



**RANCANG BANGUN SISTEM LIFTING DENGAN KONTROL FUZZY
LOGIC MAMDANI PADA LINEAR ACTUATOR BERBASIS SENSOR
LOAD CELL MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE
(FSM) PADA ROBOT MOBILE**

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 :

Zulham Amin Ristianto

40040322650013

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI

DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2026

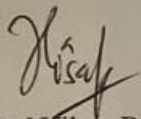
HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM *LIFTING* DENGAN KONTROL FUZZY
LOGIC MAMDANI PADA LINEAR ACTUATOR BERBASIS SENSOR LOAD
CELL MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE (FSM) PADA
ROBOT MOBILE

Diajukan oleh :

Zulham Amin Ristianto

40040322650013

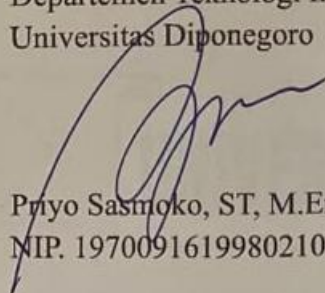
TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH
DOSEN PEMBIMBING



Dr. Lisa' Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si.
NPPU.H.7.199210062022042001

Tanggal, 21 Juli 2026

Mengetahui,
Ketua
Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, ST, M.Eng
NIP. 197009161998021001

Tanggal, 21 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM *LIFTING* DENGAN KONTROL FUZZY LOGIC
MAMDANI PADA LINEAR ACTUATOR BERBASIS SENSOR LOAD CELL
MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE (FSM) PADA ROBOT
MOBILE

Diajukan oleh ;

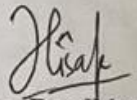
Zulham Amin Ristianto

NIM 40040322650013

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

Selasa, 21 Juli 2026

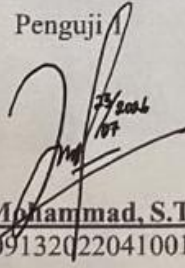
Tim Penguji.
Dosen Pembimbing



Dr. Lisa' Yihaa Roodhivah, S.Si., M.Si.

NPPU.H.7.199210062022042001

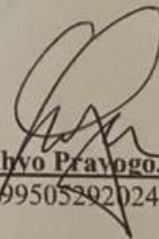
Penguji 1


21/07/2026

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

NIP. H.7.199609132022041001

Penguji 2



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

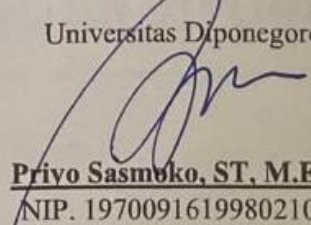
NIP. 199505292024061001

Mengetahui

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko, ST, M.Eng.

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Zulham Amin Ristianto
NIM : 40040322650013
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : “Rancang Bangun Sistem *Lifting* dengan Kontrol
Fuzzy Logic Mamdani pada *Linear Actuator* Berbasis
Sensor Load Cell Menggunakan Metode *Finite State*
Machine (FSM) pada Robot *Mobile*”.

Dengan ini menyatakan bahwa 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 diacu 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, 21 Juli 2026

Penulis

Zulham Amin Ristianto

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem *Lifting* dengan Kontrol *Fuzzy Logic* Mamdani pada *Linear Actuator* Berbasis Sensor *Load Cell* Menggunakan Metode *Finite State Machine* (FSM) pada Robot *Mobile*” Tersusunnya laporan ini tentu tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kesehatan, dan kelancaran bagi penulis dalam setiap langkah penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, motivasi, serta dukungan moril dan materil kepada penulis.
3. Prof Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi.
4. Priyo Sasmoko, S.T.,M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi.
5. Dr. Lisa’ Yihaa Roodhiyah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Keluarga Kaka Novia, Mba Vera, Mas Agung dan juga Sabrina yang telah membantu segala keperluan dan juga kebutuhan penulis selama kuliah. Semoga selalu dilimpahkan rezekinya, sehat selalu dan panjang umur.
7. Aura, Daffa, Aidi, Hafidz, dan Desli selaku teman-teman penulis yang telah memberikan bantuan, semangat, dukungan, serta menjadi rekan berdiskusi selama proses penyusunan Tugas Akhir hingga dapat terselesaikan dengan baik.
8. Seluruh keluarga besar SATNAYAKA angkatan penulis yang telah membersamai perjalanan selama masa perkuliahan, memberikan kebersamaan, dukungan, pengalaman, serta kenangan yang berharga.
9. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih kurang sempurna dan banyak kekurangan. Penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya.

Semarang, 21 Juli 2026

Penulis

Zulham Amin Ristianto

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR...Error! Bookmark not defined.

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR..... i

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT iii

KATA PENGANTAR..... iv

DAFTAR TABEL viii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL xv

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Tugas Akhir..... 4

1.4 Manfaat Tugas Akhir..... 5

1.5 Pembatasan Masalah 5

1.6 Sistematika Tugas Akhir 6

BAB II DASAR TEORI 8

2.1 Tinjauan Pustaka 8

2.2 Robot Mobile 13

2.3 *Linear Aktuator* 14

2.4 *Sistem lifting* 17

2.5 *fuzzy logic* 21

2.6 *Load cell*..... 27

2.7 Modul Hx711 29

2.8 Driver Motor BTS7960 32

2.9 Atmega 2560 35

2.10 Push Button 37

2.11 LCD I2C..... 38

2.12 Sensor Ultrasonik HC-SR04 39

2.13	Modul Step Down XL4005	40
2.14	Baterai <i>Lithium Iron Phosphate</i> (LiFePO ₄) 12V 12Ah	41
2.15	<i>Pulse Width Modulation</i>	43
BAB III METODE PENELITIAN		45
3.1	Diagram Blok Dan Flowchart	48
3.2	Rangkaian Elektrikal	60
3.3	Gambar Konsep 3D Alat	62
3.4	Teknik Fabrikasi	64
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA		94
4.1	Pengujian Sensor Ultrasonik	94
4.2	Pengujian Sistem Penimbangan 4 Load Cell	96
4.3	Pengujian Sistem Penimbangan dengan Berat Meja	99
4.4	Pengujian Finite State Machine (FSM)	104
4.5	Desain Membership Function Fuzzy dan Penyesuaian Parameter (<i>trial and Error</i>)	105
4.6	Perbandingan Output <i>fuzzy logic</i>	118
4.7	Pengujian Kesesuaian Posisi <i>lifting</i> Berdasarkan Kategori Beban .	131
4.8	Pengujian Perbandingan Metode <i>fuzzy logic</i> Dibandingkan dengan Metode <i>ON-OFF</i>	134
4.9	Pengujian Integrasi Seluruh Sistem	139
BAB V PENUTUP		143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	144
DAFTAR PUSTAKA		146
LAMPIRAN		151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of the Art	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Linear Aktuator	15
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor <i>load cell</i>	28
Tabel 2. 4 Spesifikasi Modul HX711	29
Tabel 2. 5 Konfigurasi Pin Input Load Cell pada Modul HX711	30
Tabel 2. 6 Konfigurasi Pin Catu Daya dan Komunikasi Modul HX711	31
Tabel 2. 7 Spesifikasi driver BTS7960	34
Tabel 2. 8 Konfigurasi Pin Motor Driver BTS7960 (IBT-2)	34
Tabel 2. 9 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	36
Tabel 2. 10 Spesifikasi PushButton	37
Tabel 2. 11 Spesifikasi	41
Tabel 2. 12 Spesifikasi Baterai LiFePO ₄ 12V 12Ah.....	43
Tabel 3. 1 Konfigurasi Pin pada Kontroler dan Sensor sistem lifting	61
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Sistem.....	64
Tabel 3. 3 Nilai Variabel Perhitungan pada Sistem lifting Linear Aktuator	67
Tabel 3. 4 Perhitungan daya sistem lifting	68
Tabel 3. 5 Perhitungan daya sistem navigasi	68
Tabel 3. 6 Proses FSM.....	72
Tabel 3. 7 Klasifikasi Berat dan Target Ketinggian <i>lifting</i>	79
Tabel 3. 8 Parameter <i>Membership Function</i> Variabel Berat Error! Bookmark not defined.	

Tabel 3. 9 Parameter *Membership Function* Variabel *Selisih Target*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 3. 10 Parameter *Membership Function* Variabel Output PWM..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 3. 11 *Rule Base fuzzy logic* 89

Tabel 3. 12 Hasil Kalibrasi Sensor Load Cell 92

Tabel 4. 1 Pengujian pengukuran Sensor Ultrasonik HC-SR04 95

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sistem Penimbangan 97

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sistem Penimbangan 101

Tabel 4. 4 Pengujian *Finite State Machine* (FSM) 104

Tabel 4. 5 Konfigurasi Parameter *Membership Function* pada Setiap trial..... 107

Tabel 4.6 Rekapitulasi Hasil *trial and error* Berdasarkan Osilasi MPU6050113

Tabel 4.7 Rekapitulasi Rata-rata Osilasi Keseluruhan117

Tabel 4.8 *Membership Function* Final yang Digunakan118

Tabel 4.9 Perbandingan *Output fuzzy logic*119

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kesesuaian Posisi *lifting* Berdasarkan Kategori Beban
..... 131

Tabel 4.11 Hasil Perbandingan Metode *fuzzy logic* dan *ON-OFF* 135

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Integrasi Sistem 140

Tabel 4.13 Rekapitulasi Keberhasilan Integrasi Sistem 140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Robot mobile [12].....	13
Gambar 2. 2 Linear Aktuator [14]	14
Gambar 2. 3 Finite State Machine [15].....	21
Gambar 2. 4 Load cell [15].....	28
Gambar 2. 5 Modul HX711 [20]	29
Gambar 2. 6 Driver BTS7960 [22].....	33
Gambar 2. 7 Arduino Mega 2560 [24]	35
Gambar 2. 8 Pin Out Arduino Mega 2560 [25]	36
Gambar 2. 9 PushButton [26].	37
Gambar 2. 10 LCD I2C [28].....	38
Gambar 2. 11 Sensor Ultrasonik HC-SR04	39
Gambar 2.12 Prinsip kerja HC-SR04 [28].....	40
Gambar 2. 13 Buck Converter 5V [30]	40
Gambar 2. 14 Baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) 12V 12Ah.....	42
Gambar 2. 15 Variasi <i>duty cycle</i>	44
 Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem.....	 49
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem <i>lifting</i>	54
Gambar 3. 4 Flowchart <i>Finite state machine</i>	57
Gambar 3. 5 Wiring Elektrikal	61
Gambar 3. 6 Desain 3D	62
Gambar 3. 7 Bagian-Bagian Dalam Sistem.....	63

Gambar 3. 8 Simulink FSM.....	73
Gambar 3. 9 State FSM	73
Gambar 3. 10 State idle	74
Gambar 3. 11 State pre_lift.....	74
Gambar 3. 12 State read_weight.....	75
Gambar 3. 13 State read_weight.....	75
Gambar 3. 14 State lifting.....	76
Gambar 3. 15 State hold	77
Gambar 3. 16 State lower	77
Gambar 3. 17 State return_idle.....	78
Gambar 3. 18 Membership Variabel Input Berat.....	82
Gambar 3. 19 Membership Variabel Input Selisih Target.....	84
Gambar 3. 20 Membership Variabel Output.....	86
Gambar 3. 21 Grafik Sebelum dan Sesudah diberi Fillter.....	91
Gambar 3. 22 Konfigurasi <i>4load cell</i>	92
Gambar 4. 1 Pengujian pengukuran menggunakan penggaris dengan sensor ultrasonik HC-SR04.....	94
Gambar 4. 2 Pengujian Sistem Penimbangan Menggunakan Empat Load Cell..	97
Gambar 4. 3 Pengujian Sistem Penimbangan Menggunakan Meja.....	101
Gambar 4. 4 Grafik trial and error Beban 2 kg.....	108
Gambar 4. 5 Grafik trial and error Beban 4 kg.....	109
Gambar 4. 6 Grafik trial and error Beban 6 kg.....	110
Gambar 4. 7 Grafik trial and error Beban 8 kg.....	111

Gambar 4. 8	Grafik trial and error Beban 10 kg.....	112
Gambar 4. 9	Grafik perbandingan rata-rata osilasi pada <i>state = lifting</i>	114
Gambar 4. 10	Grafik Output <i>fuzzy logic</i> Beban 2 kg.....	123
Gambar 4. 11	Grafik Output <i>fuzzy logic</i> Beban 4 kg.....	124
Gambar 4. 12	Grafik Output <i>fuzzy logic</i> Beban 6 kg.....	125
Gambar 4. 13	Grafik Output <i>fuzzy logic</i> Beban 8Kg.....	126
Gambar 4. 14	Grafik Output <i>fuzzy logic</i> Beban 10 kg.....	128
Gambar 4. 15	Grafik PWM rata rata dari Tiap <i>trial</i>	129
Gambar 4. 16	Grafik Perbandingan Selisih Target pada Setiap Beban	130
Gambar 4. 17	Grafik Perbandingan selisih target <i>fuzzy logic</i> dan <i>ON-OFF</i>	137
Gambar 4. 18	Grafik Perbandingan Standar Deviasi Getaran <i>fuzzy logic</i> dan <i>ON-OFF</i>	138
Gambar 4. 19	Grafik Perbandingan PWM <i>fuzzy logic</i> dan <i>ON-OFF</i>	138

INTISARI

RANCANG BANGUN SISTEM *LIFTING* DENGAN KONTROL FUZZY LOGIC MAMDANI PADA LINEAR ACTUATOR BERBASIS SENSOR LOAD CELL MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE (FSM) PADA ROBOT MOBILE

Zulham Amin Ristianto

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi,
Universitas Diponegoro

Sistem *lifting* pada robot *mobile* memerlukan pengendalian yang mampu menyesuaikan proses pengangkatan berdasarkan berat beban agar pergerakan *linear actuator* lebih stabil dan tepat sesuai target ketinggian. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *lifting* otomatis berbasis sensor *load cell* menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani* dan *Finite State Machine* (FSM). Sistem dibangun menggunakan Arduino Mega 2560, empat sensor *load cell* yang terhubung dengan modul HX711, sensor ultrasonik HC-SR04, *linear actuator*, dan *motor driver* BTS7960. Metode FSM digunakan untuk mengatur urutan kerja sistem, sedangkan *Fuzzy Logic Mamdani* digunakan untuk menentukan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) berdasarkan kategori berat dan selisih target *lifting*. Pengujian dilakukan pada variasi beban 2 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, dan 10 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan pembacaan berat, klasifikasi beban, penentuan target *lifting*, dan pengendalian *linear actuator* dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Selain itu, metode *Fuzzy Logic Mamdani* menghasilkan pergerakan aktuator yang lebih halus, posisi *lifting* yang lebih presisi, serta osilasi yang lebih rendah dibandingkan metode *ON-OFF*.

Kata Kunci: Sistem *lifting*, robot *mobile*, *Fuzzy Logic Mamdani*, *load cell*, *Finite State Machine* (FSM), *linear actuator*.

ABSTRACT

RANCANG BANGUN SISTEM *LIFTING* DENGAN KONTROL FUZZY LOGIC MAMDANI PADA LINEAR ACTUATOR BERBASIS SENSOR LOAD CELL MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE (FSM) PADA ROBOT MOBILE

Zulham Amin Ristianto

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi,
Universitas Diponegoro

A lifting system on a mobile robot requires a controller capable of adjusting actuator speed according to payload mass and position error to achieve stable lifting. This study developed a prototype lifting system using a 12-V linear actuator, four load cells connected to HX711 modules, an HC-SR04 ultrasonic sensor, a BTS7960 motor driver, and an ATmega2560 microcontroller. A Finite State Machine (FSM) was used to manage the operational sequence, while a Mamdani fuzzy-logic controller generated the PWM command during the lifting state based on payload mass and the difference between the actual and target positions. The payload was classified into light, medium, and heavy categories with target heights of 10 cm, 8 cm, and 6 cm, respectively. Tests were conducted using 2-, 4-, 6-, 8-, and 10-kg loads. After taring, the weighing system produced a reported mean relative error of 0.34%. The third fuzzy configuration yielded a mean oscillation value of 0.426 deg, compared with 2.38 deg for Trial 1 and 0.753° for Trial 2. Under the applied comparison settings, the fuzzy controller produced final-position deviations of 0.11-0.17 cm and vibration standard deviations of 0.72-0.94 deg, whereas the ON-OFF controller produced deviations of 0.39-1.41 cm and standard deviations of 1.25-1.62 deg. These results indicate that the third fuzzy configuration provided smoother motion and final positions closer to the targets for the five tested load conditions. Further repetitions, response-time measurements, and comparisons under equivalent operating conditions are required to strengthen the general validity of the findings.

Keywords: *Finite State Machine, linear actuator, load cell, Mamdani fuzzy logic, mobile robot, lifting system.*

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Definisi
AC	Alternating Current (Arus Bolak-balik)
ADC	Analog-to-Digital Converter
AGV	Automated Guided Vehicle
BTS7960	Driver Motor DC Arus Tinggi
CoG	Center of Gravity
DC	Direct Current (Arus Searah)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FSM	<i>Finite State Machine</i>
GPIO	General Purpose Input Output
HC-SR04	Sensor Ultrasonik HC-SR04
HX711	Modul ADC 24-bit untuk Sensor Load Cell
I ² C	Inter-Integrated Circuit
I/O	Input/Output
IP	Ingress Protection
LC	Load Cell
LCD	Liquid Crystal Display
LiFePO ₄	Lithium Iron Phosphate
MCU	Microcontroller Unit
NO	Normally Open
NC	Normally <i>closed</i>
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Revolutions Per Minute
SPS	Samples Per Second
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
VCC	Voltage Common Collector (Tegangan Catu Daya Positif)
GND	Ground

Simbol	Definisi	Satuan
m	Massa beban	kg
F	Gaya	N (Newton)
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
W	Berat benda ($W = m \cdot g$)	N
t	Waktu	s (detik)
v	Kecepatan	m/s
a	Percepatan	m/s ²
s	Perpindahan	m
P	Daya	Watt (W)
V	Tegangan	V (Volt)
I	Arus	A (Ampere)
R	Hambatan	Ω (Ohm)
τ	Torsi	N·m
η	Efisiensi	%
E	Energi	Joule (J)
Ek	Energi kinetik	Joule (J)
Ep	Energi potensial	Joule (J)
Fc	Gaya angkat aktuator	N
x	Perpindahan aktuator	cm / mm
T	Periode	s
f	Frekuensi	Hz
Δt	Perubahan waktu	s
Δx	Perubahan posisi	m
ΣF	Resultan gaya	N
LC	Output sensor <i>load cell</i>	mV/V
ADC	Nilai pembacaan ADC	-