



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS IOT
PADA HIDROPONIK NFT UNTUK TANAMAN SELADA
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI TIPE-2**

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

**UNIVERSITAS
MUHAMMAD RAFLI
41422010026
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS IOT
PADA HIDROPONIK NFT UNTUK TANAMAN SELADA
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI TIPE-2**

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

MUHAMMAD RAFLI
41422010026

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rafli
NIM : 41422010026
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:
“Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis IoT pada Hidroponik NFT untuk Tanaman Selada Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani Tipe-2”
adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apa pun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak mana pun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 4 Agustus 2026

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



METERAI
TEMPEL
FCE36AOX119460387

Muhammad Rafli

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

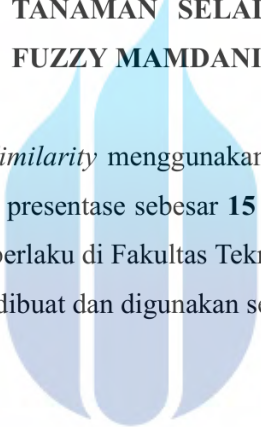
Nama : **Muhammad Rafli**
NIM : **41422010026**
Program Studi : **Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS IOT PADA HIDROPONIK NFT UNTUK TANAMAN SELADA MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI TIPE-2**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Rabu, 12 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar **15 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 12 Agustus 2026

Administrator Turnitin,


UNIVERSITAS
MERCU BUANA



Itmam Haidi Syarif

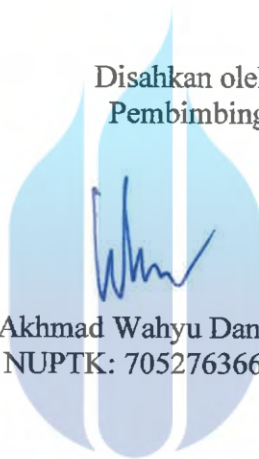
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rafli
NIM : 41422010026
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis IoT
pada Hidroponik NFT untuk Tanaman Selada
Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani Tipe-2

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 4 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:
Pembimbing



(Ir. Akhmad Wahyu Dani, S.T., M.T.)
NUPTK: 7052763664130323

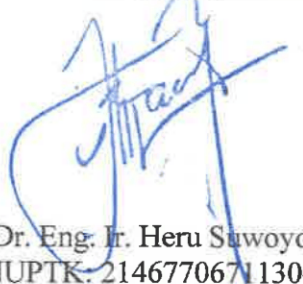
Jakarta, 4 Agustus 2026
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)
NUPTK: 6639750651230132

Ketua Program Studi
S1 Teknik Elektro



(Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc.)
NUPTK: 2146770671130403

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis IoT pada Hidroponik NFT untuk Tanaman Selada Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani Tipe-2” dengan baik.

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Penulis menyadari bahwa penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, doa, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas selama penulis menempuh pendidikan.
3. Bapak Ir. Akhmad Wahyu Dani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan serta bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Yanti Yulianti, ibunda tercinta, terima kasih atas doa yang tidak pernah terputus, kasih sayang, dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis. Setiap langkah yang penulis jalani tidak terlepas dari doa dan keyakinan beliau.
5. Alm. Sanusi, ayahanda tercinta, yang telah menjadi bagian besar dalam perjalanan hidup penulis. Walaupun beliau telah berpulang, perjuangan, nilai kehidupan, dan kasih sayangnya selalu menjadi kekuatan yang menyertai setiap langkah penulis. Pencapaian ini merupakan bentuk penghormatan atas segala pengorbanan yang telah beliau berikan.
6. Devina Arinda, terima kasih atas kasih sayang, doa, dan dukungan yang selalu diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Kehadiran dan perhatian yang diberikan menjadi salah satu kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan perjalanan ini.
7. Kakak Shintia Islamiati serta adik-adik tercinta Shindy Harumitasya, Silvia Hajariani, dan Muhammad Rasyiq, kehadiran kalian menjadi motivasi bagi penulis untuk terus memberikan yang terbaik.
8. Cristiano Ronaldo, yang sejak tahun 2009 telah menjadi inspirasi bagi penulis melalui kerja keras, disiplin, konsistensi, dan semangat pantang menyerah. Nilai perjuangan tersebut menjadi pengingat bagi penulis untuk terus berusaha hingga mencapai tujuan.
9. Real Madrid Club de Fútbol, yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis selama bertahun-tahun. Semangat “*Hasta el final*” yang

berarti “hingga akhir” selalu mengajarkan penulis untuk tetap berjuang sampai garis akhir.

10. Betrik Sesyanto Hadi Wibowo, sahabat yang hadir dalam waktu yang singkat namun memberikan arti yang besar. Terima kasih atas dukungan, doa, dan kebersamaan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang elektro dan pertanian.

Jakarta, 4 Agustus 2026

Hormat penulis,



Muhammad Rafli



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

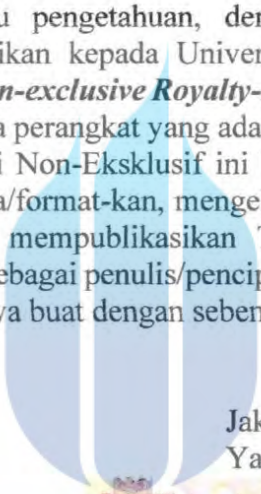
Nama : Muhammad Rafli
NIM : 41422010026
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis IoT pada Hidroponik NFT untuk Tanaman Selada Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani Tipe-2

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 4 Agustus 2026

Yang menyatakan,



Muhammad Rafli

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS IOT PADA
HIDROPONIK NFT UNTUK TANAMAN SELADA MENGGUNAKAN
LOGIKA FUZZY MAMDANI TIPE-2
MUHAMMAD RAFLI**

ABSTRAK

Keterbatasan lahan pertanian dan kebutuhan pengelolaan nutrisi yang presisi mendorong pengembangan hidroponik dengan pemantauan dan koreksi otomatis. Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol *Nutrient Film Technique* (NFT) berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman selada dengan ESP32 sebagai pusat pemrosesan. Kebaruan integratif penelitian terletak pada penerapan logika *fuzzy* Mamdani tipe-2 interval dengan *input* pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan suhu larutan untuk menghasilkan empat *output* durasi aktivasi Pompa Nutrisi AB Mix A, AB Mix B, pH Up, dan pH Down. pH dan TDS dikendalikan, sedangkan suhu menjadi *input* pendukung. Implementasi *fuzzy* pada ESP32 divalidasi secara numerik terhadap MATLAB; Node-RED digunakan untuk pemantauan dan Firebase Realtime Database untuk penyimpanan data.

Evaluasi meliputi pengujian sensor, respons aktuator, validasi numerik *output fuzzy*, kestabilan fungsional sistem kontrol selama 60 menit, interval pembaruan data, dan pengamatan pertumbuhan awal. Validasi mencakup 27 kombinasi kondisi *input* dengan empat *output* pada setiap kombinasi sehingga diperoleh 108 data *output*. Sebanyak 16 tanaman diamati, terdiri atas delapan tanaman dengan kontrol *fuzzy* dan delapan tanaman tanpa kontrol *fuzzy*.

Hasil pengujian menunjukkan akurasi sensor pH 97,16% dan TDS 99,76%, sedangkan DS18B20 memiliki tingkat kesesuaian 98,62% terhadap alat referensi. Seluruh 108 *output fuzzy* menunjukkan kesesuaian numerik 100% antara ESP32 dan MATLAB dengan rata-rata selisih 0 detik. Pada pengujian kestabilan fungsional sistem, pH berubah dari 7,86 menjadi 6,21 terhadap acuan 6,2, sedangkan TDS meningkat dari 176,73 ppm menjadi 755,73 ppm terhadap acuan 750 ppm. Data tercatat dengan interval pembaruan rata-rata 2 detik. Kelompok kontrol *fuzzy* memiliki rata-rata tinggi 5,875 cm dan lebar daun 2,7625 cm, sedangkan kelompok tanpa kontrol *fuzzy* masing-masing 2,000 cm dan 1,5375 cm. Hasil tersebut menunjukkan sistem mampu mengoreksi pH dan TDS sesuai rancangan, mempertahankan konsistensi implementasi *fuzzy* pada ESP32, serta menunjukkan nilai tinggi dan lebar daun yang lebih besar secara deskriptif pada kelompok kontrol *fuzzy* tanpa menyatakan hubungan sebab-akibat.

Kata Kunci: Hidroponik NFT, *Internet of Things*, *Fuzzy Mamdani Tipe-2*, Kontrol pH dan TDS, Tanaman Selada

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED CONTROL SYSTEM
FOR NUTRIENT FILM TECHNIQUE HYDROPONICS IN LETTUCE
CULTIVATION USING TYPE-2 MAMDANI FUZZY LOGIC
MUHAMMAD RAFLI**

ABSTRACT

Limited agricultural land and the need for precise nutrient management have encouraged hydroponic systems with automated monitoring and correction. This study develops an Internet of Things (IoT)-based Nutrient Film Technique (NFT) control system for lettuce using ESP32 as the processing unit. Its integrative novelty lies in applying interval type-2 Mamdani fuzzy logic with pH, Total Dissolved Solids (TDS), and solution temperature as inputs to generate four pump activation-duration outputs: AB Mix Nutrient A, AB Mix Nutrient B, pH Up, and pH Down. pH and TDS are controlled, while temperature serves as a supporting input. The fuzzy implementation on ESP32 was numerically validated against MATLAB; Node-RED was used for monitoring and Firebase Realtime Database for storage.

Evaluation included sensor testing, actuator response, numerical validation of fuzzy outputs, a 60-minute functional stability test, data update intervals, and plant growth observations. Validation covered 27 input-condition combinations with four outputs each, producing 108 output data points. Sixteen plants were observed: eight with fuzzy control and eight without.

The results showed pH and TDS sensor accuracies of 97.16% and 99.76%, while the DS18B20 achieved 98.62% agreement with the reference instrument. All 108 fuzzy outputs showed 100% numerical agreement between ESP32 and MATLAB with an average difference of 0 seconds. During functional stability testing, pH changed from 7.86 to 6.21 against a 6.2 reference, while TDS increased from 176.73 ppm to 755.73 ppm against a 750 ppm reference. Data were recorded at an average update interval of 2 seconds. The fuzzy-control group had an average plant height of 5.875 cm and leaf width of 2.7625 cm, compared with 2.000 cm and 1.5375 cm without fuzzy control. The system performed pH and TDS correction as designed, maintained fuzzy implementation consistency on ESP32, and descriptively showed greater plant height and leaf width under fuzzy control without implying causality.

Keywords: *NFT Hydroponics, Internet of Things, Type-2 Mamdani Fuzzy Logic, pH and TDS Control, Lettuce Cultivation*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i>	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Hidroponik Nutrient Film Technique	11
2.3 <i>Internet of Things</i> (IoT) dalam Sistem Hidroponik Cerdas	13
2.4 ESP32	14
2.5 DFRobot TDS Sensor	14
2.6 Sensor pH	16
2.7 Sensor DS18B20	17
2.8 Relay	19
2.9 Pompa 12 V	19
2.10 Adaptor 12 V	20
2.11 Sayuran Selada	21
2.12 Node-RED	22
2.13 Firebase Realtime Database	23
2.14 Logika <i>Fuzzy</i> Tipe-2	24
2.14.1 Perbedaan Logika <i>Fuzzy</i> Tipe-1 dan Tipe-2	25
2.14.2 Model <i>Fuzzy</i> Mamdani Tipe-2	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Gambaran Umum.....	29
3.2 Diagram Blok.....	30
3.3 Perancangan Diagram Alir.....	32
3.4 Alat dan Bahan.....	34
3.5 Perancangan Perangkat Keras	35
3.5.1 Perancangan Rangkaian Elektronik	36
3.5.2 Desain Alat.....	40
3.6 Perancangan Perangkat Lunak	41
3.7 Perancangan <i>Dashboard</i> IoT Berbasis Node-RED.....	42
3.8 Perancangan Firebase Realtime Database.....	45
3.9 Perancangan Logika <i>Fuzzy Mamdani Tipe-2</i>	46
3.9.1 Fuzzifikasi Variabel <i>Input</i> pH.....	47
3.9.2 Fuzzifikasi Variabel <i>Input</i> TDS.....	50
3.9.3 Fuzzifikasi Variabel <i>Input</i> Suhu Larutan	52
3.9.4 Fuzzifikasi Variabel <i>Output</i> Pompa Nutrisi AB Mix A.....	55
3.9.5 Fuzzifikasi Variabel <i>Output</i> Pompa Nutrisi AB Mix B	58
3.9.6 Fuzzifikasi Variabel <i>Output</i> Pompa pH <i>Up</i>	61
3.9.7 Fuzzifikasi Variabel <i>Output</i> Pompa pH <i>Down</i>	64
3.9.8 <i>Rule Base</i> Perancangan Sistem	67
3.9.9 <i>Type-Reduction</i> dan Defuzzifikasi	72
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	76
4.1 Hasil Perancangan Sistem.....	76
4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras.....	77
4.1.2 Hasil Perancangan <i>Dashboard</i> IoT Node-RED	78
4.1.3 Tampilan Firebase Realtime Database.....	79
4.2 Pengujian Sensor.....	80
4.2.1 Pengujian Sensor pH.....	81
4.2.2 Pengujian Sensor TDS	83
4.2.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	84
4.3 Pengujian Aktuator Pompa	86
4.3.1 Pengujian Aktuator Pompa pH	86
4.3.2 Pengujian Aktuator Pompa Nutrisi	88
4.4 Pengujian Nilai <i>Output Fuzzy Mamdani Tipe-2</i>	89
4.4.1 Pengujian Nilai <i>Output Fuzzy</i> Kontrol pH.....	89
4.4.2 Pengujian Nilai <i>Output Fuzzy</i> Nutrisi	94
4.4.3 Visualisasi Permukaan Kontrol <i>Fuzzy Mamdani Tipe-2</i>	98
4.5 Pengujian Kestabilan Sistem Kontrol	102
4.6 Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Selada.....	106

4.6.1	Perbandingan Tinggi Tanaman	107
4.6.2	Perbandingan Lebar Daun.....	108
4.7	Pengujian Interval Pembaruan Data.....	110
BAB V PENUTUP		112
5.1	Kesimpulan	112
5.2	Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA.....		115
LAMPIRAN.....		121



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Celah Penelitian	8
Tabel 2.2 Spesifikasi DFRobot TDS Sensor.....	15
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor pH	17
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor DS18B20	18
Tabel 3.1 Alat dan Bahan.....	35
Tabel 3.2 Konfigurasi Pin I/O	37
Tabel 3.3 Topik MQTT pada Sistem <i>Dashboard</i>	43
Tabel 3.4 Fungsi Keanggotaan pH.....	48
Tabel 3.5 Fungsi Keanggotaan TDS	51
Tabel 3.6 Fungsi Keanggotaan Suhu Larutan	53
Tabel 3.7 Fungsi Keanggotaan Pompa Nutrisi AB Mix A	56
Tabel 3.8 Fungsi Keanggotaan Pompa Nutrisi AB Mix B.....	59
Tabel 3.9 Fungsi Keanggotaan Pompa pH <i>Up</i>	62
Tabel 3.10 Fungsi Keanggotaan Pompa pH <i>Down</i>	65
Tabel 3.11 <i>Rule Base</i> Sistem <i>Fuzzy</i>	68
Tabel 4.1 Pengujian Sensor pH.....	82
Tabel 4.2 Pengujian Sensor TDS	83
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	85
Tabel 4.4 Pengujian Aktuator Pompa pH	87
Tabel 4.5 Pengujian Aktuator Pompa Nutrisi	88
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai <i>Output Fuzzy</i> ESP32 dan MATLAB pada Kontrol pH <i>Up</i>	91
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai <i>Output Fuzzy</i> ESP32 dan MATLAB pada Kontrol pH <i>Down</i>	93
Tabel 4.8 Perbandingan Nilai <i>Output Fuzzy</i> ESP32 dan MATLAB pada Kontrol Nutrisi AB Mix A dan B	96
Tabel 4.9 Pengujian Kestabilan Sistem Kontrol	103
Tabel 4.10 Perbandingan Tinggi Tanaman Selada	107
Tabel 4.11 Perbandingan Lebar Daun Tanaman Selada	109
Tabel 4.12 Interval Pembaruan Data.....	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Hidroponik NFT	12
Gambar 2.2 ESP32	14
Gambar 2.3 DFRobot TDS Sensor	15
Gambar 2.4 <i>Schematics of DFRobot TDS Sensor</i>	16
Gambar 2.5 Sensor pH	17
Gambar 2.6 Sensor DS18B20	18
Gambar 2.7 Relay.....	19
Gambar 2.8 Pompa Peristaltik	20
Gambar 2.9 Adaptor 12 V	21
Gambar 2.10 Sayuran Selada	22
Gambar 2.11 Node-RED	23
Gambar 2.12 Firebase	24
Gambar 2.13 Alur Logika <i>Fuzzy Tipe-2</i>	25
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	31
Gambar 3.2 Diagram Alir	33
Gambar 3.3 Rangkaian Perancangan Alat	36
Gambar 3.4 Desain Alat.....	40
Gambar 3.5 Arduino IDE.....	42
Gambar 3.6 Perancangan <i>Flow Dashboard</i> IoT pada Node-RED	43
Gambar 3.7 Tampilan <i>Dashboard Monitoring</i> dan Kontrol Hidroponik NFT	44
Gambar 3.8 Alur Pengiriman Data ke Firebase Realtime Database	45
Gambar 3.9 Perancangan Firebase Realtime Database.....	46
Gambar 3.10 Variabel <i>Input</i> pH.....	48
Gambar 3.11 Variabel <i>Input</i> TDS	51
Gambar 3.12 Variabel <i>Input</i> Suhu Larutan	54
Gambar 3.13 Variabel <i>Output</i> Pompa Nutrisi AB Mix A.....	56
Gambar 3.14 Variabel <i>Output</i> Pompa Nutrisi AB Mix B.....	59
Gambar 3.15 Variabel <i>Output</i> Pompa pH <i>Up</i>	62
Gambar 3.16 Variabel <i>Output</i> Pompa pH <i>Down</i>	65
Gambar 3.17 Tampilan <i>Rule Editor</i>	72
Gambar 4.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras.....	78
Gambar 4.2 Tampilan <i>Dashboard</i> IoT Node-RED Sistem Hidroponik NFT	79
Gambar 4.3 Tampilan Firebase Realtime Database	80
Gambar 4.4 Pengujian Larutan <i>Buffer</i> pH 4,01 dan pH 6,86	81
Gambar 4.5 Pengujian Cairan Kalibrasi 500 ppm dan 1000 ppm.....	83
Gambar 4.6 Pengujian Suhu DS18B20 pada Kondisi Suhu Dingin, Sedang, dan Panas	85

Gambar 4.7 Nilai <i>Output Fuzzy</i> Kontrol pH pada ESP32.....	90
Gambar 4.8 Nilai <i>Output Fuzzy</i> Kontrol pH pada MATLAB.....	90
Gambar 4.9 Nilai <i>Output Fuzzy</i> Kontrol Nutrisi pada ESP32	95
Gambar 4.10 Nilai <i>Output Fuzzy</i> Kontrol Nutrisi pada MATLAB	96
Gambar 4.11 Visualisasi Permukaan <i>Output</i> Pompa Nutrisi AB Mix A.....	99
Gambar 4.12 Visualisasi Permukaan <i>Output</i> Pompa pH <i>Down</i>	100
Gambar 4.13 Visualisasi Permukaan <i>Output</i> Pompa pH <i>Up</i>	101
Gambar 4.14 Respons Waktu Kontrol pH	104
Gambar 4.15 Respons Waktu Kontrol TDS.....	105
Gambar 4.16 Perbandingan Tinggi Tanaman	107
Gambar 4.17 Perbandingan Lebar Daun Tanaman	109



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program Kode Alat.....	121
Lampiran 2. Program MATLAB Fuzzy Mamdani Tipe-2.....	194
Lampiran 3. Hasil Uji Turnitin	198
Lampiran 4. Bukti Bimbingan Tugas Akhir	199
Lampiran 5. Curriculum Vitae	203

