasar yang mendukung pada topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang diagram blok sistem, gambar 3D, komponen-komponen yang dibutuhkan pada perancangan alat, membahas bagaimana sistem berjalan, membahas spesifikasi sistem dan teknik fabrikasinya.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Membahas tentang proses pengujian alat berdasarkan spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja

komponen secara keseluruhan dalam satu sistem terintegrasi. Pengujian terdiri dari dua bagian, yaitu pengujian tiap komponen dan pengujian sistem yang kemudian hasil dari pengujian tersebut dianalisis untuk mencari nilai efektivitas.

BAB V PENUTUP

Menyajikan kesimpulan dari hasil pengujian serta saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian terdapat referensi penulisan serta sumber yang dikutip oleh penulis.

LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi hal-hal sisipan dan keterangan oleh penulis yang berisikan tentang apa yang penulis tulis.