

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK PENGATURAN DURASI PEMBERIAN NUTRISI DAN SISTEM THRESHOLD UNTUK PENYIRAMAN AIR PADA IRIGASI TETES DI DESA KALISIDI SEMARANG

Diajukan oleh:

Azkha Dzaky Maulana

40040322650005

Telah disetujui dan diterima dengan baik oleh:

Dosen Pembimbing,



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

NIP.199504152022041001

Semarang, 28 Agustus 2026

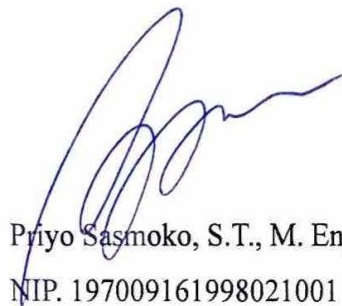
Mengetahui,

Ketua,

Program Studi S.Tr.T Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, S.T., M. Eng.
NIP. 197009161998021001

Semarang, 28 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR
IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK PENGATURAN DURASI
PEMBERIAN NUTRISI DAN SISTEM THRESHOLD UNTUK PENYIRAMAN
AIR PADA IRIGASI TETES DI DESA KALISIDI SEMARANG

Disusun oleh:

Azkha Dzaky Maulana

40040322650005

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada tanggal

28 Agustus 2026

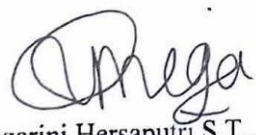
Tim Penguji,

Dosen Pembimbing,


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

NIP. 199504152022041001

Penguji 1,


Megarini Hersaputri S.T., M.T.

NIP. 198902142020122012

Penguji 2,


Ari Bawono Puranto S.Si., M.Si.

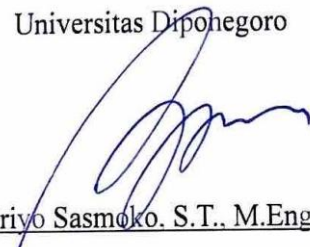
NIP. 198501252019031007

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko. S.T., M.Eng.

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Azkha Dzaky Maulana
NIM : 40040322650005
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK
PENGATURAN DURASI PEMBERIAN NUTRISI
DAN SISTEM THRESHOLD UNTUK PENYIRAMAN
AIR PADA IRIGASI TETES DI DESA KALISIDI
SEMARANG

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah dikirimkan untuk memperoleh gelar 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 di kemudian hari terbukti melakukan plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 28 Agustus 2026

Yang membubuat pernyataan,



Azkha Dzaky Maulana

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK PENGATURAN DURASI PEMBERIAN NUTRISI DAN SISTEM THRESHOLD UNTUK PENYIRAMAN AIR PADA IRIGASI TETES DI DESA KALISIDI SEMARANG” tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis diberikan kekuatan serta kemudahan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Ibuku terkasih, yang tak pernah lelah mengiringi setiap langkah dengan doa yang tulus, kasih sayang yang tak terbatas, serta pengorbanan yang tak terhitung nilainya. Terima kasih atas setiap dukungan, nasihat, dan ketulusan yang senantiasa menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng selaku ketua program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Universitas Diponegoro.
4. Bapak Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan menasihati penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Aidi Sulthan Nazira, yang telah menjadi rekan untuk berproses bersama dari penyusunan hingga pelaksanaan Tugas Akhir. Terima kasih atas kerja sama, dukungan, tenaga, dan waktu dalam menghadapi tantangan selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Talitha Fara Azzahra, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan perhatian selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita dan selalu menemani setiap proses yang dilalui.
7. Teman-teman dekat penulis, Sahardian Putra, Andhika Priyadi, Yogafathan Jagadraya, Haryo Suryo, Kayla Harvani, Shollahudin Al-Ayubi, Audrey Yeza,

Reina Widia, Syahla Aniza, dan Nafala Ighfirani, yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, ruang belajar dan semangat selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

8. Kawan-kawan “Metal”, yang telah menemani perjalanan penulis selama masa perkuliahan serta memberikan kebersamaan dan cerita yang berkesan.
9. SATNAYAKA, selaku teman teman angkatan 2022 Teknologi Rekayasa Otomasi yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik selama masa perkuliahan. Berbagai bentuk dukungan, kerja sama, serta semangat kebersamaan yang terjalin telah memberikan pengalaman dan pembelajaran yang berharga bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Semarang, 28 Agustus 2026

Penulis,



Azkha Dzaky Maulana

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIRError! Bookmark not defined.

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Tugas Akhir	5
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Irigasi	10
2.3 Fertigasi	11
2.4 Sensor NPK.....	12
2.5 Sensor Kelembapan Tanah.....	13
2.6 Mikrokontroler ESP32 WROOM S3	14
2.7 <i>Power Supply</i> 24 VDC.....	16

2.8 LCD I2C	17
2.9 Relay 5V	19
2.10 Pompa Booster Shimizu PB-228 bit	19
2.11 <i>Solenoid Valve</i>	21
2.12 <i>Check valve</i>	24
2.13 <i>Step Down</i> LM2596	24
2.14 PCJ <i>Dripper</i>	25
2.15 Protokol Komunikasi	27
2.15.1 UART (<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>).....	27
2.15.2 I2C (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)	28
2.15.3 Modbus RTU (<i>Remote Terminal Unit</i>).....	29
2.15.4 HTTP (<i>Hypertext Transfer Protocol</i>)	30
2.16 <i>Buck Converter</i> XL4016.....	31
2.17 Fuzzy Logic	33
2.17.1 Fuzzifikasi	34
2.17.2 <i>Rulebase</i>	35
2.17.3 Penalaran (<i>inference</i>).....	36
2.17.4 Defuzzifikasi	37
2.18 <i>Finite State Machine</i>	38
2.19 Google Apps Script.....	39
2.20 Debit Aliran dan Fluida.....	40
2.21 MAX485	42
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
3.1 Blok Diagram.....	44
3.2 Gambar 3D.....	47
3.3 Spesifikasi dan Fitur	50
3.4 Lokasi Penelitian.....	52

3.5 Teknik fabrikasi sistem	53
3.5.1 Perhitungan komponen elektrikal	53
3.5.2 Wiring elektrik sistem	57
3.5.3 Perancangan perangkat lunak.....	59
3.6 Perancangan Logika Fuzzy	67
3.6.1 Perancangan Variabel <i>Error</i>	68
3.6.2 Perancangan Variabel <i>Delta Error</i>	69
3.6.3 Perancangan <i>Rulebase</i>	71
3.6.4 Perancangan Variabel Output	72
BAB IV PEMBAHASAN	74
4.1 Pengujian Catu Daya	74
4.2 Pengujian <i>soil moisture sensor</i>	77
4.2.1 Pengujian respons sensor <i>soil moisture</i>	78
4.2.2 Kalibrasi Sensor Menggunakan <i>Piecewise Interpolation</i>	80
4.2.3 Pengujian Hasil Kalibrasi Sensor <i>Soil Moisture</i>	83
4.3 Pengujian Sensor NPK.....	86
4.3.1 Pengujian Awal Sensor NPK.....	86
4.3.2 Kalibrasi Sensor NPK	88
4.3.3 Hasil Kalibrasi Sensor NPK.....	90
4.4 Pengujian <i>Finite State Machine</i>	93
4.5 Pengujian Fuzzy Logic	95
4.5.1 Parameter Logika Fuzzy	96
4.5.2 Pengujian <i>Output Fuzzy logic</i>	97
4.5.3 Pengujian Respons Kendali Fuzzy terhadap Setpoint Nitrogen	99
4.6 Pengujian Kendali <i>Threshold Soil Moisture</i>	106
4.7 Pengujian Monitoring	107
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	111
5.1 Kesimpulan	111

5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA.....	115
LAMPIRAN.....	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tinjauan Pustaka	8
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor NPK	13
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Kelembapan Tanah.....	14
Tabel 2. 4 Spesifikasi ESP32 WROOM S3.....	15
Tabel 2. 5 Spesifikasi dari catu daya 24V	17
Tabel 2. 6 Spesifikasi LCD I2C	18
Tabel 2. 7 spesifikasi pompa	21
Tabel 2. 8 Spesifikasi Solenoid Valve	23
Tabel 2. 9 Spesifikasi Step Down LM2596	25
Tabel 2. 10 Spesifikasi PCJ Dripper	27
Tabel 2. 11 Spesifikasi XL4016	32
Tabel 2. 12 Spesifikasi Modul MAX485	43
Tabel 3. 1 Kebutuhan daya komponen.....	54
Tabel 3. 2 Konfigurasi pin.....	58
Tabel 3. 3 Himpunan fuzzy variabel input nitrogen.....	68
Tabel 3. 4 Himpunan fuzzy variabel delta error.....	70
Tabel 3. 5 Rulebase logika fuzzy	71
Tabel 3. 6 Himpunan Variabel Output logika fuzzy.....	72
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Sensor Soil Moisture	78
Tabel 4. 2 pemetaan GWC berdasarkan kelembapan sistem	82
Tabel 4. 3 hasil pengujian kalibrasi sensor <i>soil moisture</i>	83
Tabel 4. 4 pembacaan mentah NPK dengan sensor pembanding.....	86
Tabel 4. 5 hasil regresi tahap pertama	88
Tabel 4. 6 hasil pembacaan regresi 1	89
Tabel 4. 7 hasil regresi tahap kedua	90
Tabel 4. 8 parameter hasil akhir kalibrasi	90
Tabel 4. 9 Hasil pengujian sensor NPK	91
Tabel 4. 10 Pengujian Finite State Machine.....	94
Tabel 4. 11 Parameter Logika Fuzzy.....	96
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Output Fuzzy Logic	97

Tabel 4. 13 pengujian kendali fuzzy pada titik 1	99
Tabel 4. 14 pengujian kendali fuzzy pada titik 2.	101
Tabel 4. 15 pengujian kendali fuzzy pada titik 3	103
Tabel 4. 16 Perbandingan Hasil Pengujian Kendali Fuzzy pada Tiga Titik.....	104
Tabel 4. 17 hasil pengujian kendali <i>threshold soil moisture</i>	107
Tabel 4. 18 Hasil Logging data sistem	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor NPK [17]	13
Gambar 2. 2 soil moisture sensor [19]	14
Gambar 2. 3 Skematik pin ESP32 WROOM S3 [20]	15
Gambar 2. 4 Power Supply 24V [19].....	16
Gambar 2. 5 LCD I2C [22]	18
Gambar 2. 6 Relay 5V [23]	19
Gambar 2. 7 Pompa Shimizu PB 228 BIT [24]	20
Gambar 2. 8 Solenoid Valve [24]	22
Gambar 2. 9 Check Valve [25]	24
Gambar 2. 10 Step Down LM2596 [19]	25
Gambar 2. 11 PCJ Dripper [27]	26
Gambar 2. 12 Komunikasi UART [20]	28
Gambar 2. 13 Komunikasi I2C [20].....	29
Gambar 2. 14 XL4016.....	31
Gambar 2. 15 Blok Diagram Fuzzy Logic	33
Gambar 2. 16 Komunikasi ESP dengan GAS	40
Gambar 2. 17 modul MAX485 [20].....	43
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	44
Gambar 3. 2 3D komponen sistem.....	48
Gambar 3. 3 Sistem Distribusi Smart Fertigation	49
Gambar 3. 4 kondisi lahan dan jaringan irigasi pada lokasi penelitian.....	52
Gambar 3. 5 (a) Schematic sistem, (b) Schematic PCB.....	57
Gambar 3. 6 Alur Keseluruhan Sistem.....	59
Gambar 3. 7 Flowchart fuzzy logic.....	61
Gambar 3. 8 Alur sistem fertigasi	64
Gambar 3. 9 flowchart finite state machine	66
Gambar 3. 10 Fungsi Keanggotaan Error	69
Gambar 3. 11 fungsi keanggotaan delta error	70
Gambar 4. 1 (a) Input power supply (b) Output power supply	75
Gambar 4. 2 (a) Input Buck 12v (b) Output Buck 12v	75

Gambar 4. 3(a) Input Buck 5v (b) Output Buck 5v	76
Gambar 4. 4 (a) Input Buck 3,3v (b) Output Buck 3,3v	76
Gambar 4. 5 Grafik Pembacaan nilai ADC sensor soil moisture	79
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Nilai Acuan Sistem dan Rata-Rata Nilai Sensor Soil Moisture	84
Gambar 4. 7 Grafik pembacaan data mentah sensor (a) RS485 NPK (b) Type-c sensor NPK	87
Gambar 4. 8 grafik regresi tahap kedua sensor NPK (a) Nitroge, (b) Phospor, (c) Kalium.....	89
Gambar 4. 9 Hasil pengujian pembacaan sensor NPK setelah kalibrasi (a) nitroge, (b) phosphor (c) kalium.....	92
Gambar 4. 10 (a) Grafik perubahan nitrogen terhadap waktu pada titik 1; (b) Dokumentasi posisi sensor NPK pada titik 1.....	100
Gambar 4. 11 (a) Grafik perubahan nitrogen terhadap waktu pada titik 2; (b) Dokumentasi posisi sensor NPK pada titik 2.....	102
Gambar 4. 12 (a) Grafik perubahan nitrogen terhadap waktu pada titik 3; (b) Dokumentasi posisi sensor NPK pada titik 3.....	104
Gambar 4. 13 Tampilan Dashboard.....	109

ABSTRAK

IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK PENGATURAN DURASI PEMBERIAN NUTRISI DAN SISTEM THRESHOLD UNTUK PENYIRAMAN AIR PADA IRIGASI TETES DI DESA KALISIDI SEMARANG

Azkha Dzaky Maulana

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Pengembangan sistem *smart fertigation* berbasis ESP32-S3 yang bertujuan untuk mengendalikan pemberian air dan nutrisi secara otomatis berdasarkan kondisi tanah. Sistem menggunakan sensor NPK untuk membaca kandungan nitrogen dan *soil moisture sensor* untuk membaca kelembapan tanah. Pemberian nutrisi dikendalikan menggunakan metode *Fuzzy Logic* Mamdani dengan masukan *error* dan *delta error* nitrogen, sedangkan penyiraman menggunakan metode *threshold* dengan batas kelembapan 60%. Hasil pengujian menunjukkan sensor *soil moisture* setelah kalibrasi memiliki nilai R^2 sebesar 0,9776, sedangkan pembacaan nitrogen sensor NPK setelah kalibrasi memiliki nilai R^2 sebesar 0,9143 terhadap sensor pembanding. Pengujian Finite State Machine menunjukkan seluruh perpindahan *state* berjalan sesuai kondisi yang dirancang. Kendali *Fuzzy Logic* menghasilkan durasi pemberian nutrisi secara adaptif sebesar 1-10 menit. Pada pengujian dengan setpoint nitrogen 120 mg/kg, nilai akhir terbaik mencapai 125 mg/kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pembacaan kondisi tanah, menentukan keputusan kendali, serta mengoperasikan aktuator untuk pemberian air dan nutrisi secara otomatis.

Kata kunci: *Smart Fertigation, Fuzzy Logic, Sensor NPK, Soil Moisture, Pressure Compensating Dripper.*

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC FOR NUTRIENT APPLICATION DURATION CONTROL AND A THRESHOLD BASED SYSTEM FOR WATERING IN DRIP IRRIGATION IN KALISIDI VILLAGE, SEMARANG

Azkha Dzaky Maulana

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

The development of an ESP32-S3-based smart fertigation system is aimed at automatically controlling water and nutrient application based on soil conditions. The system uses an NPK sensor to measure nitrogen content and a soil moisture sensor to measure soil moisture. Nutrient application is controlled using the Mamdani Fuzzy Logic method with nitrogen error and delta error as inputs, while irrigation is controlled using a threshold method with a soil moisture threshold of 60%. The test results show that the calibrated soil moisture sensor achieved an R^2 value of 0.9776, while the calibrated nitrogen reading of the NPK sensor achieved an R^2 value of 0.9143 compared with the reference sensor. Finite State Machine testing showed that all state transitions operated according to the designed conditions. The Fuzzy Logic controller produced an adaptive nutrient application duration ranging from 1 to 10 minutes. In testing with a nitrogen setpoint of 120 mg/kg, the best final nitrogen value reached 125 mg/kg. These results demonstrate that the system is capable of reading soil conditions, determining control decisions, and operating actuators for automatic water and nutrient application.

Keywords: Smart Fertigation, Fuzzy Logic, NPK sensor, Soil Moisture, Pressure compensating dripper.

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
ADC	Analog-to-Digital Converter
BLE	Bluetooth Low Energy
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Current
FSM	Finite State Machine
GAS	Google Apps Script
GPIO	General Purpose Input/Output
GWC	Gravimetric Water Content
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
LCD	Liquid Crystal Display
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
NPK	Nitrogen, Phosphorus, Potassium
OCP	Overcurrent Protection
OTP	Over Temperature Protection
OVP	Overvoltage Protection
PCJ	Pressure Compensating Dripper
PWM	Pulse Width Modulation
ROM	Read-Only Memory
RS485	Recommended Standard 485
RTU	Remote Terminal Unit

Singkatan	Kepanjangan
SCP	Short Circuit Protection
SPI	Serial Peripheral Interface
SSR	Solid State Relay
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB OTG	Universal Serial Bus On-The-Go
VAC	Volt Alternating Current
VDC	Volt Direct Current

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Definisi	Satuan
N	Nilai kandungan nitrogen tanah	mg/kg
SP	Nilai setpoint nitrogen	mg/kg
e	Error nitrogen terhadap setpoint	mg/kg
Δe	Delta error nitrogen	mg/kg
x	Nilai masukan fungsi keanggotaan	sesuai variabel
$\mu_A(x)$	Derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy A	—
α_i	Firing strength rule ke-i	—
$\mu_i(x)$	Derajat keanggotaan masukan pada rule ke-i	—
$\mu_{\text{output-i}}(z)$	Derajat keanggotaan keluaran rule ke-i	—
$\mu_{\text{agregasi}}(z)$	Derajat keanggotaan hasil agregasi	—
z	Nilai pada domain variabel output fuzzy	menit
z^*	Keluaran crisp hasil defuzzifikasi	menit
i	Indeks rule fuzzy	—
Q _{total}	Debit total keluaran seluruh PCJ	L/jam
N	Jumlah PCJ	unit
Q _{PCJ}	Debit keluaran masing-masing PCJ	L/jam
Q	Debit aliran fluida	L/s
V	Volume fluida	L
t	Waktu atau durasi aliran	s
P	Daya listrik	W
V	Tegangan listrik	V
I	Arus listrik	A
f	Frekuensi	Hz
R ²	Koefisien determinasi	—

Simbol	Definisi	Satuan
RMSE	Root Mean Square Error	sesuai variabel
MAPE	Mean Absolute Percentage Error	%
ppm	Parts per million	ppm
°C	Temperatur	°C

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Desa Kalisidi merupakan salah satu desa di Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, yang berada di kawasan lereng Gunung Ungaran dan memiliki karakteristik wilayah dataran tinggi. Dengan luas wilayah sekitar 682 hektar dan aktivitas pertanian yang berkembang, wilayah ini mendukung budidaya tanaman hortikultura yang membutuhkan pengelolaan air dan nutrisi secara tepat [1]. Namun, berdasarkan observasi pada lokasi penelitian, penyiraman masih dilakukan secara manual dengan durasi berdasarkan pengalaman petani, sedangkan pemupukan dilakukan secara berkala tanpa mempertimbangkan kondisi hara tanah secara aktual. Kondisi tersebut menyebabkan pemberian air dan nutrisi belum sepenuhnya menyesuaikan perubahan kondisi tanah selama budidaya.

Salah satu unsur hara penting bagi pertumbuhan tanaman adalah nitrogen (N) yang berperan dalam proses fisiologis dan pembentukan biomassa. Namun, nitrogen yang diberikan melalui pemupukan tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan tanaman. Secara global, sekitar 50% nitrogen yang diaplikasikan dapat dimanfaatkan tanaman, sedangkan sisanya berpotensi hilang melalui volatilisasi, *leaching*, *runoff*, dan denitrifikasi [2]. Oleh karena itu, pemberian nitrogen perlu disesuaikan dengan kondisi hara tanah dan kebutuhan tanaman. Pengelolaan air dan nitrogen yang tepat juga berperan dalam mendukung perkembangan akar, hasil tanaman, dan efisiensi penggunaan air pada sistem irigasi tetes [3].

Permasalahan tersebut mendorong penerapan teknologi *precision agriculture* yang memanfaatkan kondisi lahan sebagai dasar pengambilan keputusan [4]. Salah satu penerapannya adalah *smart fertigation*, yaitu integrasi pemberian air dan nutrisi melalui irigasi yang didukung sensor dan sistem kendali. Sensor kelembapan tanah dapat digunakan untuk mengetahui kondisi air pada daerah perakaran [5], sedangkan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan data kondisi lahan dipantau dan digunakan sebagai dasar pengendalian secara lebih terukur [6]. Penerapan *smart irrigation* juga berpotensi meningkatkan ketepatan dan efisiensi pemberian air sesuai kebutuhan tanaman [7].

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem fertigasi berbasis irigasi tetes dan kendali otomatis. Susila et al. menunjukkan bahwa penerapan fertigasi melalui irigasi tetes dapat meningkatkan hasil tanaman hortikultura dibandingkan pemupukan konvensional [8]. Odone et al. mengembangkan sistem *smart fertigation* yang menentukan pemberian nutrisi berdasarkan kandungan N, P, K dan volume air yang diberikan [9]. Lindawati et al. mengintegrasikan ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor nutrisi, sensor lingkungan, serta *Fuzzy Logic* untuk pengendalian dan monitoring fertigasi berbasis IoT [10]. Sementara itu, Ismail et al. menerapkan sensor NPK berbasis RS485, sensor kelembapan tanah, ESP32, dan *Fuzzy Logic Mamdani* untuk pengendalian fertigasi secara adaptif [11].

Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan perkembangan fertigasi dari metode konvensional menuju sistem berbasis sensor dan kendali otomatis. Namun, terdapat perbedaan pada objek dan pendekatan penelitian yang dikembangkan. Penelitian ini berfokus pada penerapan *smart fertigation* pada lahan tanah menggunakan jaringan irigasi tetes dengan *Pressure Compensating Dripper* (PCJ), dengan nitrogen sebagai parameter utama pengendalian nutrisi dan kelembapan tanah sebagai dasar pengendalian penyiraman.

Penelitian ini juga merupakan bagian dari pengembangan sistem yang terintegrasi dengan penelitian saudara Aidi Sulthan Nazira berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Konsentrasi Nutrisi pada Mixing Tank Fertigasi Berbasis ESP32 untuk Pertanian Desa Kalisidi Semarang.” Penelitian Aidi berfokus pada proses pencampuran dan pengendalian konsentrasi larutan nutrisi pada *mixing tank*, sedangkan penelitian ini berfokus pada distribusi air dan larutan nutrisi dari *mixing tank* menuju lahan melalui jaringan irigasi tetes menggunakan PCJ. Pada sistem yang dikembangkan, sensor NPK digunakan untuk memperoleh kondisi nitrogen tanah dan sensor kelembapan digunakan untuk mengetahui kondisi air tanah. Metode *Fuzzy Logic* digunakan untuk menentukan durasi pemberian nutrisi berdasarkan kondisi nitrogen, sedangkan penyiraman dikendalikan menggunakan metode *threshold* berdasarkan kelembapan tanah. Setelah pemberian nutrisi, sistem melakukan pembacaan kembali untuk mengetahui perubahan kondisi nitrogen. Seluruh proses pembacaan sensor, pengendalian aktuator, distribusi air

dan nutrisi, serta monitoring dilakukan secara terintegrasi. Dengan demikian, integrasi kedua penelitian mencakup proses mulai dari penyiapan larutan nutrisi pada *mixing tank* hingga distribusi dan pengendalian pemberiannya pada lahan pertanian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana menerapkan metode *Fuzzy Logic* untuk menentukan durasi pemberian nutrisi berdasarkan nilai kandungan nitrogen yang diperoleh dari sensor NPK?
2. Bagaimana mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengambilan keputusan, pemberian nutrisi, penyiraman, serta *monitoring* berbasis web dalam satu sistem?
3. Bagaimana respons sistem *fertigation* terhadap perubahan nilai kandungan nitrogen tanah setelah pemberian nutrisi berdasarkan kendali *Fuzzy Logic*?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menerapkan metode *Fuzzy Logic* untuk menentukan durasi pemberian nutrisi berdasarkan nilai kandungan nitrogen yang diperoleh dari sensor NPK.
2. Mengembangkan sistem *fertigation* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengambilan keputusan, pemberian nutrisi, penyiraman, serta *monitoring* berbasis web dalam satu sistem.
3. Menganalisis respons sistem *fertigation* terhadap perubahan nilai kandungan nitrogen tanah setelah pemberian nutrisi berdasarkan kendali *Fuzzy Logic*.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah menghasilkan sistem *smart fertigation* berbasis ESP32 yang mampu melakukan pembacaan kondisi kelembapan tanah dan kandungan nitrogen secara *real-time* sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pemberian air dan nutrisi, menerapkan

metode *Fuzzy Logic* untuk menentukan durasi pemberian nutrisi berdasarkan kondisi nitrogen tanah terhadap *setpoint*, menerapkan pengendalian penyiraman berbasis *threshold* berdasarkan nilai kelembapan tanah, serta menyediakan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memudahkan pengguna dalam memantau kondisi kelembapan tanah, kandungan nitrogen, serta status proses penyiraman dan pemberian nutrisi secara berkala. Selain itu, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan *smart fertigation* berbasis sensor yang mengintegrasikan proses pembacaan kondisi tanah, pengambilan keputusan, pengendalian aktuator, dan *monitoring* dalam satu sistem.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah ditetapkan pada pembuatan tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Parameter kondisi tanah yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada kelembapan tanah dan kandungan Nitrogen sebagai parameter pengendali utama.
2. Sistem hanya menggunakan satu sensor NPK untuk mewakili keseluruhan lahan.
3. Sistem berfokus hanya pada *monitoring* dan kontrol nutrisi dan air pada tanah tanpa mencakup sistem *supply* irigasi.
4. Konsentrasi pupuk yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan pada 500 ppm
5. Media tanam yang digunakan berupa tanah berpasir dan diperuntukkan bagi budidaya tanaman hortikultura.
6. Sistem menggunakan satu jaringan perpipaan irigasi tetes dengan *Pressure Compensating Dripper* (PCJ) sebagai jalur distribusi air dan nutrisi yang sama ke seluruh petak tanam tanpa menggunakan *valve* pengaturan secara individual pada masing-masing petak.
7. Penyiraman dilakukan berdasarkan nilai kelembapan tanah menggunakan metode *threshold* dengan nilai *setpoint* yang telah ditentukan.
8. Pemasangan *Pressure Compensating Dripper* (PCJ) pada jaringan irigasi dengan konfigurasi horizontal.

9. Penelitian berfokus pada implementasi dan pengujian sistem dalam mengendalikan pemberian nutrisi dan penyiraman berdasarkan kondisi tanah, serta tidak membahas pengaruh sistem terhadap produktivitas atau hasil panen tanaman.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Kerangka penulisan penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dengan membuat ringkasan susunan kerangka dari penelitian Tugas Akhir ini. Berikut adalah 5 bab dari kerangka penulisan penelitian:

1. **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metode penelitian, serta kerangka penulisan penelitian.

2. **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi tentang teori-teori yang akan digunakan sebagai dasar pembelajaran berdasarkan penelitian sebelumnya terkait dengan sistem dan alat-alat sebagai landasan teori yang mendukung penelitian ini.

3. **BAB III ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini akan memberikan pembahasan mengenai kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan serta rancangan alur kerja guna mengimplementasikan pada bab selanjutnya.

4. **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang proses pengerjaan dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, pembahasan tersebut berupa data yang diperoleh dari sistem yang telah di implementasikan sesuai dengan alur kerja pada bab sebelumnya.

5. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat melalui implementasi sistem dan saran untuk pengembangan selanjutnya apabila terdapat hal yang belum terpikirkan oleh penulis.