



**RANCANG BANGUN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV)
BERODA *MECANUM* DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC*
MAMDANI–PID BERBASIS SENSOR *LOAD CELL* DAN IMU MPU6050**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Oleh:

Fatoni Nur Rizki

NIM. 40040322650024

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV) BERODA
MECANUM DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC* MAMDANI-PID
BERBASIS SENSOR *LOAD CELL* DAN IMU MPU6050**

Diajukan oleh:

Fatoni Nur Rizki

NIM. 40040322650024

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier, S.Si., M.Si.

NPPU. H.7.199504152022041001

Tanggal 26 Agustus 2026

Mengetahui,

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmono, S.T., M.Eng.

NIP. 197009161998021001

Tanggal 26 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV) BERODA
***MECANUM* DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC* MAMDANI-PID**
BERBASIS SENSOR *LOAD CELL* DAN IMU MPU6050

Disusun Oleh:

Fatoni Nur Rizki

NIM. 40040322650024

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada Tanggal

26 Agustus 2026

Tim Penguji,

Dosen Pembimbing



Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier, S.Si., M.Si.

NPPU. H.7.199504152022041001

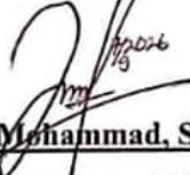
Penguji 1



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Penguji 2



Luthfansyah Mohammad, S.Tr.T., M.T.

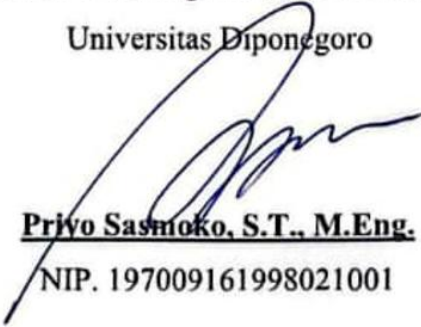
NPPU.H.7. 199609132022041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmito, S.T., M.Eng.

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fatoni Nur Rizki
NIM : 40040322650024
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun *Automated Guided Vehicle* (AGV)
Beroda *Mecanum* dengan Sistem Kendali *Fuzzy logic*
Mamdani–PID Berbasis Sensor *Load cell* dan IMU
MPU6050

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 26 Agustus 2026



Yang Membuat Pernyataan
Fatoni Nur Rizki

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, hidayat, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan sekaligus menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun *Automated Guided Vehicle* (AGV) Beroda *Mecanum* dengan Sistem Kendali *Fuzzy logic* Mamdani–PID Berbasis Sensor *Load cell* dan IMU MPU6050”. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik terapan (S.Tr.T) dari program studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Subhanahu Wa Ta’ala, atas segala nikmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua dan juga keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat bagi penulis.
3. Prof Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi.
4. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi STr Teknologi Rekayasa Otomasi.
5. Bapak Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang selalu membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Teman-teman ODGJ.T dan SATNAYAKA, yang telah membantu dalam berdiskusi dan sebagai teman penulis.
7. Akbar dan Yufa selaku teman sekelompok tugas akhir penulis. Terima kasih atas kerja samanya dalam menyelesaikan tugas akhir ini, dan bantuan tak terhingga sampai dengan penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Semarang, 26 Agustus 2026

Penulis



Fatoni Nur Rizki

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan	18
1.4 Manfaat	19
1.5 Batasan Masalah	19
1.6 Sistematika Tugas Akhir	20
BAB II DASAR TEORI.....	22
2.1 Tinjauan Pustaka	22
2.2 <i>Automated Guided Vehicle (AGV)</i>	23
2.3 Logika <i>Fuzzy</i>	25
2.3.1 Fuzzifikasi.....	27
2.3.2 Aturan Dasar (<i>Rule Base</i>)	27
2.3.3 Penalaran (<i>Inference</i>).....	28
2.3.4 Defuzzifikasi.....	28
2.3.5 Jenis Metode Logika <i>Fuzzy</i>	29
2.4 ESP32-S3-WROOM-1-N16R8.....	30
2.5 Sensor <i>Load cell</i>	33
2.5.1 Konfigurasi Empat <i>Load cell</i> dan Integrasi dengan HX711	34
2.5.2 Konfigurasi Pin dan Pembacaan Diferensial	35
2.5.3 Perhitungan <i>Error</i> dan Kalibrasi <i>Load cell</i>	35
2.6 Modul HX711.....	39
2.7 Sensor MPU6050	41
2.8 <i>Buzzer</i>	43
2.9 Driver BTS7960	44
2.10 Motor Penggerak (PG Encoder PG36).....	46
2.11 <i>Mecanum wheel</i>	48
2.11.1 Model Kinematika AGV.....	50
2.11.2 Persamaan Invers Kinematika	50
2.12 PCA9685.....	50
2.13 Sistem Kendali PID	53
2.14 Antarmuka Web (<i>Web Interface</i>).....	57
2.14.1 <i>Web Server</i> pada Mikrokontroler.....	57

2.14.2 Mode <i>Access Point</i> dan <i>Station</i>	57
2.14.3 Protokol Komunikasi dan Format Pertukaran Data	58
BAB III METODE PENELITIAN	59
3.1 Diagram Blok Komponen Penyusun Alat	59
3.2 Desain 3D	62
3.3 Spesifikasi dan Fitur	65
3.3.1 Spesifikasi Fisik dan Mekanik	65
3.3.2 Fitur Sistem	65
3.4 Teknik Fabrikasi	66
3.4.1 Perancangan Mekanikal	66
3.4.2 Perhitungan Komponen Mekanikal dan Elektrikal	67
3.4.3 Perancangan Elektrikal	70
3.4.4 Perancangan Perangkat Lunak	72
3.4.5 Perancangan Kontrol PID Motor	77
3.5 Hasil Perhitungan dan Pemrograman Logika <i>Fuzzy</i>	83
3.5.1 Fuzzifikasi	84
3.5.2 Inference	87
3.5.3 Defuzzifikasi	88
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS	100
4.1 Hasil Pembuatan Rancangan <i>Automated Guided Vehicle</i>	100
4.2 Pengujian Komponen	101
4.2.1 Pengujian Sensor <i>Load cell</i>	101
4.2.2 Pengujian Sensor MPU6050	112
4.2.3 Pengujian Driver Motor dan Roda <i>Mecanum</i>	117
4.2.4 Pengujian Logika <i>Fuzzy</i> Mamdani	126
BAB V PENUTUP	131
5.1 Kesimpulan	131
5.2 Saran	132
DAFTAR PUSTAKA	133
LAMPIRAN	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Logika Fuzzy [11].....	27
Gambar 2. 2 Modul ESP32-S3 [14]	31
Gambar 2. 3 Pin ESP32-S3-WROOM-1 [14]	32
Gambar 2. 4 Load cell 10 kg [16].....	34
Gambar 2. 5 Modul HX711 [17]	39
Gambar 2. 6 Diagram Blok Internal HX711 [15].....	40
Gambar 2. 7 Modul GY-521 [18].....	41
Gambar 2. 8 Pergerakan Sumbu 3 Sudut [20].....	42
Gambar 2. 9 Komponen Buzzer Piezoelectric [21].....	44
Gambar 2. 10 Tampilan Driver BTS7960 [22].....	45
Gambar 2. 11 Skematik Driver BTS7960 [22].....	45
Gambar 2. 12 PG Encoder PG36 [23]	47
Gambar 2. 13 Roda Mecanum [25]	49
Gambar 2. 14 Gerakan Omni Directional[25]	49
Gambar 2. 15 Modul PCA9685[26]	51
Gambar 2. 16 Pin Modul PCA9685 [27].....	51
Gambar 2. 17 Bagian-bagian PCA9685 [26].....	52
Gambar 2. 18 Basic PID Controller Structure [29]	53
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem.....	59
Gambar 3. 2 AGV Tampak Luar dengan Tutup	63
Gambar 3. 3 AGV Tampak Dalam	63
Gambar 3. 4 AGV Tampak Depan	63
Gambar 3. 5 AGV Tampak Belakang	63
Gambar 3. 6 AGV Tampak Samping Kanan.....	64
Gambar 3. 7 AGV Tampak Samping Kiri.....	64
Gambar 3. 8 AGV Tampak Bawah	64
Gambar 3. 9 Sketsa AGV	64
Gambar 3. 10 Wiring Rangkaian Elektrikal Sistem	70
Gambar 3. 11 Flowchart Sistem pada AGV	72
Gambar 3. 12 Flowchart Logika <i>Fuzzy</i> Mamdani	74
Gambar 3. 13 Diagram Blok Kontrol Program <i>Fuzzy</i>	76
Gambar 3. 14 Diagram Blok Kontrol PID Motor pada AGV	77
Gambar 3. 15 Flowchart Kendali PID	79
Gambar 3. 16 Blok diagram Close-loop kendali PID.....	81
Gambar 3. 17 Grafik Step Respon RPM 50	82
Gambar 3. 18 Tampilan Matlab <i>Fuzzy</i> Mamdani	86
Gambar 3. 19 <i>Rule Base</i> Sistem AGV.....	88
Gambar 3. 20 Grafik Himpunan Variabel Beban Ringan	89
Gambar 3. 21 Grafik Himpunan Variabel Beban Sedang	89

Gambar 3. 22	Grafik Himpunan Variabel Beban Berat	90
Gambar 3. 23	Grafik Himpunan Variabel Beban	90
Gambar 3. 24	Grafik Himpunan Variabel Kemiringan Landai	90
Gambar 3. 25	Grafik Himpunan Variabel Kemiringan Agak Landai	91
Gambar 3. 26	Grafik Himpunan Variabel Kemiringan Curam	91
Gambar 3. 27	Grafik Himpunan Variabel Kemiringan	92
Gambar 3. 28	Tampilan Matlab Variabel Beban.....	97
Gambar 3. 29	Tampilan Matlab Variabel Kemiringan.....	97
Gambar 3. 30	Tampilan Matlab Variabel RPM	98
Gambar 3. 31	Hasil Defuzzifikasi Matlab	98
Gambar 4. 1	Hasil Chassis Rangka Automated Guided Vehicle	100
Gambar 4. 2	Setelah cover terpasang	101
Gambar 4. 3	Perbandingan Rata-rata Error Absolut dan Akurasi Load cell LC1– LC4 serta Total Platform.....	104
Gambar 4. 4	Grafik linearitas sensor load cell	105
Gambar 4. 5	Hasil Pengujian <i>Repeatability Load cell</i> (Beban Referensi: 2038 Gram)	106
Gambar 4. 6	Berat referensi pengujian repeatability	109
Gambar 4. 7	Grafik perbandingan data raw roll dan filter roll.....	113
Gambar 4. 8	Grafik perbandingan data raw pitch dan filter pitch.....	115
Gambar 4. 9	Grafik perbandingan antara nilai RPM target dan RPM rata-rata aktual keempat motor.....	118
Gambar 4. 10	Grafik linearitas perbandingan antara RPM target dan RPM aktual rata-rata	119
Gambar 4. 11	Grafik hasil konstanta PID menggunakan Ziegler-Nichols orde 1	122
Gambar 4. 12	Grafik hasil metode Ziegler-Nichols Close Loop.....	125
Gambar 4. 13	Grafik Respons RPM Aktual terhadap Perubahan Setpoint Fuzzy	130

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi ESP32-S3-WROOM-1-N16R8.....	32
Tabel 2. 2 Spesifikasi Load cell Full Bridge 10 kg	35
Tabel 2. 3 Konfigurasi Pin Full Wheatstone Bridge	35
Tabel 2. 4 Spesifikasi HX711	40
Tabel 2. 5 Konfigurasi Pin HX711	40
Tabel 2. 6 Spesifikasi dari modul IMU MPU 6050	42
Tabel 2. 7 Keterangan Variabel Perhitungan Sensor MPU6050.....	43
Tabel 2. 8 Spesifikasi buzzer Piezo	44
Tabel 2. 9 Spesifikasi driver BTS7960	46
Tabel 2. 10 Spesifikasi Motor PG36	47
Tabel 2. 11 Keterangan Variabel Perhitungan Mekanik	48
Tabel 2. 12 Keterangan Variabel Kinematika AGV	50
Tabel 2. 13 Spesifikasi PCA9685.....	52
Tabel 2. 14 Keterangan Variabel Encoder	55
Tabel 2. 15 Perhitungan Parameter PID dengan Ziegler Nichols 1	55
Tabel 3. 1 Konfigurasi Pin pada Kontroler dan Komponen.....	71
Tabel 3. 2 Himpunan Fuzzy Variabel Beban	84
Tabel 3. 3 Himpunan Fuzzy Variabel Kemiringan	85
Tabel 3. 4 Himpunan Fuzzy Variabel RPM	86
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Akurasi LC1 (kiri Depan)	102
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Akurasi LC2 (kanan depan)	102
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Akurasi LC3 (Kiri belakang)	103
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Akurasi LC4 (Kanan belakang)	103
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Akurasi Total Platform (gabungan 4 load cell).....	104
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian <i>Repeatability Load cell</i> 1 (Beban Referensi: 2038 Gram)	106
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian <i>Repeatability Load cell</i> 2 (Beban Referensi: 2038 Gram)	107
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian <i>Repeatability Load cell</i> 3 (Beban Referensi: 2038 Gram)	108
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian <i>Repeatability Load cell</i> 4 (Beban Referensi: 2038 Gram)	108
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian <i>Repeatability</i> (Presisi) gabungan 4 Load cell (Beban Referensi: 5631 Gram).....	110
Tabel 4. 11 Hasil pengujian zero-band.....	111
Tabel 4. 12 Hasil pengujian roll	113
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Pitch	114
Tabel 4. 14 pengujian akurasi yaw	115
Tabel 4. 15 Pengujian Drift Jangka Panjang	116

Tabel 4. 16	Pengujian respon RPM terhadap PWM.....	117
Tabel 4. 17	Pengujian 8 Arah Gerak Mecanum	119
Tabel 4. 18	Data gerak motor berdasarkan perintah gerakan.....	120
Tabel 4. 19	Hasil pengujian PID metode Ziegler-Nichols orde 1	121
Tabel 4. 20	Riwayat Penentuan Konstanta PID dengan metode Ziegler-Nichols orde 1 dan fine-tuning	123
Tabel 4. 21	Parameter Konstanta PID tiap Motor	124
Tabel 4. 22	Data pengujian parameter konstanta PID.....	124
Tabel 4. 23	Hasil pengujian respons step PID tiap Motor (setpoint 50 RPM)...	126
Tabel 4. 24	Pengujian Logika Fuzzy Mamdani	126
Tabel 4. 25	Respons PID terhadap Perubahan Setpoint Fuzzy	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Mentah Kalibrasi Total Platform	136
Lampiran 2 Pengambilan data sensor MPU6050	144
Lampiran 3 Perbandingan pengukuran RPM sistem dan aktual (tachometer)..	150
Lampiran 4 Tabel Validasi Gerakan berdasarkan perintah arah gerak	152
Lampiran 5 Tampilan Dashboard Gui.....	155
Lampiran 6 Data Sheet Komponen	156

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV) BERODA *MECANUM* DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC* MAMDANI–PID BERBASIS SENSOR *LOAD CELL* DAN IMU MPU6050

Fatoni Nur Rizki

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Automated Guided Vehicle (AGV) berbasis beban digunakan untuk memindahkan material secara otomatis di lingkungan *warehouse* sekaligus menyesuaikan kecepatan terhadap kondisi muatan. Pembatasan kecepatan diperlukan ketika muatan berat atau posisi kendaraan tidak stabil agar kendaraan tidak terguling dan muatan tidak jatuh. Penelitian terdahulu umumnya menerapkan kecepatan tetap, hanya mempertimbangkan berat, atau mengirim keluaran kendali langsung sebagai PWM tanpa umpan balik kecepatan. Kebaruan penelitian ini adalah penggabungan berat muatan dan sudut kemiringan sebagai masukan logika *fuzzy* Mamdani. Keluarannya digunakan sebagai *setpoint* RPM yang dijaga oleh kendali PID dengan umpan balik *encoder* pada AGV beroda *mecanum*. Empat *load cell* dengan modul HX711 mengukur berat, sedangkan IMU MPU6050 mengukur kemiringan. Data diproses melalui fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi *centroid* untuk menghasilkan referensi RPM. Nilai tersebut didistribusikan ke empat motor PG36 melalui *driver* BTS7960 berdasarkan invers kinematika *mecanum* sehingga AGV dapat bergerak secara *omnidirectional*. Sistem menggunakan ESP32-S3, *buzzer*, dan antarmuka web. Pengujian menunjukkan akurasi penimbangan 99,70% dengan R^2 0,99997; akurasi *pitch* 99,02%, *roll* 97,75%, dan *yaw* 99,63%; serta *overshoot* PID 3,27% dan *steady-state error* 0,015%. Pemantauan web juga memudahkan operator mengawasi kondisi muatan, kemiringan, dan kecepatan kendaraan secara langsung. Sistem mampu beradaptasi terhadap perubahan beban dan kemiringan sehingga meningkatkan stabilitas, keselamatan, dan efektivitas operasional di *warehouse*.

Kata kunci: AGV, Logika *Fuzzy* Mamdani, PID, *Load cell*, IMU MPU6050, ESP32-S3, Roda *Mecanum*.

ABSTRACT

RANCANG BANGUN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV) BERODA *MECANUM* DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY LOGIC* MAMDANI–PID BERBASIS SENSOR *LOAD CELL* DAN IMU MPU6050

Fatoni Nur Rizki

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

A load adaptive *Automated Guided Vehicle* (AGV) transports materials within *warehouse* environments while adjusting its speed to payload conditions. Speed limitation is required when the payload is heavy or the vehicle position is unstable to prevent overturning and load displacement. Previous studies applied constant speed, considered only payload weight, or transmitted control *outputs* as PWM signals without speed feedback. This study combines payload weight and inclination angle as *inputs* to Mamdani *fuzzy logic*. Its *output* serves as an RPM *setpoint* regulated by PID control with *encoder* feedback on a *mecanum wheeled* AGV. Four *load cells* equipped with HX711 modules measure payload weight, while an MPU6050 IMU measures inclination. The data undergo fuzzification, inference, and *centroid* defuzzification to generate the reference RPM. This value is distributed to four PG36 motors through BTS7960 *drivers* using *mecanum* inverse kinematics, enabling *omnidirectional* motion. The system employs an ESP32-S3, *buzzer*, and web interface. Testing demonstrated 99.70% weighing accuracy with R^2 0.99997; *pitch*, *roll*, and *yaw* accuracies of 99.02%, 97.75%, and 99.63%; PID *overshoot* of 3.27%; and a *steady state error* of 0.015%. Web monitoring allows operators to observe payload, inclination, and vehicle speed directly. Consequently, the system improves operational stability, *safety*, and overall effectiveness.

Keywords: AGV, Mamdani *Fuzzy logic*, PID, *Load cell*, MPU6050 IMU, ESP32-S3, *Mecanum wheels*.