

**DETEKTOR PINTAR KELAYAKAN TANAH UNTUK TANAMAN PANGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

Oleh :
HAFID AHMAD FAHMIANTO
NIM. 17650073



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**DETEKTOR PINTAR KELAYAKAN TANAH UNTUK TANAMAN
PANGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
HAFID AHMAD FAHMIANTO
NIM. 17650073

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

DETEKTOR PINTAR KELAYAKAN TANAH UNTUK TANAMAN
PANGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY LOGIC*

SKRIPSI

Oleh :
HAFID AHMAD FAHMIANTO
NIM. 17650073

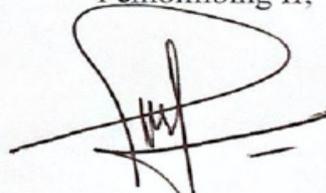
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 20 Juni 2024

Pembimbing I,



Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPM
NIP. 19771020 200912 1 001

Pembimbing II,



Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T
NIP. 19830616 201101 1 004

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPM
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

**DETEKTOR PINTAR KELAYAKAN TANAH UNTUK TANAMAN
PANGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

Oleh :
HAFID AHMAD FAHMIANTO
NIM. 17650073

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal : 20 Juni 2024

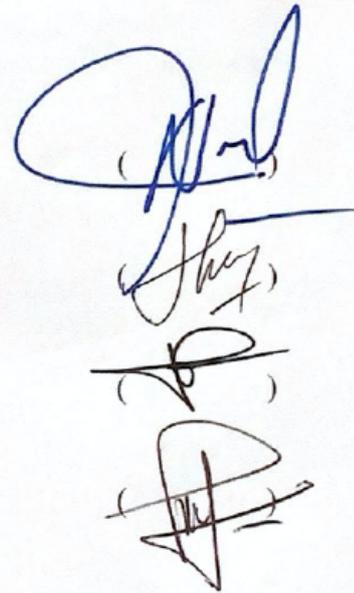
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Fresy Nugroho, M.T
NIP. 19710722 201101 1 001

Anggota Penguji I : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 202012 1 003

Anggota Penguji II : Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPM
NIP. 19771020 200912 1 001

Anggota Penguji III : Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201101 1 004



Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPM
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hafid Ahmad Fahmianto
NIM : 17650073
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Detektor Pintar Kelayakan Tanah Untuk Tanaman Pangan Menggunakan Pendekatan *Fuzzy Logic*.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 27 Juni 2024
Yang membuat pernyataan,



Hafid Ahmad Fahmianto
NIM.17650073

HALAMAN MOTTO

... Bermimpilah maka anganmu akan lahir, Belajarlah maka pikiranmu akan hadir, dan Lakukanlah maka capaianmu akan terukir ...

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam kepada Tuhan Yang Maha Esa, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Orang Tua Tercinta, yang dengan sabar dan penuh kasih telah memberikan dukungan moral dan materiil tanpa henti. Kalian adalah cahaya pemandu dalam setiap langkah yang kulalui, memberikan kekuatan dan inspirasi untuk terus berusaha mencapai impian.
2. Dosen Pembimbing, yang dengan tulus dan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu yang berharga. Terima kasih atas dedikasi, waktu, dan pemikiran yang telah diberikan untuk membantu menyempurnakan skripsi ini.
3. Tercinta, Ridah Anjar Sari, yang telah berbagi suka dan duka selama perjalanan ini, sebagai ungkapan cinta dan terima kasih kepada Tercinta, yang telah menjadi teman hidup, sahabat sejati, dan pendamping dalam setiap langkah. Terima kasih telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari perjalanan ini, memberikan cinta, dukungan, dan pengertian yang tak terhingga..
4. Sahabat-sahabat Pergerakan dan Para Duta Damai BNPT-RI, yang telah berbagi suka dan duka selama perjalanan studi ini. Terima kasih atas dukungan, motivasi, dan persahabatan yang tulus. Kalian adalah kolega yang membuat perjalanan ini lebih berwarna.

5. Rekan-rekan, yang selalu ada sebagai teman dan motivator, memberikan semangat dan keceriaan di setiap waktu. Kehadiranmu merupakan anugerah yang menyemarakkan hari-hari penuh tantangan.
6. Semua Pihak yang Telah Membantu, mulai dari rekan kerja di laboratorium, staf fakultas, Para Senior dan rekan Komunitas Averroes hingga semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Skripsi ini merupakan bukti dari perjalanan panjang yang tidak hanya mengandalkan kekuatan pribadi, tetapi juga dukungan, doa, dan semangat dari semua yang saya cintai dan hormati. Semoga apa yang telah dicapai ini dapat menjadi kebanggaan kita bersama dan membuka pintu masa depan yang lebih cerah.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji hanya milik Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkat segala nikmat dan kasih sayang-Nya yang telah memudahkan penulis untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul “Detektor Pintar Kelayakan Tanah Untuk Tanaman Pangan Menggunakan Pendekatan *Fuzzy Logic*”. Sholawat dan salam senantiasa terlimpah kepada Nabi Muhammad Sallallahu ‘Alaihi wa Sallam. Dan semoga kita semua mendapatkan syafaatnya di hari kiamat esok, Aamiin.

Penulis mengucapkan banyak rasa syukur dan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang selalu memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini. Ucapan ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Hariani, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPM, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dan dukungan tanpa lelah selama proses penelitian ini berlangsung.
4. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bantuan dan arahan kepada penulis, sehingga bisa menuntaskan skripsi ini.

5. Dr. Fresy Nugroho, M.T., selaku dosen penguji I dan Shoffin Nahwa Utama, M.T selaku dosen penguji II yang telah menguji serta memberikan masukan sehingga penulis dapat menuntaskan skripsi dengan baik.
6. Segenap Dosen, Admin, Laboran dan Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan banyak dukungan dan bimbingan selama pengerjaan skripsi ini.
7. Ucapan terima kasih juga saya persembahkan kepada Ibu, Ayah, Kakak, Adek dan kekasih saya yang telah memberikan dukungan moral dan doa yang tak terhingga. Serta kepada teman-teman dan semua pihak yang telah memberikan semangat dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, Penulis dengan penuh sadar bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Penulis berharap semoga skripsi ini diterima sebagai amal ibadah yang tulus dan bermanfaat di sisi Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Semoga karya ini tidak hanya berguna dalam lingkup akademis tetapi juga dapat memberikan manfaat praktis bagi petani dan para praktisi di sektor pertanian dan dalam rangka memperkuat dan mengembangkan ilmu pengetahuan, serta melaksanakan tugas sebagai hamba Allah yang berkomitmen.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 27 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
البحث مستخلص.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II STUDI PUSTAKA	10
2.1 Penelitian Terkait.....	10
2.2 Internet of Things (IoT).....	14
2.3 Arduino UNO	15
2.4 NodeMCU ESP8266	16
2.5 Kelayakan Tanah	17
2.6 Fuzzy Tsukamoto	18
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI	20
3.1 Desain	20
3.2 Analisis	25
3.2.1 Analisis Kebutuhan Sistem.....	25

3.2.2 Analisis Data	26
3.3 Implementasi.....	26
3.3.1 Input.....	26
3.3.2 Proses	27
3.3.3 Output.....	29
3.3.4 Implementasi <i>Fuzzy Tsukamoto</i>	29
3.1 Rencana Pengujian.....	40
BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	43
4.1 Implementasi Sistem	43
4.1.1 Implementasi <i>Hardware</i>	43
4.1.2 Implementasi <i>Website</i>	46
4.2 Pengujian	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Ringkasan Penelitian	65
5.2 Temuan Utama	65
5.3 Implikasi Hasil Penelitian.....	65
5.4 Saran untuk Pengembangan Selanjutnya.....	66
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Himpunan Fuzzy Input.....	30
Tabel 3.2 Himpunan Fuzzy Input.....	30
Tabel 3.3 Perbandingan Sensor Suhu Dingin	33
Tabel 3.4 Perbandingan Sensor Suhu Sejuk	34
Tabel 3.5 Perbandingan Sensor Suhu Panas	34
Tabel 3.6 Pembuatan Rule	37
Tabel 3.7 Pengujian.....	41
Tabel 3.8 Confusion Matrix	42
Tabel 4.1 Hasil perbandingan	58
Tabel 4.2 Confusion Matrix Tanaman Apel	59
Tabel 4.3 Confusion Matrix Tanaman Tomat.....	59
Tabel 4. 4 Confusion Matrix Tanaman Buah Naga	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mikrokontroler Arduino UNO	16
Gambar 2.2 Mikrokontroler NodeMCU ESP8266.....	17
Gambar 3.1 Flowchart Sistem.....	21
Gambar 3.2 Flowchart Data Fuzzy Logic	22
Gambar 3.3 Fungsi Keanggotaan Suhu.....	32
Gambar 3.4 Fungsi Keanggotaan Kelembaban Tanah.....	33
Gambar 4. 1 Rangkaian Komponen Hardware	43
Gambar 4. 2 Dashborad Website	47
Gambar 4. 3 Laporan Sensor berformat PDF.....	49
Gambar 4.4 Pengujian Sistem pada Sepuluh Iterasi	58

ABSTRAK

Ahmad Fahmianto, Hafid. 2024. **Detektor Pintar Kelayakan Tanah Untuk Tanaman Pangan Menggunakan Pendekatan *Fuzzy Logic***. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPM (II) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T

Kata kunci : Detektor kelayakan tanah pintar, Logika *fuzzy*, Model *Tsukamoto*, IoT, Pertanian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kondisi pertumbuhan tanaman apel, tomat, dan buah naga menggunakan logika *fuzzy*, sekaligus mengintegrasikan prinsip-prinsip Islam yang terdapat dalam Al-Qur'an. Tujuannya adalah untuk mengembangkan sistem cerdas yang dapat menjaga kondisi suhu dan kelembaban optimal, sehingga meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman. Kondisi ideal untuk tanaman apel (suhu: 16-27°C, kelembaban: 75-85%), tomat (suhu: 24-28°C, kelembaban: 60-80%), dan buah naga (suhu: 20-35°C, kelembaban: 70-90%) ditetapkan berdasarkan penelitian sebelumnya. Penelitian menilai akurasi sistem *Internet of Things* (IoT) dalam memberikan prediksi yang tepat terkait kelayakan tanah, dengan fokus pada variabel lingkungan utama seperti kelembaban tanah dan suhu. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat keras yang terdiri dari Arduino untuk pengendalian dan ESP8266 untuk komunikasi serial, serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, dan *soil moisture sensor* V.2 untuk mengukur kelembaban tanah. Data yang digunakan mencakup hasil pengujian lapangan dan simulasi dengan 10 iterasi untuk memvalidasi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil mencapai tingkat akurasi sebesar 93.3% dalam memprediksi kelayakan tanah untuk tanaman pangan. Akurasi ini dihitung berdasarkan perbandingan antara prediksi sistem dengan data aktual lapangan, menunjukkan kemampuan sistem dalam memberikan informasi yang relevan dan akurat untuk mendukung keputusan pertanian berbasis teknologi.

ABSTRACT

Ahmad Fahmianto, Hafid. 2024. **Smart Soil Suitability Detector for Food Plants Using Fuzzy Logic Approach**. Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Dr. Fachrul Kurniawan ST., M.MT ., IPM (II) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T

This research aims to optimize the growth conditions of apple, tomato, and dragon fruit using Fuzzy Logic, integrating principles from the Quran. The goal is to develop an intelligent system capable of maintaining optimal temperature and humidity conditions, thereby enhancing crop yield and quality. Ideal conditions for apple (temperature: 16-27°C, humidity: 75-85%), tomato (temperature: 24-28°C, humidity: 60-80%), and dragon fruit (temperature: 20-35°C, humidity: 70-90%) are based on prior research. The study evaluates the accuracy of the Internet of Things (IoT) system in providing precise predictions regarding soil suitability, focusing on key environmental variables such as soil moisture and temperature. The research is conducted using hardware consisting of Arduino for control, ESP8266 for serial communication, DHT11 sensors for air temperature and humidity measurement, and Soil Moisture Sensor V.2 for soil moisture measurement. Data includes field testing results and simulations with 10 iterations to validate the system. Results indicate that the developed system achieved an accuracy rate of 93.3% in predicting soil suitability for food crops. This accuracy is calculated based on comparisons between system predictions and actual field data, demonstrating the system's capability to provide relevant and accurate information to support technology-based agricultural decisions.

Keywords: Smart soil suitability detector, Fuzzy logic, Tsukamoto model, IoT, Agriculture.

البحث مستخلص

حمد فهمياتو، حافظ. 2024. ديتيكتور بينتار كلاياكان تاناہ أونٹوک تاناہان بان مگوناکان بیندکتان فوززي لوجيک. رسالة جامعية. قسم الهندسة الإلكترونية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الدولية الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفون: د. يونيفا مفتاح العريف، م. تقنية (II) د. فخر الكريم، م. متر (I)

الكلمات الرئيسية: ديتيكتور كلاياكان تاناہ بينتار، لوجيكا فوززي، نموذج تسوكاموتو، الإنترنت الأشياء، الزراعة

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين شروط نمو أشجار التفاح والطماطم والفاكهة النجمية باستخدام اللوجيكا الضبابية تهدف هذه الدراسة إلى تحسين شروط نمو أشجار التفاح والطماطم والفاكهة النجمية باستخدام اللوجيكا الضبابية، مع دمج مبادئ الإسلام المتواجدة في القرآن الكريم. الهدف هو تطوير نظام ذكي يمكنه الحفاظ على شروط درجة حرارة ورطوبة مثالية، مما يعزز من عائد الطماطم (درجة) (%الرطوبة: 70-85، °C درجة الحرارة: 16-27) الحصاد وجودة النباتات. الشروط المثالية لأشجار التفاح محددة بناءً (%الرطوبة: 70-90، °C درجة الحرارة: 20-35) الرطوبة: 60-80 (%، والفاكهة النجمية، °C الحرارة: 24-28 في تقديم توقعات دقيقة بشأن ملاءمة التربة، مع (IoT) على الأبحاث السابقة. تقوم الدراسة بتقييم دقة نظام الإنترنت الأشياء تمت الدراسة باستخدام أجهزة مكونة من أردوينو للتحكم. التركيز على المتغيرات البيئية الرئيسية مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة *Soil* لقياس درجة الحرارة والرطوبة الهوائية، و *DHT11* للاتصال التسلسلي، بالإضافة إلى أجهزة استشعار ESP8266 و *Moisture Sensor V* لقياس رطوبة التربة. تشمل البيانات نتائج اختبارات الميدان والمحاكاة بعشرة تكرارات لتحقيق التأكيد. أظهرت النتائج أن النظام المطور حقق دقة تصل إلى 93.3% في توقع ملاءمة التربة للمحاصيل الغذائية. يتم حساب. على النظام هذه الدقة استنادًا إلى مقارنة التوقعات النظام مع البيانات الفعلية المتعلقة بالميدان، مما يدل على قدرة النظام على تقديم معلومات يوفر هذا الاكتشاف مساهمة هامة في تحسين كفاءة وفعالية الزراعة الحديثة، من دقيقة وملائمة لدعم القرارات الزراعية المستندة إلى خلال تمكين المزارعين من اختيار المحاصيل

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memenuhi kebutuhan pangan bagi populasi global yang terus bertambah, pertanian memegang peran vital sebagai penyedia keberlanjutan kehidupan. Sektor ini secara historis berfungsi sebagai pilar ekonomi Indonesia, namun belum mencapai potensinya secara maksimal (Wijaya, 2018). Salah satu upaya untuk mewujudkan sistem pertanian berkelanjutan adalah dengan pengembangan pola bertani dengan memperhatikan ekosistem lahan dan memperhatikan potensi suatu wilayah (Hadija, 2016). konsep dan metode pertanian presisi (*precision agriculture*) mulai banyak diwacanakan dan dikembangkan di berbagai belahan dunia. Pertanian presisi adalah konsep manajemen pertanian berdasarkan pengamatan, pengukuran, dan respon terhadap variabilitas dalam dan antar-bidang pada tanaman (Sondakh, 2020). Namun, keberlanjutan ini dihadapkan pada tantangan yang semakin kompleks, mulai dari perubahan lingkungan hingga pertumbuhan populasi. Dalam skenario pertanian kontemporer, dimana kita berupaya untuk menyelesaikan teka-teki pemenuhan kebutuhan pangan global yang dinamis, kita menemukan diri kita di persimpangan antara warisan pertanian tradisional dan revolusi digital yang menjanjikan. Penelitian ini berakar dalam kebutuhan untuk menjembatani dua dunia tersebut, dengan mengeksplorasi dan memanfaatkan petunjuk yang diberikan oleh sains dalam Alqur'an dan Hadist untuk memperkaya bidang Teknik Informatika,

khususnya dalam pengembangan sistem cerdas untuk pertanian. Menyadari pentingnya pengelolaan dan penilaian sumber daya alam yang ada, Al-Qur'an telah memberikan kita wawasan tentang bagaimana segala sesuatu di alam semesta ini diatur dengan kebijaksanaan dan keseimbangan, sebagaimana pada Surah Al-Maidah 5:48 :

وَأَنْزَلْنَا إِلَيْكَ الْكِتَابَ بِالْحَقِّ مُصَدِّقًا لِمَا بَيْنَ يَدَيْهِ مِنَ الْكِتَابِ وَمُهَيِّمًا عَلَيْهِ ۗ فَآخُذُوا بِمَا آتَاكُمْ مِنْهُ بِإِذْنِ اللَّهِ وَلَا تَتَّبِعُوا أَهْوَاءَ مَنْ جَاءَ بِكَ مِنَ الْحَقِّ ۗ لِكُلِّ جَعَلْنَا مِنْكُمْ شِرْعَةً وَمَنْهَاجًا ۗ وَلَوْ شَاءَ اللَّهُ لَجَعَلَكُمْ أُمَّةً وَاحِدَةً وَلَكِنْ لِيَبْلُوَكُمْ فِي مَا آتَاكُمْ ۗ فَاسْتَبِقُوا الْخَيْرَاتِ ۗ إِلَى اللَّهِ مَرْجِعُكُمْ جَمِيعًا فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ فِيهِ تَخْتَلِفُونَ

"Kami telah menurunkan kitab suci (Al-Qur'an) kepadamu (Nabi Muhammad) dengan (membawa) kebenaran sebagai pembenar kitab-kitab yang diturunkan sebelumnya dan sebagai penjaganya (acuan kebenaran terhadapnya). Maka, putuskanlah (perkara) mereka menurut aturan yang diturunkan Allah dan janganlah engkau mengikuti hawa nafsu mereka dengan (meninggalkan) kebenaran yang telah datang kepadamu. Untuk setiap umat di antara kamu Kami berikan aturan dan jalan yang terang. Seandainya Allah menghendaki, niscaya Dia menjadikanmu satu umat (saja). Akan tetapi, Allah hendak mengujimu tentang karunia yang telah Dia anugerahkan kepadamu. Maka, berlomba-lombalah dalam berbuat kebaikan. Hanya kepada Allah kamu semua kembali, lalu Dia memberitahukan kepadamu apa yang selama ini kamu perselisihkan." (QS. Al-Maidah 5:48)

Kelayakan lahan sebagai faktor krusial dalam pertanian memerlukan pemahaman yang mendalam tentang variabel lingkungan seperti kelembaban tanah, dan suhu. Ayat dalam Al-Qur'an mengingatkan kita tentang pentingnya menggunakan akal dalam memanfaatkan tanda-tanda kekuasaan-Nya yang termanifestasi dalam penciptaan langit dan bumi untuk kemaslahatan.

Teknologi *Internet of Things (IoT)* dan Kecerdasan Buatan (*AI*) telah muncul sebagai solusi inovatif yang menjanjikan dalam menghadapi kompleksitas ini. *IoT* dapat didefinisikan sebagai “hal-hal yang terasosiasikan melalui Internet.” Asosiasi

ini membantu dalam transfer informasi yang dikumpulkan dari berbagai perangkat ke tempat tujuan di dalam Internet (Khanna, 2019). Tantangan yang muncul adalah bagaimana mengolah data yang masif dari sensor *IoT* menjadi informasi yang bermanfaat bagi petani. Dalam hal ini, kebijaksanaan yang digarisbawahi dalam Al-Qur'an menjadi penting untuk memastikan bahwa penggunaan teknologi dilakukan dengan tanggung jawab sebagaimana pada QS Al-Baqarah 2:220:

فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الْيَتَامَىٰ قُلْ إِصْلَاحٌ لَّهُمْ خَيْرٌ ۗ وَإِنْ تُخَالِطُوهُمْ فَآخُوا إِلَيْكُمْ
وَاللَّهُ يَعْلَمُ الْمُفْسِدَ مِنَ الْمُصْلِحِ ۗ وَلَوْ شَاءَ اللَّهُ لَأَعْنَتَكُمْ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ

“Tentang dunia dan akhirat. Mereka bertanya kepadamu (Nabi Muhammad) tentang anak-anak yatim. Katakanlah, “Memperbaiki keadaan mereka adalah baik.” Jika kamu mempergauli mereka, mereka adalah saudara-saudaramu. Allah mengetahui orang yang berbuat kerusakan dan yang berbuat kebaikan. Seandainya Allah menghendaki, niscaya Dia mendatangkan kesulitan kepadamu. Sesungguhnya Allah Mahaperkasa lagi Mahabijaksana.” (QS. Al-Baqarah 2:220)

Fuzzy Logic, sebagai cabang dari *Soft Computing* dan Bagian dari *Artificial Intelligence* (AI), memberikan kemungkinan baru dalam ekstraksi pola kompleks. Logika Fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output*. Untuk sistem yang sangat rumit, penggunaan logika fuzzy (*fuzzy logic*) adalah salah satu pemecahannya (Salman, 2016).

Keberhasilan pendekatan ini mencerminkan nilai pengetahuan yang dianjurkan dalam Al-Qur'an, di mana orang yang mengetahui jelas berbeda dengan yang tidak mengetahui, sebagaimana pada Surah Az-Zumar 39:9:

أَمَّنْ هُوَ قَانِتٌ آنَاءَ اللَّيْلِ سَاجِدًا وَقَائِمًا يَحْذَرُ الْآخِرَةَ وَيَرْجُوا رَحْمَةَ رَبِّهِ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُوا الْأَلْبَابِ

“(Apakah orang musyrik yang lebih beruntung) ataukah orang yang beribadah pada waktu malam dalam keadaan bersujud, berdiri, takut pada (azab) akhirat, dan mengharapakan rahmat Tuhannya? Katakanlah (Nabi Muhammad), “Apakah sama orang-orang yang mengetahui (hak-hak Allah) dengan orang-orang yang tidak mengetahui (hak-hak Allah)?” Sesungguhnya hanya ululalbab (orang yang berakal sehat) yang dapat menerima pelajaran.” (QS. Az-Zumar 39:9)

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan detektor pintar kelayakan tanah untuk tanaman pangan menggunakan pendekatan *fuzzy logic* sebagai upaya untuk mengintegrasikan teknologi canggih dalam sektor pertanian. Tanaman pangan merupakan subsektor pertanian yang paling banyak diusahakan petani hampir di seluruh wilayah Indonesia (Vien, dkk. 2023). Tujuan penelitian ini antara lain adalah mengembangkan model *fuzzy logic* yang dapat mengukur kelayakan dari variabilitas tanah, membantu petani dalam memilih tanaman pangan yang tepat untuk ditanam, dan menciptakan sistem yang mampu memberikan informasi yang lebih akurat dan terinci tentang kelayakan lahan. Semua ini dilakukan dengan harapan untuk mendukung produktivitas pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan, sejalan dengan ajaran Islam yang menekankan pentingnya ilmu dan keseimbangan dalam setiap aspek kehidupan.

Dengan merujuk pada ayat-ayat Al-Qur'an, penelitian ini tidak hanya berupaya untuk memberikan solusi teknologi yang inovatif, tetapi juga menggarisbawahi bahwa dalam setiap langkah ilmiah harus ada kesadaran akan nilai-nilai spiritual yang mendalam dan ketaatan kepada prinsip-prinsip keadilan dan kebijaksanaan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini berusaha menjawab beberapa pertanyaan kritis yang muncul dari tantangan yang dihadapi oleh sektor pertanian dalam menilai kelayakan tanah, yang tidak hanya berdampak pada efisiensi dan hasil panen tetapi juga pada keberlanjutan lingkungan. Rumusan masalah yang diajukan adalah sejauh mana model *Fuzzy Logic* yang dikembangkan dapat memberikan prediksi yang akurat mengenai kelayakan tanah berdasarkan variabel-variabel lingkungan meliputi kelembaban tanah, dan suhu?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga kejelasan dan fokus dalam penelitian ini, beberapa batasan masalah telah ditetapkan. Batasan-batasan ini diperlukan untuk membatasi lingkup penelitian sehingga tujuan penelitian dapat dicapai dengan lebih efektif. Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini:

1. Batasan Teknologi:

Penelitian akan menggunakan sensor *IoT* yang spesifik dan terbatas pada yang tersedia di pasar lokal dan kompatibel dengan Arduino. Model *Fuzzy Logic* yang dikembangkan akan disesuaikan untuk beroperasi dalam kapasitas pemrosesan yang ditawarkan oleh mikrokontroler Arduino dan ESP8266, yang memiliki keterbatasan memori dan kecepatan.

2. Batasan Variabel Lingkungan:

Penelitian ini akan membatasi variabel lingkungan yang diukur menjadi beberapa parameter utama yang mempengaruhi kelayakan tanah, seperti kelembaban tanah, dan suhu berdasarkan literatur relevan dan ketersediaan sensor.

3. Batasan Lokasi dan Jenis Tanah:

Penelitian akan dilakukan pada jenis tanah tertentu yang paling umum ditemukan dalam konteks pertanian lokal, dan tidak meliputi semua jenis tanah yang ada.

4. Batasan Data:

Data yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian model *Fuzzy Logic* akan diperoleh dari eksperimen lapangan dalam kurun waktu tertentu, tidak memasukkan data historis atau proyeksi jangka panjang.

5. Batasan Aplikasi:

Sistem "Detektor Pintar Kelayakan Tanah Untuk Tanaman Pangan Menggunakan Pendekatan Fuzzy Logic" yang dikembangkan akan difokuskan untuk aplikasi dalam menilai kelayakan tanah untuk tanaman tertentu, dan tidak untuk penggunaan lain seperti deteksi polutan atau analisis biodiversitas.

6. Batasan Skala:

Penelitian akan dilakukan pada skala laboratorium dan *pilot-project*, dan tidak langsung pada skala komersial atau industri.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan tujuan untuk mengatasi tantangan di bidang pertanian terkait dengan penilaian kelayakan tanah. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan Aplikasi dengan Model *Fuzzy Logic* yang Efisien:

Merancang dan melatih model *Fuzzy Logic* yang dapat secara efektif mengolah data dari sensor *IoT* untuk menilai kelayakan tanah pertanian.

2. Analisis Variabel Kelayakan Tanah:

Menentukan bagaimana variabel seperti kelembaban tanah, dan suhu mempengaruhi kelayakan tanah dan pertumbuhan tanaman.

3. Validasi dan Uji Coba Lapangan:

Melakukan uji coba lapangan untuk memvalidasi keakuratan model dalam kondisi nyata dan melihat kinerjanya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan dalam beberapa aspek, baik dalam lingkup akademis maupun praktis di bidang pertanian. Manfaat-manfaat tersebut antara lain adalah:

1. Untuk Ilmu Pengetahuan: Menyediakan pengetahuan baru tentang penerapan *Fuzzy Logic* dalam penilaian kelayakan tanah, yang dapat menjadi referensi bagi penelitian serupa di masa depan.
2. Bagi Petani dan Praktisi Pertanian: Memberikan alat bantu yang inovatif dalam bentuk sistem detektor kelayakan tanah, yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dalam pemilihan tanaman dan manajemen lahan.
3. Bagi Pengembangan Pertanian Presisi: Mendukung pengembangan praktik pertanian presisi melalui teknologi canggih yang memungkinkan pemantauan kondisi lahan secara *real-time* dan akurat.
4. Kontribusi terhadap Keberlanjutan Lingkungan: Dengan memberikan informasi tentang kelayakan tanah, penelitian ini dapat membantu

mengurangi pemborosan sumber daya dan meningkatkan penggunaan lahan secara berkelanjutan.

5. Peningkatan Efisiensi Produksi Pertanian: Dengan mempercepat dan memperjelas proses penilaian kelayakan tanah, penelitian ini dapat berkontribusi pada pengurangan penggunaan input pertanian yang tidak perlu, sehingga mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi produksi.
6. Dampak Sosial-Ekonomi: Meningkatkan potensi penghasilan petani dengan memberikan rekomendasi yang dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat penelitian yang masih relevan pembahasannya dengan penelitian ini, beberapa diantaranya sebagai berikut:

Saputra, R (2021) telah melakukan penelitian yang berjudul “Sistem Monitoring Kelembaban Tanah dan Suhu *Greenhouse* Tanaman Bawang Merah Berbasis *IoT*”, Penelitian ini mengatasi kesulitan dalam pemantauan kelembaban tanah dan suhu *greenhouse* untuk pembibitan tanaman bawang merah di Desa Gunung. Dengan rendahnya curah hujan dan peningkatan suhu pada musim kemarau, pemantauan menjadi krusial. Skripsi ini mengusulkan perancangan sistem *monitoring* kelembaban tanah dan suhu *greenhouse* berbasis *IoT*. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai kontroler dengan modul wifi sebagai antarmuka instruksi. Sensor kelembaban tanah (*Soil Moisture Sensor*) dan sensor suhu (DHT11) digunakan sebagai input, sedangkan relay digunakan sebagai output. Implementasi sistem ini diharapkan dapat memudahkan petani dalam memantau kondisi bibit bawang merah dan memastikan kualitas tanaman yang baik.

Meyer et, al. (2004) dengan penelitiannya yang berjudul “*Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil, and residue regions of interest from color images*” mengevaluasi penggunaan indeks kelebihan merah (ExR) dan hijau (ExG) serta algoritma pengelompokan fuzzy c-means (FCM) dan

Gustafson–Kessel (GK) untuk mengklasifikasikan daerah-daerah menonjol dan tersembunyi dalam gambar berwarna. Objek yang diamati termasuk tanaman bunga matahari, rumput liar *redroot pigweed*, kedelai, dan *velvet leaf*, tanah liat, sisa jagung, dan sisa gandum, yang merupakan pemandangan umum di Great Plains. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknik intensifikasi fuzzy Zadeh (Z) meningkatkan kualitas klasifikasi. Algoritma pengelompokan GK secara khusus mampu mengklasifikasikan tanaman dengan akurasi tinggi, terutama pada tanah terbuka dan sisa tanaman jagung dan gandum. Teknik ini memiliki potensi penggunaan yang luas dalam sensor jarak jauh, pemetaan, manajemen tanaman, pengendalian gulma, dan hama untuk pertanian presisi.

Syafaat et. al (2022) telah melakukan penelitian dengan judul “Sistem Kendali Intensitas Cahaya dan Kelembaban Tanah untuk Umbi Porang (*Amorphophallus Oncophyllus*) menggunakan Metode Logika Fuzzy” membahas pengembangan sistem kendali intensitas cahaya dan kelembaban tanah untuk budidaya umbi porang (*Amorphophallus Oncophyllus*) menggunakan metode logika fuzzy. Porang memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan memiliki syarat tumbuh yang spesifik, sehingga memerlukan pengaturan intensitas cahaya dan kelembaban tanah yang optimal. Sistem ini menggunakan sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya dan sensor kelembaban tanah untuk mengukur kelembaban tanah pada tanaman. Arduino UNO digunakan sebagai pemroses untuk mengendalikan intensitas cahaya dan kelembaban tanah. Pengujian menggunakan metode logika fuzzy menunjukkan bahwa sistem ini memiliki akurasi sebesar 75%,

dengan akurasi kelembaban tanah sebesar 70% dan intensitas cahaya sebesar 80%. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk 10 kali percobaan adalah 1,799 detik.

Pratama et.al (2021) dalam penelitiannya berjudul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kelembaban Dan Suhu Tanah Untuk Tanaman Bawang Merah Di Kabupaten Brebes” membahas pengembangan sistem *monitoring* kelembaban dan suhu tanah dengan media penyiraman untuk tanaman bawang merah di Kabupaten Brebes. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah dan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur kondisi tanah. Arduino Nano digunakan sebagai penggerak utama sistem. Alat ini bekerja dengan mengaktifkan pompa air saat kelembaban tanah di bawah 50% dan mematikan pompa saat kelembaban tanah mencapai di atas 70%. Informasi pengendalian pompa air ditampilkan pada layar *LCD*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengatur penyiraman tanaman bawang merah dengan efektif, di mana pompa air menyala saat kelembaban tanah rendah dan mati saat kelembaban tanah mencukupi. Jenis tanah yang cocok untuk tanaman bawang merah adalah tanah aluvial yang memiliki stabilitas kelembaban tanah yang baik.

Filla et. al (2024) pada penelitiannya berjudul “*Prototype* Alat Pengatur Temperatur Ruang Kerja pada Rumah Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis IoT” membahas tentang pengembangan sistem pengatur suhu dan kelembaban udara di ruang kerja rumah menggunakan logika fuzzy Tsukamoto berbasis *IoT*. Sistem ini dikembangkan untuk memantau dan mengontrol suhu serta kelembaban udara di lingkungan ruangan, dengan tujuan memastikan kenyamanan dan efektivitas aktivitas. Sistem ini menggunakan NodeMcu Esp8266 sebagai

pengontrol utama, dengan dua input parameter yaitu suhu udara dan kelembaban yang dideteksi oleh sensor DHT 11. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mempengaruhi suhu dan kelembaban udara secara efektif. Hasil defuzzifikasi menunjukkan bahwa *prototype* alat akan berfungsi sesuai dengan kebutuhan, baik itu bekerja cepat, sedang, atau lambat tergantung pada nilai defuzzifikasi yang diperoleh.

Kurniawan et. al (2018) pada penelitian yang berjudul “*Smart Monitoring Agriculture Based on Internet of Things*” menekankan pentingnya memanfaatkan teknologi *Internet of Things (IoT)* untuk membangun sistem pemantauan pertanian. Studi ini menguraikan pendekatan komprehensif dalam pengembangan alat pemantauan pertanian berbasis *IoT*, dengan mengambil metode *prototyping* dari proses pertanian. Dengan mengintegrasikan komponen perangkat keras dan perangkat lunak dengan komunikasi nirkabel (Wi-Fi), sistem ini memfasilitasi pemantauan visual dan akurat terhadap parameter-parameter pertanian. Penelitian ini juga menyoroti identifikasi data pertanian secara *real-time* sebagai aspek kunci dari implementasi, yang bertujuan untuk menyelesaikan tantangan pertanian umum yang dihadapi petani di Indonesia. Meskipun fokus saat ini hanya pada empat sensor, para penulis berencana untuk memperluas kemampuan sistem dan melakukan uji coba lebih lanjut di berbagai kondisi cuaca untuk mengevaluasi daya tahan peralatan.

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep terbaru dalam bidang Teknologi Informasi yang menggabungkan dua konsep utama, yaitu Internet dan *Things*. Internet mengacu pada sistem jaringan komputer global yang saling terhubung menggunakan standar *Internet Protocol Suite* (TCP/IP), yang memungkinkan jutaan pengguna di seluruh dunia terhubung. *Internet Protocol Suite* mencakup jaringan pribadi, publik, bisnis, pemerintah, dan akademik, baik dalam skala lokal maupun internasional, yang terhubung melalui berbagai teknologi jaringan elektronik, termasuk nirkabel dan optik. Saat ini, lebih dari 100 negara saling terhubung, memungkinkan pertukaran data, informasi, berita, dan opini di seluruh dunia melalui Internet. (Madakam et al. 2015)

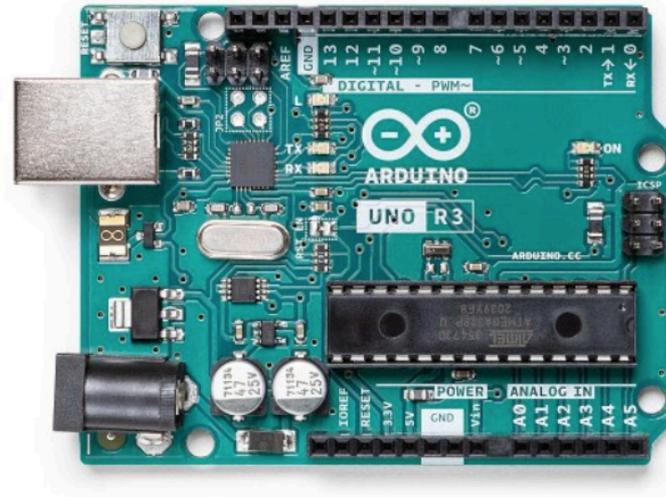
Internet of Things (IoT) telah membawa transformasi yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk pertanian. Dalam beberapa tahun terakhir, visi dari istilah Internet terus berkembang dalam setiap aspek kehidupan. Menjadi tugas yang menantang bagi para peneliti untuk secara jelas mengidentifikasi potensi optimal penggunaan Internet. Seiring berjalannya waktu, istilah Internet yang terhubung dengan "*things*" dan sekarang dikenal sebagai *Internet of Things* (IoT). Seperti namanya, "*things*" terhubung melalui Internet melalui *Wireless Sensor Networks* (WSN), *Radio-frequency Identification* (RFID), Bluetooth, *Near-field communication* (NFC), *Long Term Evolution* (LTE), dan berbagai teknologi komunikasi pintar lainnya. Oleh karena itu, *IoT* dapat didefinisikan sebagai "*things* yang terhubung melalui Internet." Asosiasi ini membantu dalam transfer informasi yang dikumpulkan dari berbagai perangkat ke tempat tujuan melalui Internet.

Meskipun *IoT* adalah istilah yang paling dapat diandalkan di dunia teknologi saat ini, namun masih belum sepenuhnya memanfaatkan potensi yang sebenarnya dimilikinya. (Khanna et al. 2019)

Penerapan IoT terus berkembang setiap hari. Namun, pengembangan sistem IoT yang dapat diskalakan, andal, hemat energi, dan aman tetap menjadi tantangan dalam praktiknya. Meskipun telah banyak dibahas dalam literatur, analisis mendalam tentang isu desain sistem IoT masih jarang. (Swamy, 2020)

2.3 Arduino UNO

Arduino Uno merupakan jenis papan elektronik yang memiliki ukuran sebesar kartu kredit dan dilengkapi dengan mikrokontroler. Papan ini memiliki sejumlah pin yang berfungsi untuk berkomunikasi dengan peralatan lain. Arduino pada gambar 2.1 merupakan mikrokontroler yang serbaguna dan dapat diprogram sesuai kebutuhan. Program yang digunakan dalam Arduino disebut dengan sketch. Arduino terdiri dari dua bagian utama, yaitu papan sirkuit fisik yang sering disebut sebagai mikrokontroler, dan perangkat lunak atau *Integrated Development Environment* (IDE) yang berfungsi sebagai *compiler* dan dijalankan pada komputer. (Tullah, 2019)

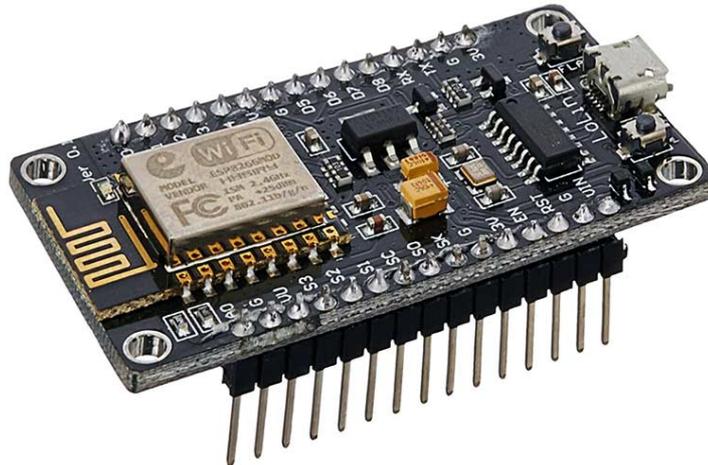


Gambar 2.1 Mikrokontroler Arduino UNO

2.4 NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan platform IoT yang bersifat open-source, yang terdiri dari perangkat keras berupa System On Chip ESP8266 buatan *Espressif System*, serta *firmware* yang menggunakan bahasa pemrograman *scripting Lua*. Secara default, istilah NodeMCU mengacu pada *firmware* yang digunakan, bukan pada perangkat keras development kit. NodeMCU dapat diibaratkan sebagai versi Arduino dari ESP8266. Sebelumnya, dalam seri tutorial ESP8266, *embeddednesia* telah membahas bahwa memprogram ESP8266 memerlukan beberapa teknik kawat tambahan dan modul USB ke serial tambahan untuk mengunduh program. Namun, NodeMCU pada gambar 2.2 telah memasukkan ESP8266 ke dalam sebuah papan yang lebih kompak dengan berbagai fitur seperti mikrokontroler, kemampuan akses WiFi, dan chip komunikasi USB ke serial. Sehingga, untuk memprogramnya, hanya

diperlukan kabel data USB biasa yang juga digunakan sebagai kabel pengisian daya untuk *smartphone* Android. (Hidayati, dkk. 2019)



Gambar 2.2 Mikrokontroler NodeMCU ESP8266

2.5 Kelayakan Tanah

Tanah merupakan bagian permukaan bumi yang memiliki peran fisik sebagai lingkungan di mana akar tanaman dapat tumbuh dan berkembang. Selain itu, tanah juga berfungsi sebagai penopang yang menjaga tegaknya tanaman, serta menyediakan pasokan air dan udara yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya. (Hanafiah, 2014)

Perhatian terhadap kesesuaian lahan sangat penting dalam budidaya tanaman untuk memastikan pertumbuhan yang optimal. Meskipun beberapa jenis tanaman dapat tumbuh di wilayah yang sama, setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan dan karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, untuk mencapai pertumbuhan tanaman yang optimal, perlu diperhatikan kesesuaian lahan untuk pertanian dan mempertimbangkan persyaratan pertumbuhan yang berbeda-beda dari setiap jenis tanaman. (Mangkunegara *et al.* 2021) Kelayakan tanah adalah kondisi atau keadaan

dan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan berbagai komponen yang ada didalamnya, seperti biologi, kimiawi, dan fisika. (Sartohadi *et al.* 2014).

Rahaju (2017) pada penelitiannya yang berjudul Dampak Perubahan Iklim Terhadap Usaha Apel Di Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang, mengungkapkan bahwa Kebutuhan Suhu pada Tanaman Apel yang ideal adalah 16 - 27°C, dan Kelembaban yang bisa dikatakan ideal pada tanaman Apel adalah 75-85%, sedangkan Ginanjar (2018) pada penelitiannya yang berjudul Kendali Dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya Untuk Tanaman Tomat mendeskripsikan bahawa kebutuhan Kelembaban dan Suhu pada tanaman Tomat berturut turut adalah 60-80% dan 24-28°C, Saparinto dan Susiana (2016) menyatakan bahwa kondisi kelembapan tanah yang optimal bagi pertumbuhan tanaman buah naga adalah antara 70 hingga 90%. Selain itu, penting untuk memantau tingkat kelembapan karena meskipun akar buah naga dapat bertahan dalam kondisi kekeringan, namun tidak dapat bertahan jika terendam dalam air terlalu lama, serta Suhu yang ideal untuk tanaman buah naga berkisar diantara 20-35°C

2.6 Fuzzy Tsukamoto

Fuzzy Tsukamoto merupakan salah satu metode dalam logika fuzzy yang digunakan untuk pengambilan keputusan. Metode ini dikembangkan oleh Prof. Tsukamoto pada tahun 1979 dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sistem pendukung keputusan (DSS) karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan. Dalam Fuzzy

Tsukamoto, variabel *input* dan *output* direpresentasikan dalam bentuk himpunan fuzzy yang mewakili tingkat keanggotaan suatu nilai terhadap himpunan tersebut. Metode ini memungkinkan untuk memodelkan pengetahuan manusia dan aturan-aturan linguistik menjadi sebuah sistem yang dapat digunakan untuk mengambil keputusan. Langkah-langkah dalam Fuzzy Tsukamoto meliputi fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi.

Fuzzifikasi mengubah input *crisp* menjadi himpunan fuzzy, sedangkan pembentukan aturan fuzzy melibatkan penentuan aturan-aturan linguistik berdasarkan pengetahuan manusia atau data historis. Selanjutnya, inferensi fuzzy menggunakan aturan-aturan tersebut untuk menghasilkan output fuzzy, yang kemudian diubah menjadi nilai *crisp* melalui proses defuzzifikasi. Fuzzy Tsukamoto sangat cocok digunakan dalam sistem pendukung keputusan karena mampu menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan. Dengan memanfaatkan pengetahuan manusia dan data historis, metode ini dapat memberikan rekomendasi atau keputusan yang lebih akurat dan dapat dipahami secara intuitif oleh pengguna. Oleh karena itu, Fuzzy Tsukamoto menjadi salah satu pendekatan yang populer dalam pengembangan sistem pendukung keputusan di berbagai bidang, termasuk industri, manajemen, dan rekayasa.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Desain

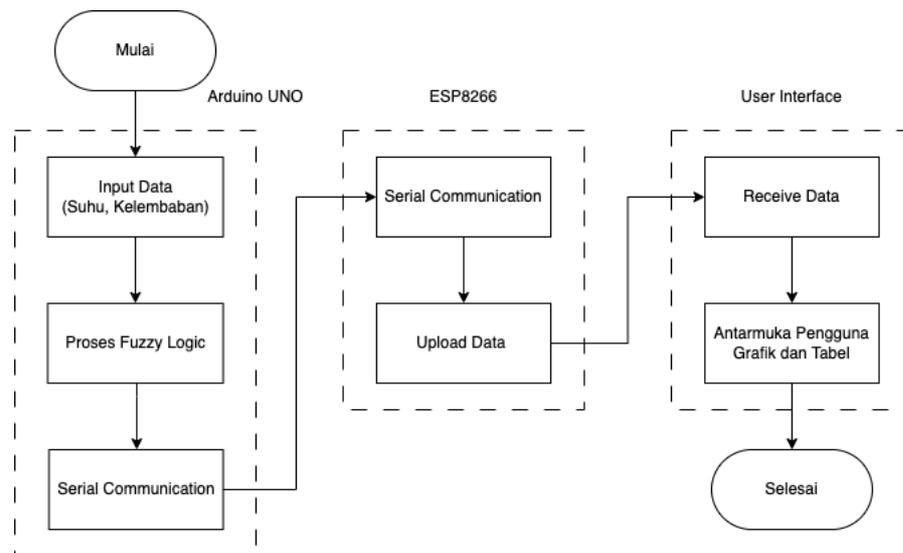
Kerangka kerja sistem deteksi kelayakan tanah yang akan menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan *Fuzzy Logic*. Langkah-langkah yang saya ambil dalam proses desain termasuk konseptualisasi sistem, pemilihan sensor, pembuatan model *Fuzzy Logic*, dan perencanaan antarmuka pengguna.

1. Konseptualisasi Sistem

Arsitektur sistem ini dirancang untuk menerima *input* dari berbagai sensor yang mampu mengukur parameter lingkungan kritis, seperti kelembaban tanah, dan suhu. Data ini akan dikumpulkan dan diproses menggunakan *Fuzzy Tsukamoto* untuk menentukan kelayakan lahan untuk pertumbuhan tanaman.

2. Rancangan Arsitektur Sistem:

Sistem ini sesuai gambar 3.1 akan menggunakan model hirarki dengan tiga lapisan utama: lapisan persepsi (sensor), lapisan pemrosesan (mikrokontroler dan *Fuzzy Tsukamoto*), dan lapisan presentasi (antarmuka pengguna), sebagaimana dalam gambar 3.1 *Flowchart* Sistem



Gambar 3.1 Flowchart Sistem

Sensor akan ditempatkan di lapangan untuk mengumpulkan data secara *real-time* dan mentransmisikannya ke mikrokontroler Arduino, yang bertindak sebagai pusat pengumpulan data sekaligus pemroses *Logika Fuzzy*.

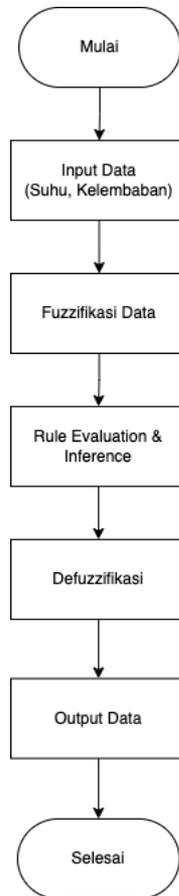
Arduino akan mengirimkan data hasil *Fuzzy* menggunakan *serial communication* ke ESP8266 yang kemudian diteruskan ke hosting pada server lokal atau *cloud*, di mana data akan dianalisis dan model prediksi akan dibuat.

Hasil dari Metode *Fuzzy Logic* dari Arduino melalui ESP8266 kemudian akan dirapihkan menjadi grafik dan table, aplikasi web akan memberikan informasi langsung kepada *user*.

3. Komponen Sistem:

Komponen system yang digunakan yakni pertama Sensor: Sensor akan meliputi, sensor kelembaban tanah, dan suhu. kedua **Mikrokontroler**: Arduino dan ESP8266 ketiga **Kecerdasan Buatan**: Akan menggunakan model *Fuzzy Tsukamoto* sebagaimana gambar 3.2 untuk memungkinkan identifikasi pola dalam

data kompleks. Model ini akan dilatih dengan *dataset* yang telah dikumpulkan untuk memastikan prediksi yang akurat.



Gambar 3.2 *Flowchart Data Fuzzy Logic*

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2 Flowchart Data Fuzzy Logic, maka dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- a) *Input* data, termasuk suhu dan kelembapan tanah, dimasukkan ke dalam sistem fuzzy.
- b) Fuzzifikasi data dilakukan untuk membagi variabel input dan menentukan derajat keanggotaan masing-masing.

- c) Rule evaluation dan inference dilakukan dengan menerapkan aturan fuzzy untuk menentukan tingkat aktivasi dan kombinasi aturan dengan fungsi implikasi.
- d) Defuzzifikasi dilakukan untuk mengubah tingkat aktivasi menjadi output yang konkret.
- e) *Output* berupa rekomendasi tanaman yang direkomendasikan untuk ditanam berdasarkan kondisi tanah yang diukur.

4. Pemilihan Sensor IoT

Dalam desain sistem detektor kelayakan tanah, memahami variabel lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah kritis. Berdasarkan literatur yang ada, identifikasi kelembaban tanah, dan suhu sebagai parameter utama yang perlu dimonitor untuk menilai kelayakan tanah. Sensor yang dipilih harus mampu mengukur parameter ini dengan akurasi yang tinggi dan dalam berbagai kondisi lapangan.

Kriteria utama dalam pemilihan sensor meliputi akurasi, rentang pengukuran, kehandalan dalam berbagai kondisi lingkungan, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, konsumsi daya yang rendah, dan biaya. Dalam pemilihan ini, juga dipertimbangkan ulasan dari pengguna lain, dokumentasi teknis, dan dukungan komunitas. Untuk setiap variabel lingkungan, tabel komparasi dibuat untuk mencantumkan sensor-sensor yang tersedia di pasar. Tabel ini mencakup spesifikasi teknis, rentang pengukuran, akurasi, dan harga. Setelah analisis yang cermat, sensor yang dipilih yakni Sensor Suhu menggunakan DHT11 dan Sensor Kelembaban Tanah menggunakan Capacitive Soil moisture Sensor V1.2

Analisis mendalam terhadap sensor yang dipilih dengan menguji sensor untuk memastikan bahwa sensor memenuhi spesifikasi yang diiklankan. Uji coba ini juga membantu memahami bagaimana sensor bereaksi terhadap fluktuasi lingkungan dan bagaimana sebaiknya mereka ditempatkan di lapangan. Setelah memilih sensor, Langkah selanjutnya merancang skema koneksi untuk mengintegrasikannya dengan Arduino. Saya memastikan bahwa skema ini memungkinkan transfer data yang mulus dan mengembangkan protokol komunikasi yang efisien untuk mengirimkan data dari sensor ke sistem pemrosesan utama.

Untuk memastikan data yang konsisten dan akurat, sensor harus dikalibrasi secara berkala. Jadwal dan prosedur kalibrasi dibuat untuk memastikan integritas data dalam jangka panjang. Langkah-langkah yang diambil didokumentasikan, yang nantinya akan berguna untuk pengembangan lebih lanjut dan untuk memudahkan *replicability* oleh peneliti lain atau oleh petani yang mungkin ingin menggunakan sistem ini.

5. Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami kepada petani tentang kondisi kelayakan tanah. Saya merencanakan antarmuka yang intuitif dengan visualisasi data yang memudahkan interpretasi hasil oleh pengguna. Antarmuka ini juga memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan parameter *query* dan melihat rekomendasi berdasarkan hasil analisis tanah, Antarmuka pengguna untuk sistem deteksi kelayakan tanah dirancang dengan tujuan utama untuk menyederhanakan pengalaman pengguna dan memastikan informasi mengenai kelayakan tanah dapat diakses dengan mudah dan

intuitif. Desain UI mengadopsi prinsip-prinsip desain minimalis untuk mengurangi kekacauan visual dan memudahkan navigasi:

a) Struktur dan Navigasi

Antarmuka pengguna terdiri dari beberapa elemen utama, termasuk *dashboard* utama, menu navigasi, dan halaman detail untuk melihat hasil prediksi kelayakan tanah. *Dashboard* utama menampilkan ringkasan informasi terkini, termasuk data lingkungan terbaru dari sensor dan status kelayakan tanah terkini.

b) Visualisasi Data

Salah satu aspek kunci dari antarmuka pengguna adalah visualisasi data yang memungkinkan pengguna untuk dengan cepat memahami kondisi tanah. Ini termasuk grafik dan peta interaktif yang menunjukkan distribusi nilai kelembaban, dan suhu.

c) Responsivitas dan Aksesibilitas

Antarmuka pengguna dirancang untuk responsif dan dapat diakses melalui berbagai perangkat, termasuk *desktop*, tablet, dan *smartphone*. Hal ini memastikan bahwa petani dapat mengakses informasi kelayakan tanah di lapangan secara *real-time*, memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan tepat.

3.2 Analisis

3.2.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem merupakan langkah awal yang krusial dalam pengembangan sistem deteksi kelayakan tanah menggunakan *Fuzzy Logic*. Proses ini melibatkan pengidentifikasian dan dokumentasi kebutuhan, mencakup segala

aspek mulai dari data *input*, proses pemrosesan data, *output* yang diharapkan, hingga kebutuhan pengguna yang akan berinteraksi dengan sistem.

3.2.2 Analisis Data

Analisis data merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem deteksi kelayakan tanah menggunakan *Fuzzy Logic*. Pada tahap ini, data yang dikumpulkan dari sensor *IoT* akan dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang kondisi tanah dan potensi rekomendasi tanaman yang tepat. Aspek analisis data yang relevan termasuk Visualisasi Data: Data akan divisualisasikan menggunakan grafik dan plot yang sesuai, seperti *scatter* plot untuk menunjukkan hubungan antara variabel atau *time series* plot untuk menunjukkan tren waktu dari data suhu tanah atau kelembapan tanah.

Analisis data ini akan memberikan wawasan yang berharga tentang kondisi tanah dan potensi rekomendasi tanaman yang optimal. Hasil analisis ini akan menjadi dasar bagi pengembangan model *Fuzzy Logic* yang akurat dan efektif dalam sistem deteksi kelayakan tanah.

3.3 Implementasi

Pengaturan lingkungan pengembangan melibatkan persiapan perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan untuk mengembangkan dan menjalankan sistem. Ini termasuk *Input*, *Proses*, dan *Output*, dengan spesifikasi Proses sebagai berikut:

3.3.1 Input

Penelitian ini menggunakan 2 jenis sensor yaitu sensor suhu dan sensor kelembaban, dimana masing-masing sensor memiliki kegunaannya masing-masing.

a) Sensor Suhu

Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu udara atau suhu tanah. Spesifikasi yang penting untuk sensor suhu meliputi rentang suhu yang dapat diukur, resolusi, akurasi, waktu respons, dan kestabilan suhu.

b) Sensor Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban tanah, yang merupakan faktor penting dalam menentukan kondisi tanah untuk pertumbuhan tanaman. Spesifikasi yang perlu dipertimbangkan termasuk rentang kelembaban yang dapat diukur, akurasi, tipe sensor (misalnya kapasitif atau resistif), dan kecocokan dengan jenis tanah yang digunakan.

3.3.2 Proses

Proses melibatkan dua mikrokontroler sebagai otak utama dari memproses input dan menghubungkan nilai sehingga menjadi output, spesifikasi dan fungsi yang digunakan oleh dua mikrokontroler.

1. Arduino Uno

Mikrokontroler pertama adalah Arduino uno. Mikrokontroler ini merupakan papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis pada mikrokontroler ATmega328P. Papan ini dilengkapi dengan 14 pin digital *input/output* (I/O), di antaranya 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM (*Pulse Width Modulation*),

serta 6 pin analog input. Arduino Uno juga memiliki sejumlah fitur tambahan seperti kristal osilator 16 MHz, koneksi USB untuk pengaturan dan pemrograman, dan soket ICSP (*In-Circuit Serial Programming*). Arduino Uno berperan sebagai otak utama dalam sistem, mengumpulkan data dari sensor-sensor yang terhubung dan mengontrol tindakan berdasarkan logika program yang diimplementasikan dalam hal ini adalah *Fuzzy Tsukamoto*. Arduino Uno dapat membaca data sensor, mengolah logika *fuzzy* mengirimkan data ke modul WiFi (ESP8266), dan mengendalikan aktuator atau perangkat lain sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.

2. ESP8266

Mikrokontroler kedua yakni ESP8266 yang merupakan modul WiFi yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Modul ini dilengkapi dengan prosesor Tensilica L106 dengan kecepatan clock hingga 80 MHz, serta memiliki antarmuka WiFi 802.11 b/g/n yang memungkinkan koneksi ke jaringan nirkabel. ESP8266 juga memiliki sejumlah pin GPIO (General Purpose Input/Output) yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor-sensor atau perangkat tambahan. ESP8266 bertanggung jawab untuk mengirimkan data yang dikumpulkan oleh Arduino Uno ke server atau platform *cloud* melalui koneksi WiFi. Modul ini juga dapat menerima perintah dari server untuk menjalankan tindakan tertentu, seperti mengubah pengaturan sensor atau mengaktifkan aktuator. Dengan kemampuannya untuk terhubung ke Internet, ESP8266 memungkinkan sistem untuk mengakses data secara *real-time* dan merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat dan efisien.

3.3.3 Output

Output dimana setelah mikrokontroller Arduino Uno atau ESP8266 mengumpulkan data dari sensor suhu, dan kelembaban tanah, data-data ini akan diproses di dalam mikrokontroller menggunakan algoritma fuzzy, seperti Fuzzy Tsukamoto. Proses ini melibatkan langkah-langkah seperti fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Setelah proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi selesai dilakukan, data hasil pengolahan akan di-*output*-kan ke sebuah *website* atau antarmuka pengguna. Pada *website* tersebut, pengguna akan melihat rekomendasi tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang telah diukur oleh sensor. Informasi yang diberikan akan disajikan secara jelas dan mudah dimengerti, sehingga pengguna dapat dengan cepat mengambil keputusan terkait penanaman tanaman yang optimal.

3.3.4 Implementasi *Fuzzy Tsukamoto*

Desain *Fuzzy Tsukamoto* digunakan dalam sistem ini karena kemampuannya dalam menghasilkan model prediksi yang efektif berdasarkan aturan yang terstruktur dan data yang diberikan. Langkah pertama dalam desain ini adalah fuzzifikasi variabel input, yang melibatkan pembagian variabel input seperti suhu tanah, dan kelembaban tanah, menjadi himpunan fuzzy yang sesuai, melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

A. Fuzzifikasi

Dalam proses fuzzifikasi, data hasil pengukuran dari sensor suhu, kelembaban tanah, akan diubah menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan fuzzy

yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap variabel *input* akan memiliki himpunan fuzzy yang sesuai, yang mencerminkan kondisi lingkungan yang diukur. Variabel *Input* dapat dilihat pada Tabel 3.1 Himpunan Fuzzy *Input*, dan variable *Output* dapat dilihat pada Tabel 3.2 Himpunan Fuzzy *Output*.

Tabel 3.1 Himpunan Fuzzy Input

No	Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
1	<i>Input</i>	Suhu	Dingin	[16, 20]
			Sejuk	[19, 24]
			Hangat	[22, 28]
			Panas	[26, 35]
		Kelembaban Tanah	Kering	[0, 30]
			Normal	[25, 70]
		Basah	[60, 100]	

Tabel 3.2 Himpunan Fuzzy Input

No	Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy
1	<i>Output</i>	Tidak Cocok	[0, 4]
		Cocok	[3, 7]
		Sangat Cocok	[6,10]

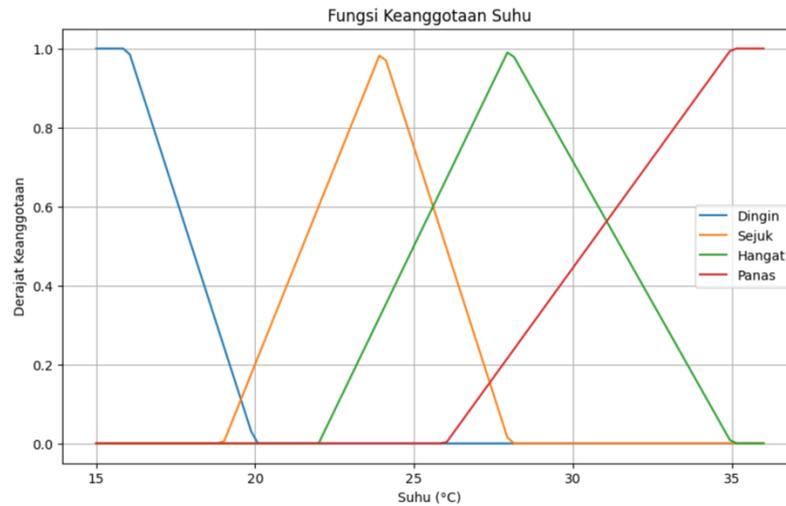
Melalui proses ini, informasi dari sensor IoT dapat diinterpretasikan secara linguistik, memungkinkan sistem untuk beroperasi dengan data yang tidak pasti dan kabur. Selanjutnya, aturan fuzzy dibentuk berdasarkan pengetahuan *domain* atau data historis yang tersedia. Aturan ini menentukan hubungan antara input dan output sistem, menggambarkan pola yang diharapkan dalam data. Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu sebagaimana Gambar 3.3 dapat dijelaskan pada rumus dingin (3.1), lalu sejuk pada rumus (3.2), hangat pada rumus (3.3), dan panas pada rumus (3.4)

$$\mu_{\text{dingin}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } x \leq 16 \\ \frac{20-x}{20-16} & \text{untuk } 16 < x \leq 20 \\ 0 & \text{untuk } x > 20 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu_{\text{sejuk}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \leq 19 \\ \frac{x-19}{24-19} & \text{untuk } 19 < x \leq 24 \\ 1 & \text{untuk } x = 24 \\ \frac{28-x}{28-22} & \text{untuk } 22 < x \leq 28 \\ 0 & \text{untuk } x > 28 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mu_{\text{hangat}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \leq 22 \\ \frac{x-22}{28-22} & \text{untuk } 22 < x \leq 28 \\ 1 & \text{untuk } x = 28 \\ \frac{35-x}{35-26} & \text{untuk } 26 < x \leq 35 \\ 0 & \text{untuk } x > 35 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\mu_{\text{panas}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \leq 26 \\ \frac{x-26}{35-26} & \text{untuk } 26 < x \leq 35 \\ 1 & \text{untuk } x > 35 \end{cases} \quad (3.4)$$



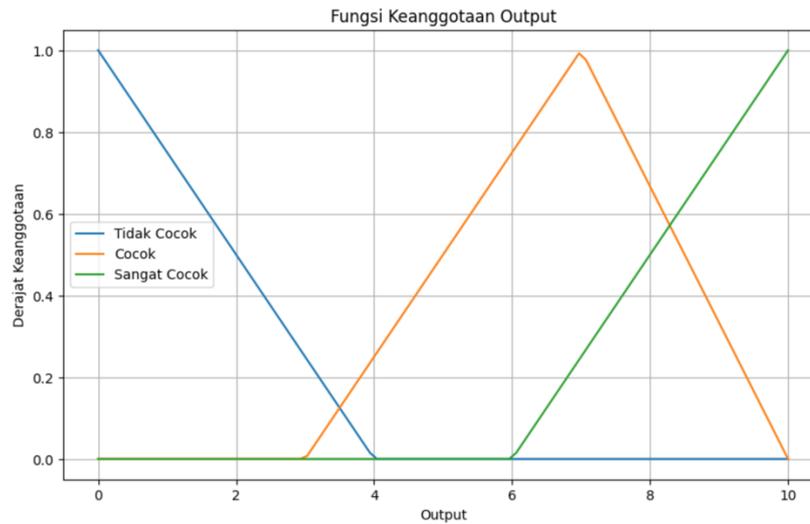
Gambar 3.3 Fungsi Keanggotaan Suhu

Fungsi Keanggotaan Variabel Tanah sebagaimana Gambar 3.4 dapat dijelaskan kering pada rumus (3.5), normal pada rumus (3.6), dan basah pada rumus (3.7).

$$\mu_{\text{kering}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } x \leq 0 \\ \frac{30-x}{30-0} & \text{untuk } 0 < x \leq 30 \\ 0 & \text{untuk } x > 30 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu_{\text{normal}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \leq 25 \\ \frac{x-25}{70-25} & \text{untuk } 25 < x \leq 70 \\ 1 & \text{untuk } x = 70 \\ \frac{100-x}{100-60} & \text{untuk } 60 < x \leq 100 \\ 0 & \text{untuk } x > 100 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\mu_{\text{basah}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \leq 60 \\ \frac{x-60}{100-60} & \text{untuk } 60 < x \leq 100 \\ 1 & \text{untuk } x > 100 \end{cases} \quad (3.7)$$



Gambar 3.4 Fungsi Keanggotaan Kelembaban Tanah

Fungsi keanggotaan fuzzy digunakan untuk memetakan nilai numerik ke dalam derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy tertentu. Pemilihan fungsi keanggotaan *triangular* (segitiga) dan *trapezoidal* (trapesium) didasarkan pada karakteristik transisi dan rentang nilai yang ingin direpresentasikan.

1. Suhu

Pada variabel suhu, terdapat empat kategori yang dibagi berdasarkan nilai suhu yaitu "Dingin," "Sejuk," "Hangat," dan "Panas." Berikut adalah rincian untuk masing-masing kategori:

a) Dingin (16-20°C)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *triangular* karena transisi dari kondisi tidak dingin ke dingin relatif cepat dan tajam. Bentuk segitiga mencakup rentang nilai 16°C hingga 20°C dengan puncak keanggotaan penuh di 18°C. Didasarkan pada hasil analisis pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perbandingan Sensor Suhu Dingin

Percobaan	Sensor Arduino (°C)	Termometer (°C)	Error (%)	Accuracy (%)

1	17.03	17.05	1.14	98.86
2	18.02	18.01	0.55	99.45
3	19.01	19.02	0.52	99.48
4	16.08	16.09	0.59	99.41
5	20.01	20.02	0.50	99.50

b) Sejuk (19-24°C)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *trapezoidal* karena terdapat rentang nilai di tengah yang sepenuhnya sejuk dan transisi di kedua sisi yang lebih gradual. Bentuk trapesium mencakup rentang nilai dari 19°C hingga 24°C dengan keanggotaan penuh antara 21°C dan 23°C. Didasarkan pada hasil analisis tabel 3.4. sebagai perbandingan.

Tabel 3.4 Perbandingan Sensor Suhu Sejuk

Percobaan	DHT11 (°C)	Temometer (°C)	Error (%)	Accuracy (%)
1	20.04	20.06	0.06	99.03
2	21.03	21.02	0.47	99.53
3	22.01	22.03	0.06	99.10
4	23.07	23.06	0.42	99.58
5	24.02	24.00	0.05	99.17

c) Hangat (22-28°C)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *trapezoidal* karena rentangnya lebih luas dan perubahan suhu lebih gradual. Bentuk trapesium mencakup rentang nilai dari 22°C hingga 28°C dengan keanggotaan penuh antara 24°C dan 26°C. Didasarkan pada hasil analisis Pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perbandingan Sensor Suhu Hangat

Percobaan	DHT11 (°C)	Temometer (°C)	Error (%)	Accuracy (%)
1	25.04	25.07	1.17	98.83
2	26.02	26.00	0.05	99.23

3	27.01	27.04	1.09	98.91
4	27.08	28.00	0.04	99.29
5	28.03	28.01	0.04	99.29

d) Panas (26-35°C)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *trapezoidal* karena mencakup rentang yang lebih luas dan perubahan suhu lebih gradual. Bentuk trapesium mencakup rentang nilai dari 26°C hingga 35°C dengan keanggotaan penuh antara 29°C dan 32°C. Didasarkan pada hasil analisis pada table 3.6.

Tabel 3.6 Perbandingan Sensor Suhu Panas

Percobaan	DHT11 (°C)	Temometer (°C)	Error (%)	Accuracy (%)
1	30.06	30.05	0.33	99.67
2	31.02	31.03	0.32	99.68
3	32.03	32.02	0.31	99.69
4	34.07	34.05	0.58	99.42
5	35.01	35.02	0.28	99.72

2. Kelembaban Tanah

Pada variabel kelembaban tanah, terdapat tiga kategori yang dibagi berdasarkan nilai kelembaban yaitu "Kering," "Normal," dan "Basah." Berikut adalah rincian untuk masing-masing kategori:

a) Kering (0-30%)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *triangular* karena transisi dari kondisi tidak kering ke kering relatif cepat. Bentuk segitiga mencakup rentang nilai 0% hingga 30% dengan puncak keanggotaan penuh di 15%.

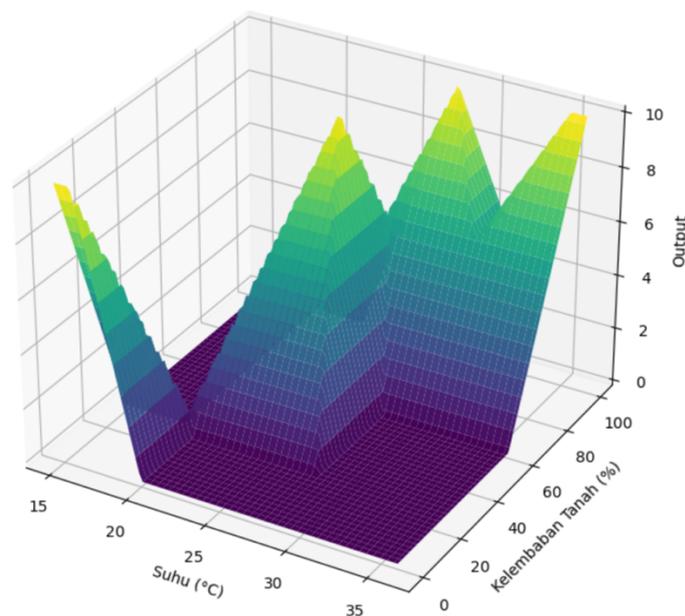
b) Normal (25-70%)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *trapezoidal* karena rentangnya luas dengan nilai di tengah yang sepenuhnya normal. Bentuk trapesium mencakup rentang nilai dari 25% hingga 70% dengan keanggotaan penuh antara 35% dan 50%.

c) Basah (60-100%)

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *trapezoidal* karena rentangnya luas dan perubahan kelembaban lebih gradual. Bentuk trapesium mencakup rentang nilai dari 60% hingga 100% dengan keanggotaan penuh antara 70% dan 80%.

Fungsi-fungsi keanggotaan tersebut juga kemudian akan menghasilkan ukuran input dan output yang sesuai sehingga dapat dilihat melalui visualisasi 3D grafik fungsi keanggotaan sebagaimana terdapat pada Gambar 3.5 Grafik 3D visualisasi fungsi keanggotaan.



Gambar 3.5 Grafik 3D visualisasi fungsi keanggotaan

B. Pembentukan *Rule*

Pembuatan aturan atau *rule* dalam sistem berbasis logika fuzzy sangat penting untuk menghubungkan variabel *input* dengan variabel *output*. Dalam konteks ini, aturan-aturan yang dibuat akan menentukan bagaimana pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan kondisi yang diukur oleh sensor-sensor. Pada tahap pembuatan *rule*, aturan-aturan linguistik didefinisikan berdasarkan pengetahuan domain, sebagaimana table 3.7. dimana pembuatan rule sistem dibuat.

Tabel 3.7 Pembuatan Rule

No.	Suhu	Kelembaban Tanah	<i>Output</i> Tanaman Apel	<i>Output</i> Tanaman Tomat	<i>Output</i> Tanaman Buah Naga
1	Dingin	Kering	Tidak cocok	Tidak cocok	Tidak cocok
2	Dingin	Normal	Cocok	Tidak cocok	Cocok
3	Dingin	Basah	Sangat cocok	Tidak cocok	Sangat cocok
4	Sejuk	Kering	Cocok	Cocok	Cocok
5	Sejuk	Normal	Sangat cocok	Cocok	Cocok
6	Sejuk	Basah	Cocok	Cocok	Cocok
7	Hangat	Kering	Tidak cocok	Cocok	Tidak cocok
8	Hangat	Normal	Cocok	Sangat cocok	Cocok
9	Hangat	Basah	Tidak cocok	Sangat cocok	Tidak cocok
10	Panas	Kering	Tidak cocok	Cocok	Tidak cocok
11	Panas	Normal	Cocok	Cocok	Cocok
12	Panas	Basah	Cocok	Cocok	Cocok

C. Implikasi

Fungsi implikasi diterapkan untuk menentukan seberapa kuat suatu nilai masukan termasuk dalam himpunan fuzzy dan kontribusi setiap aturan terhadap output sistem. Dalam konteks ini, fungsi implikasi yang umum digunakan adalah fungsi MIN.

Fungsi MIN digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar kontribusi masing-masing aturan terhadap nilai keanggotaan himpunan fuzzy pada variabel

output. Prosesnya adalah dengan membandingkan derajat keanggotaan input dengan derajat keanggotaan pada bagian konklusi aturan fuzzy. Aturan dengan derajat keanggotaan input yang lebih kecil akan memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap output sistem.

Dalam suatu kasus tertentu, Suhu: 27°C Kelembaban Tanah: 40%, Maka jika disesuaikan dengan fungsi keanggotaan yang telah diidentifikasi diatas, menghasilkan nilai Keanggotaan Variabel Suhu

$$\mu_{dingin}(27) = 0$$

$$\mu_{sejuk}(27) = 0$$

$$\mu_{hangat}(27) = \frac{28 - 27}{28 - 22} = \frac{1}{6} \approx 0.17$$

$$\mu_{panas}(27) = \frac{27 - 26}{35 - 26} = \frac{1}{9} \approx 0.11$$

Nilai Kenggotaan Variabel Kelembaban Tanah

$$\mu_{kering}(40) = 0$$

$$\mu_{normal}(40) = \frac{40 - 25}{70 - 25} = \frac{15}{45} = \frac{1}{3} \approx 0.33$$

$$\mu_{basah}(40) = 0$$

Dengan demikian, tingkat keanggotaan untuk setiap himpunan fuzzy dari variabel input telah disesuaikan dengan data yang Anda berikan, Selanjutnya menggunakan metode MIN untuk menentukan nilai keanggotaan terbesar dari setiap aturan fuzzy: Rumus Implikasi MIN sebagaimana rumus 3.8.

$$\mu C(z) = \text{MIN}(\mu A(x), \mu B(y)) \quad (3.8)$$

1. Tanaman Apel

Aturan yang relevan:

Jika Suhu adalah Hangat dan Kelembaban adalah Normal maka Tanaman Apel adalah Cocok.

- a) Derajat keanggotaan Hangat: 0.17
- b) Derajat keanggotaan Normal: 0.33
- c) Implikasi MIN: Fire Strength = $\text{MIN}(0.17, 0.33) = 0.17$
- d) Output: Cocok (nilai crisp $z=5$)

2. Tanaman Tomat

Aturan yang relevan: Jika Suhu adalah Hangat dan Kelembaban adalah Normal maka Tanaman Tomat adalah Cocok.

- a) Derajat keanggotaan Hangat: 0.17
- b) Derajat keanggotaan Normal: 0.33
- c) Implikasi MIN: $\text{MIN}(0.17, 0.33) = 0.17$
- d) Output: Cocok (nilai crisp $z=5$)

3. Tanaman Buah Naga

Tidak ada aturan yang relevan untuk kombinasi suhu Hangat dan kelembaban Normal, sehingga tidak cocok. Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa *Fire Strength* terbesar adalah 0.3, yang sesuai dengan Aturan 1 dan Aturan 2. Oleh karena itu, *output* yang dihasilkan adalah "Layak Tanam Kelompok B" dan "Tidak Layak Tanam".

D. Defuzzifikasi

Pada tahap defuzzifikasi, kita akan mengubah nilai-nilai keanggotaan yang telah dihitung sebelumnya menjadi nilai konkret yang merepresentasikan output sistem secara keseluruhan. Defuzzifikasi dalam metode Tsukamoto dihitung dengan cara mengambil rata-rata berbobot dari semua output yang relevan. Nilai *crisp z* dihitung dengan rumus (3.9).

$$z = \frac{\Sigma(\mu_i \cdot z_i)}{\Sigma(\mu_i)} \quad (3.9)$$

1. Tanaman Apel

$$z_{\text{apel}} = \frac{\Sigma(\mu_i \times z_i)}{\Sigma(\mu_i)} = \frac{(0.17 \times 5)}{0.17} = 5$$

2. Tanaman Tomat

$$z_{\text{tomat}} = \frac{\Sigma(\mu_i \times z_i)}{\Sigma(\mu_i)} = \frac{(0.17 \times 5)}{0.17} = 5$$

E. Kesimpulan

Dengan suhu 27°C dan kelembaban tanah 40%:

1. Tanaman Apel: Cocok dengan nilai *crisp* 5
2. Tanaman Tomat: Cocok dengan nilai *crisp* 5
3. Tanaman Buah Naga: Tidak ada aturan yang relevan untuk kondisi ini, sehingga dianggap tidak cocok.

3.1 Rencana Pengujian

Pengujian akan dilakukan menggunakan pendekatan sistematis untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pendekatan ini bertujuan

untuk memberikan gambaran yang akurat tentang kemampuan sistem dalam memberikan rekomendasi tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang terukur melalui sensor IoT. Serangkaian pengujian direncanakan untuk dilaksanakan, yang terdiri dari 10 iterasi.

Dalam setiap iterasi pengujian, data mengenai kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban tanah, akan diambil dari sensor IoT sekaligus hasil penerapannya pada metode Fuzzy. Data ini kemudian akan diberikan sebagai input ke dalam sistem yang telah dibangun untuk menghasilkan rekomendasi tanaman sebagaimana table 3.3.8. Rekomendasi tanaman yang dihasilkan akan dibandingkan dengan rekomendasi tanaman yang seharusnya berdasarkan kondisi lingkungan yang diukur secara aktual.

Tabel 3.8 Pengujian

No	Suhu	Kelembaban Tanah	Output Fuzzy		
			Apel	Tomat	Buah Naga
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Metode evaluasi yang akan digunakan adalah *confusion matrix*, sebuah alat evaluasi yang umum digunakan dalam sistem klasifikasi. *Confusion matrix* pada tabel 3.3.9. akan memungkinkan untuk mengukur akurasi sistem dengan membandingkan kelas aktual dengan kelas yang diprediksi oleh sistem. Dengan

menggunakan confusion matrix, kemudian akan dapat dihitung berbagai metrik evaluasi salah satunya adalah akurasi.

Tabel 3.9 Confusion Matrix

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	False	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Keterangan:

- TP adalah **True Positive** (jumlah sampel yang benar diklasifikasikan sebagai kelas yang benar).
- TN adalah **True Negative** (jumlah sampel yang benar diklasifikasikan sebagai bukan kelas yang benar).
- FP adalah **False Positive** (jumlah sampel yang salah diklasifikasikan sebagai kelas tertentu padahal seharusnya tidak).
- FN adalah **False Negative** (jumlah sampel yang salah diklasifikasikan sebagai bukan kelas tertentu padahal seharusnya iya).

Selanjutnya adalah mengukur tingkat akurasi, Rumus untuk menghitung akurasi (accuracy) berdasarkan confusion matrix adalah sebagai mana rumus:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3.10)$$

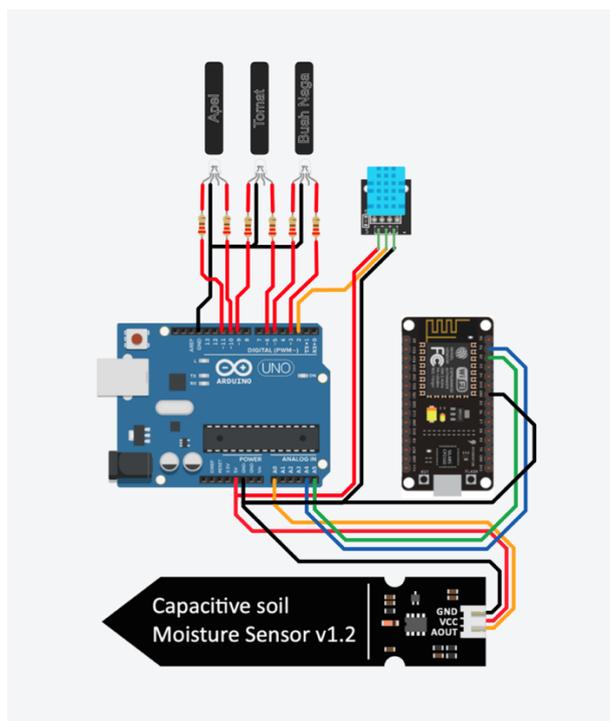
BAB IV

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

4.1 Implementasi Sistem

4.1.1 Implementasi *Hardware*

Rangkaian konsep hardware disini memiliki konsep minimalis dengan menggunakan rangkaian Arduino dan ESP8266, dimana dengan disertai sensor sensornya sebagaimana gambar 4.1 yakni sensor kelembaban tanah dan sensor suhu yang langsung terhubung.



Gambar 4. 1 Rangkaian Komponen Hardware

A. Rangkaian *Input*

Rangkaian *input* dalam detektor pintar kelayakan tanah menggunakan dua sensor utama yaitu sensor DHT11 dan sensor Soil Moisture V2. Rangkaian ini bertujuan untuk mengumpulkan data lingkungan yang akan diproses.

1. Sensor DHT11

- a) Pin VCC: Pin ini terhubung ke pin 5V pada Arduino UNO, yang memberikan daya sebesar 5V ke sensor.
- b) Pin GND: Pin ini terhubung ke pin GND pada Arduino UNO untuk menyelesaikan rangkaian listrik.
- c) Pin Data: Pin ini digunakan untuk mengirim data suhu dan kelembaban yang diukur oleh sensor ke Arduino. Pin Data pada DHT11 dihubungkan ke pin digital 2 pada Arduino UNO. Penggunaan pin ini memungkinkan Arduino untuk membaca sinyal digital yang dikirim oleh sensor.

2. Sensor kelembaban tanah

- a) Pin VCC: Pin ini juga dihubungkan ke pin 5V pada Arduino UNO, berbagi pin yang sama dengan VCC dari sensor DHT11. Ini menyediakan daya sebesar 5V untuk sensor.
- b) Pin GND: Pin ini dihubungkan ke pin GND pada Arduino UNO untuk menyelesaikan rangkaian listrik.
- c) Pin Data: Pin ini mengeluarkan nilai analog yang menggambarkan kelembaban tanah. Data ini dihubungkan ke pin analog A0 pada Arduino UNO, memungkinkan Arduino untuk membaca tegangan analog yang berkaitan dengan tingkat kelembaban tanah.

B. Rangkaian *Output*

Rangkaian *output* detektor pintar ini mencakup komunikasi serial dengan modul ESP8266 untuk konektivitas jaringan ke *WEBSITE* serta indikator LED

RGB untuk memberikan umpan balik visual mengenai kelayakan tanah untuk tiga jenis tanaman: apel, tomat, dan buah naga.

1. Serial Communication ESP8266

- a) Pin D1 pada ESP8266: Pin ini digunakan untuk komunikasi data serial. Pada ESP8266, pin ini sering digunakan untuk GPIO5 (General Purpose Input/Output 5).
- b) Pin D2 pada ESP8266: Pin ini juga digunakan untuk komunikasi data serial. Pada ESP8266, pin ini sering digunakan untuk GPIO4 (General Purpose Input/Output 4).
- c) Koneksi ke Arduino UNO: Pin A4 pada Arduino (SDA): Pin ini dihubungkan ke pin D1 (GPIO5) pada ESP8266 untuk komunikasi serial data (SDA - Serial Data). Pin A5 pada Arduino (SCL): Pin ini dihubungkan ke pin D2 (GPIO4) pada ESP8266 untuk komunikasi serial clock (SCL - Serial Clock). Kombinasi ini memungkinkan transfer data antara Arduino UNO dan ESP8266, memanfaatkan protokol I2C untuk komunikasi serial.

2. LED RGB

LED RGB digunakan untuk memberikan umpan balik visual yang mudah dipahami mengenai kelayakan tanah untuk masing-masing tanaman. Setiap LED memiliki empat kaki: kaki untuk warna merah (R), hijau (G), biru (B), dan *ground* (GND).

- a) LED Indikator untuk Apel: Merah: Kaki warna merah dihubungkan ke pin digital 11 (PWM) pada Arduino, Hijau: Kaki warna hijau dihubungkan ke pin

- digital 10 (PWM) pada Arduino., Ground: Kaki ground dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
- b) LED Indikator untuk Tomat: Merah: Kaki warna merah dihubungkan ke pin digital 9 (PWM) pada Arduino. Hijau: Kaki warna hijau dihubungkan ke pin digital 6 (PWM) pada Arduino. Ground: Kaki ground dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
 - c) LED Indikator untuk Buah Naga: Merah: Kaki warna merah dihubungkan ke pin digital 5 (PWM) pada Arduino, Hijau: Kaki warna hijau dihubungkan ke pin digital 3 (PWM) pada Arduino, Ground: Kaki ground dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
 - d) Semua kaki ground dari LED RGB digabungkan menjadi satu dan dihubungkan ke pin GND pada Arduino UNO. Penggunaan pin PWM (*Pulse Width Modulation*) pada Arduino memungkinkan pengaturan intensitas cahaya untuk setiap warna, sehingga memberikan umpan balik visual yang jelas tentang kelayakan tanah.

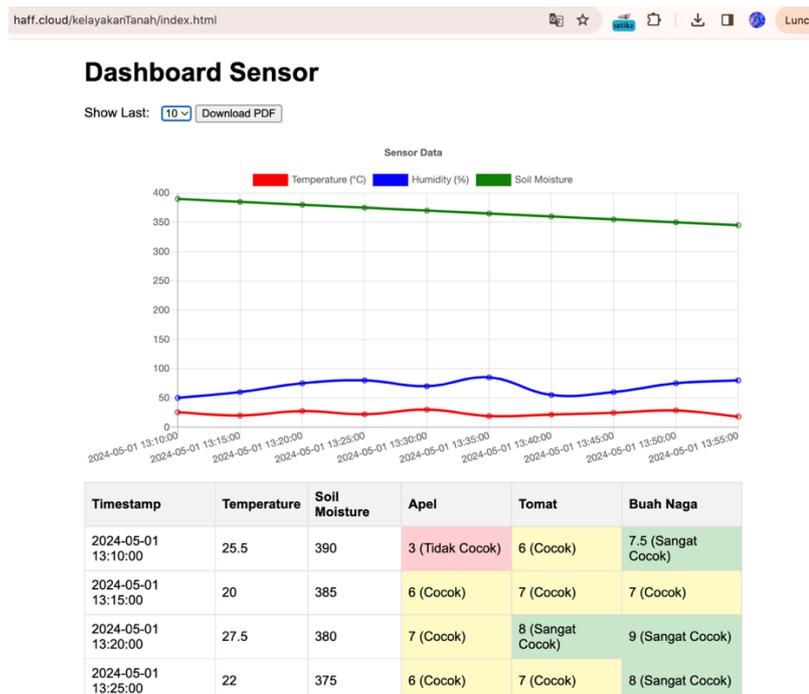
4.1.2 Implementasi *Website*

Implementasi *website* yang digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran sensor suhu dan kelembaban tanah yang telah diolah menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Implementasi dipergunakan dalam laman website personal: haff.cloud/kelayakanTanah . Website ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi tanah secara real-time serta menyediakan fitur-fitur tambahan untuk analisis data lebih lanjut, maka daripada itu website dibuat

agar mampu responsif dalam penggunaannya baik di PC ataupun melalui *Smartphone*.

1. Desain Dashboard

Website ini memiliki *dashboard* utama yang menampilkan grafik data sensor dan tabel informasi hasil fuzzy dari pengukuran terakhir. Pada *dashboard* ini sebagaimana gambar 4.2, pengguna dapat memilih jumlah data terakhir yang ingin ditampilkan, dengan opsi 5, 10, atau 30 data terakhir. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melihat tren perubahan dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 4.2 Dashborad Website

2. Struktur dan Fitur

a) Tampilan Grafik

Dashboard menampilkan grafik garis yang menunjukkan perubahan suhu, kelembaban tanah, dan moisture tanah dari waktu ke waktu. Grafik ini

menggunakan pustaka Chart.js untuk visualisasi data yang dinamis dan interaktif. Grafik ini membantu pengguna untuk melihat tren dan anomali dalam data sensor dengan mudah.

b) Tabel Data

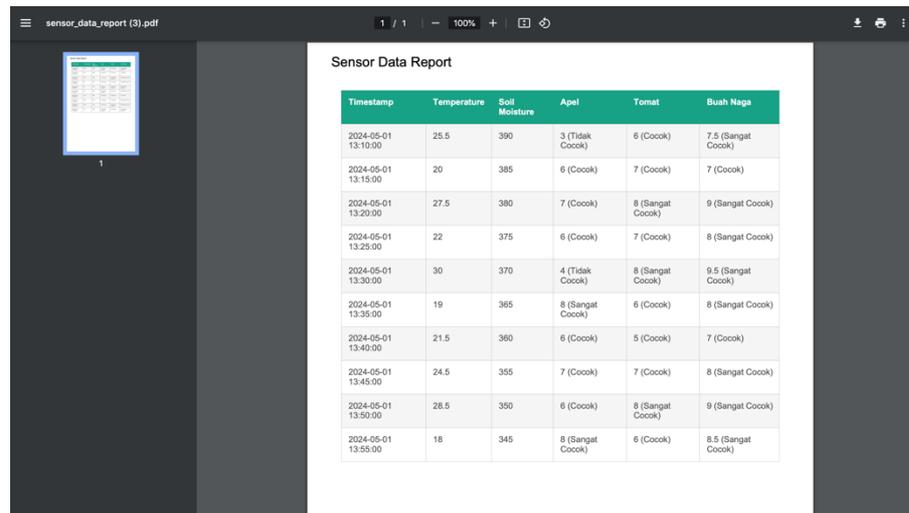
Di bawah grafik, terdapat tabel yang menampilkan data lengkap dari pengukuran sensor. Tabel ini mencakup kolom timestamp, temperature, soil moisture, serta hasil fuzzy untuk apel, tomat, dan buah naga. Hasil fuzzy ditampilkan dalam format nilai crisp disertai label kategori kecocokan (Tidak Cocok, Cocok, Sangat Cocok) yang diwarnai untuk memudahkan identifikasi visual.

c) Indikator Warna

Untuk memudahkan pengguna dalam menilai kondisi tanah, hasil fuzzy pada tabel diberi kode warna. Hasil yang sangat cocok diberi warna hijau, cocok diberi warna kuning, dan tidak cocok diberi warna merah. Ini memberikan pandangan sekilas tentang status kesesuaian tanah untuk masing-masing jenis tanaman.

d) Fitur Download PDF

Website juga menyediakan tombol untuk mendownload data tabel dalam format PDF. Fitur ini menggunakan pustaka jsPDF dan jsPDF-AutoTable untuk menghasilkan laporan yang rapi dan terstruktur pada Gambar 4.3. Laporan PDF mencakup semua data dari tabel, disusun dalam format yang mudah dibaca dan diarsipkan.



The image shows a PDF viewer displaying a report titled "Sensor Data Report". The report contains a table with the following data:

Timestamp	Temperature	Soil Moisture	Apel	Tomat	Buah Naga
2024-05-01 13:10:00	25.5	390	3 (Tidak Cocok)	6 (Cocok)	7.5 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:15:00	20	385	6 (Cocok)	7 (Cocok)	7 (Cocok)
2024-05-01 13:20:00	27.5	380	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:25:00	22	375	6 (Cocok)	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:30:00	30	370	4 (Tidak Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9.5 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:35:00	19	365	8 (Sangat Cocok)	6 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:40:00	21.5	360	6 (Cocok)	5 (Cocok)	7 (Cocok)
2024-05-01 13:45:00	24.5	355	7 (Cocok)	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:50:00	28.5	350	6 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:55:00	18	345	8 (Sangat Cocok)	6 (Cocok)	8.5 (Sangat Cocok)

Gambar 4.3 Laporan Sensor berformat PDF

3. Kode *Backend*

Data sensor diambil dari server menggunakan *endpoint* **get_data.php** yang ditulis dalam PHP. *Pseudocode 4.1* menjelaskan bagaimana detail *pseudocode* dari `get_data.php` berjalan. *Endpoint* ini mengambil data dari *database* dan mengembalikannya dalam format JSON untuk diolah dan ditampilkan di *dashboard*.

Pseudocode 4.1 getData.php

```
Tentukan servername sebagai "localhost"  
Tentukan username sebagai "username"  
Tentukan password sebagai "password"  
Tentukan dbname sebagai "sensor_data_db"  
  
Buat koneksi MySQLi baru dengan servername, username, password, dan  
dbname  
  
Jika koneksi gagal  
Hentikan skrip dan cetak pesan kesalahan koneksi  
  
Periksa apakah parameter 'count' diatur dalam permintaan GET  
Jika diatur, ubah parameter 'count' menjadi bilangan bulat  
Jika tidak diatur, set 'count' menjadi 10  
  
Siapkan query SQL untuk memilih timestamp, temperature, soil_moisture, dan  
fuzzy_result dari tabel sensor_data  
Urutkan hasil berdasarkan timestamp secara menurun  
Batasil jumlah hasil sesuai dengan nilai 'count'  
  
Siapkan statement SQL  
Kaitkan parameter 'count' ke statement SQL  
Eksekusi statement SQL  
Dapatkan hasil dari query  
  
Inisialisasi array kosong 'data'  
Selama ada baris dalam hasil set  
Ambil array asosiatif dari baris saat ini  
Tambahkan baris ke array 'data'  
  
Tutup statement SQL  
Tutup koneksi database
```

Terdapat pula Receive_data.php yang berguna untuk menerima masukan data dari Arduino melalui ESP8266 dijelaskan pada detail Pseudocode 4.2.

4. Implementasi JavaScript

Pseudocode 4.2 Receive Data

```

Tentukan servername sebagai "localhost"
Tentukan username sebagai "username"
Tentukan password sebagai "password"
Tentukan dbname sebagai "database_name"

Buat koneksi MySQLi baru dengan servername, username, password, dan
dbname

Jika koneksi gagal
Hentikan skrip dan cetak pesan kesalahan koneksi

Jika metode permintaan adalah POST
Ambil 'data' dari permintaan POST
Pisahkan 'data' dengan koma menjadi temp, hum, soil, dan fuzzy
Konversi temp menjadi float dengan memisahkan berdasarkan titik dua dan
mengambil elemen kedua
Konversi hum menjadi float dengan memisahkan berdasarkan titik dua dan
mengambil elemen kedua
Konversi soil menjadi integer dengan memisahkan berdasarkan titik dua dan
mengambil elemen kedua
Ambil nilai fuzzy dengan memisahkan berdasarkan titik dua dan mengambil
elemen kedua

Siapkan statement SQL insert untuk memasukkan temperature, humidity,
soil_moisture, dan fuzzy_result ke tabel sensor_data
Eksekusi statement SQL insert

Jika insert berhasil
Cetak pesan sukses
Else
Cetak pesan error beserta statement SQL dan detail error

```

Pada sisi klien, JavaScript digunakan untuk mengambil data dari server dan memperbarui tampilan grafik serta tabel di *dashboard*. Data diambil menggunakan fungsi `fetchData` dan diolah untuk ditampilkan di grafik menggunakan `Chart.js` dan di tabel HTML. Fungsi download PDF menggunakan pustaka `jsPDF` dan `jsPDF-AutoTable` untuk menghasilkan file PDF dari tabel HTML.

Implementasi JavaScript yang digunakan untuk memperbarui dashboard dan mengunduh data sebagai PDF adalah sebagaimana pada *Pseudocode 4.3*.

Pseudocode 4.3

```
Function fetchData(count)
  Kirim permintaan GET ke 'get_data.php' dengan parameter count
  Parse dan kembalikan respons JSON

Function updateDashboard()
  Dapatkan nilai elemen input 'dataCount'
  Panggil fetchData dengan nilai count tersebut
  Ketika data diterima
    Panggil updateChart dengan data
    Panggil updateTable dengan data

Function updateChart(data)
  Dapatkan konteks elemen kanvas 'sensorChart'
  Ekstrak timestamp, temperature, humidity, dan soil moisture dari data
  Jika grafik sudah ada, hancurkan grafik tersebut
  Buat grafik garis baru dengan data yang diekstrak dan perbarui variabel global
  sensorChart

Function updateTable(data)
  Dapatkan elemen tbody dari 'dataTable'
  Kosongkan isi dari tbody
  Untuk setiap item dalam data
    Masukkan baris baru ke dalam tbody
    Masukkan sel untuk timestamp, temperature, soil moisture, apple fuzzy result,
    tomato fuzzy result, dan dragonfruit fuzzy result
    Ekstrak dan pisahkan hasil fuzzy menjadi apple, tomato, dan dragonfruit
    Atur teks konten dan nama kelas untuk setiap sel hasil fuzzy
```

```

Function getClassNamForFuzzyResult(value)
  Jika nilai > 7
    Kembalikan 'good'
  Else jika nilai > 4
    Kembalikan 'moderate'
  Else
    Kembalikan 'bad'

Function getFuzzyLabel(value)
  Jika nilai > 7
    Kembalikan 'Sangat Cocok'
  Else jika nilai > 4
    Kembalikan 'Cocok'
  Else
    Kembalikan 'Tidak Cocok'

Function downloadPDF()
  Buat instance baru jsPDF
  Tambahkan judul ke PDF
  Dapatkan elemen 'dataTable'
  Ekstrak header dan data baris dari tabel
  Gunakan autoTable untuk membuat tabel dalam PDF dengan data yang
  diekstrak
  Simpan PDF dengan nama file 'sensor_data_report.pdf'

```

Implementasi *website* ini memberikan solusi yang komprehensif untuk memantau dan menganalisis data sensor suhu dan kelembaban tanah. Dengan fitur visualisasi data melalui grafik dan tabel, serta kemampuan untuk mendownload laporan dalam format PDF, *website* ini mempermudah pengguna dalam mengambil keputusan berdasarkan kondisi tanah yang terukur. Fitur-fitur tambahan seperti pemilihan jumlah data yang ditampilkan dan indikator warna hasil fuzzy semakin menambah nilai guna dari sistem ini.

4.1.3 Implementasi Fuzzy Tsukamoto

Runtutan alur implementasi Fuzzy Tsukamoto yang digunakan untuk menentukan kelayakan tanah bagi tanaman pangan berdasarkan data suhu dan kelembaban tanah yang diperoleh dari sensor. Implementasi ini dilakukan pada Arduino yang dijelaskan pada *Pseudocode 4.4* dan melibatkan beberapa langkah mulai dari pengumpulan data sensor hingga perhitungan hasil fuzzy yang kemudian dikirimkan ke ESP8266 untuk ditampilkan di *website*.

Pseudocode 4. 4

```

Sertakan library DHT
Sertakan library SoftwareSerial
Sertakan library Adafruit_Sensor

Tentukan pin sensor DHT sebagai 2
Tentukan pin sensor Kelembaban Tanah sebagai A0
Tentukan tipe DHT sebagai DHT11

Buat objek DHT dengan DHTPIN dan DHTTYPE
Buat objek SoftwareSerial untuk komunikasi dengan ESP8266 dengan pin RX 4 dan TX 7

Tentukan pin LED untuk tanaman berbeda
APPLE_RED sebagai 11
APPLE_GREEN sebagai 10
TOMATO_RED sebagai 9
TOMATO_GREEN sebagai 5
DRAGON_RED sebagai 4
DRAGON_GREEN sebagai 3

Fungsi setup()
Mulai komunikasi serial dengan baud rate 9600
Mulai komunikasi espSerial dengan baud rate 9600
Inisialisasi sensor DHT
Atur pin SOIL_MOISTURE_PIN sebagai INPUT
Inisialisasi pin LED sebagai OUTPUT

Fungsi loop()
Baca suhu dari sensor DHT
Baca kelembaban dari sensor DHT
Baca kelembaban tanah dari SOIL_MOISTURE_PIN

Jika gagal membaca dari sensor, cetak pesan error dan kembali

```

Berikut adalah kode implementasi Fuzzy Tsukamoto pada Arduino:

Pseudocode 4.5 Perhitungan Fuzzy pada Arduino

```

Hitung nilai fuzzy untuk apel menggunakan suhu dan kelembaban tanah
Hitung nilai fuzzy untuk tomat menggunakan suhu dan kelembaban tanah
Hitung nilai fuzzy untuk buah naga menggunakan suhu dan kelembaban tanah

Format hasil fuzzy sebagai "apel-tomat-buah naga"
Format data yang akan dikirim ke ESP8266 termasuk suhu, kelembaban, kelembaban tanah,
dan hasil fuzzy

Kirim data yang diformat ke ESP8266

Atur indikator LED berdasarkan hasil fuzzy untuk apel, tomat, dan buah naga

Tunda selama 20 detik

Fungsi fuzzify(nilai, min, max)
Jika nilai kurang dari atau sama dengan min, kembalikan 0
Jika nilai lebih dari atau sama dengan max, kembalikan 10
Kembalikan nilai yang terskala antara 0 dan 10

Fungsi calculateFuzzy(suhu, kelembabanTanah, tanaman)
Jika tanaman adalah "apel"
    Tetapkan rentang suhu ideal untuk apel
    Tetapkan rentang kelembaban tanah ideal untuk apel
Jika tanaman adalah "tomat"
    Tetapkan rentang suhu ideal untuk tomat
    Tetapkan rentang kelembaban tanah ideal untuk tomat
Jika tanaman adalah "buah naga"
    Tetapkan rentang suhu ideal untuk buah naga
    Tetapkan rentang kelembaban tanah ideal untuk buah naga

Hitung nilai fuzzy untuk rentang suhu
    tempDingin, tempSejuk, tempHangat, tempPanas

Hitung nilai fuzzy untuk rentang kelembaban tanah
    moistureKering, moistureNormal, moistureBasah

Hitung nilai kecocokan menggunakan fungsi min untuk kombinasi suhu dan kelembaban
    suitabilityDingin, suitabilitySejuk, suitabilityHangat, suitabilityPanas

```

Hitung nilai kecocokan rata-rata
 Konversi kecocokan ke skala 0-10 dan kembalikan nilainya

Fungsi setLED(pinMerah, pinHijau, kecocokan)
 Jika kecocokan lebih besar atau sama dengan 7
 Nyalakan LED hijau dan matikan LED merah
 Jika kecocokan lebih besar atau sama dengan 5
 Atur kedua LED merah dan hijau dengan kecerahan sedang
 Jika tidak
 Nyalakan LED merah dan matikan LED hijau

1. Penjelasan Kode Arduino dalam Implementasi *Fuzzy Logic*
 - a) **Inisialisasi dan Pembacaan Data Sensor**
 - Inisialisasi pin untuk sensor DHT11 dan *Soil Moisture*.
 - Pembacaan data suhu dan kelembaban dari sensor DHT11.
 - Pembacaan data kelembaban tanah dari sensor *Soil Moisture*.
 - b) **Fuzzifikasi**
 - Menghitung derajat keanggotaan suhu untuk kategori dingin, sejuk, hangat, dan panas.
 - Menghitung derajat keanggotaan kelembaban untuk kategori kering, normal, dan basah.
 - c) **Pembentukan Aturan Fuzzy dengan Implikasi MIN**
 - Menggunakan operator MIN untuk menentukan nilai implikasi dari setiap aturan fuzzy.
 - Menghitung derajat keanggotaan dari kombinasi suhu dan kelembaban menggunakan nilai minimum (MIN).

d) **Defuzzifikasi**

- Menghitung nilai *crisp* untuk kecocokan tanah (0-10) yang merepresentasikan tingkat kesesuaian tanah berdasarkan aturan fuzzy dan implikasi MIN.
- Menentukan kategori kecocokan (Tidak Cocok, Cocok, Sangat Cocok) berdasarkan nilai *crisp*.

e) **Pengiriman Data**

- Mengirimkan hasil perhitungan kecocokan ke ESP8266 melalui komunikasi serial.

4.2 Pengujian

Pengujian sebagaimana hasilnya sesuai gambar 4.4 dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memberikan rekomendasi tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang terukur melalui sensor *IoT*. Pengujian ini dilakukan melalui beberapa iterasi, dengan data yang diambil setiap 5 menit. Setiap iterasi mencakup pengambilan data suhu, kelembaban tanah, serta hasil penerapan metode Fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kecocokan tanaman Apel, Tomat, dan Buah Naga.

Timestamp	Temperature	Soil Moisture	Apel	Tomat	Buah Naga
2024-05-01 13:10:00	25.5	390	3 (Tidak Cocok)	6 (Cocok)	7.5 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:15:00	20	385	6 (Cocok)	7 (Cocok)	7 (Cocok)
2024-05-01 13:20:00	27.5	380	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:25:00	22	375	6 (Cocok)	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:30:00	30	370	4 (Tidak Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9.5 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:35:00	19	365	8 (Sangat Cocok)	6 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:40:00	21.5	360	6 (Cocok)	5 (Cocok)	7 (Cocok)
2024-05-01 13:45:00	24.5	355	7 (Cocok)	7 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:50:00	28.5	350	6 (Cocok)	8 (Sangat Cocok)	9 (Sangat Cocok)
2024-05-01 13:55:00	18	345	8 (Sangat Cocok)	6 (Cocok)	8.5 (Sangat Cocok)

Gambar 4.4 Pengujian Sistem pada Sepuluh Iterasi

4.3 Pembahasan

Hasil dari data pengujian 10 iterasi terakhir akan dikomparasi dengan hasil dari data referensi berdasarkan kesesuaian kelayakan tanah didasarkan pada suhu dan kelembaban tanah untuk mendapatkan confusion matrix. Berdasarkan data pengujian dan peraturan di atas sebagaimana data hasil pada tabel 4.1 Tabel hasil perbandingan, pada hal di tabel tersebut suhu dan kelembaban tanah tidak lagi dimunculkan karena efisiensi tabel, namun bisa dilihat Kembali pada Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Hasil perbandingan

Tanaman	Hasil	Sumber
Apel 1	Tidak Cocok	Cocok
Apel 2	Cocok	Cocok
Apel 3	Cocok	Cocok
Apel 4	Cocok	Cocok
Apel 5	Tidak Cocok	Tidak Cocok
Apel 6	Sangat Cocok	Cocok
Apel 7	Cocok	Cocok
Apel 8	Cocok	Cocok
Apel 9	Cocok	Cocok
Apel 10	Sangat Cocok	Cocok
Tomat 1	Cocok	Cocok
Tomat 2	Cocok	Cocok
Tomat 3	Sangat Cocok	Cocok
Tomat 4	Cocok	Cocok
Tomat 5	Sangat Cocok	Cocok
Tomat 6	Cocok	Cocok
Tomat 7	Cocok	Tidak Cocok
Tomat 8	Cocok	Cocok

Tanaman	Hasil	Sumber
Tomat 9	Sangat Cocok	Cocok
Tomat 10	Cocok	Cocok
Buah Naga 1	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 2	Cocok	Cocok
Buah Naga 3	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 4	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 5	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 6	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 7	Cocok	Cocok
Buah Naga 8	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 9	Sangat Cocok	Cocok
Buah Naga 10	Sangat Cocok	Cocok

Data diatas menghasilkan analisis confusion matrix yang berada pada tabel 4.2 hingga tabel 4.4 yang menampilkan analisis *confusion matrix* tiap indikator tanaman. Namun ada keterbatasan bacaan dalam hal ini nilai sebenarnya yang diambil dari rujukan penelitian hanya memiliki dua indikator yakni Cocok dan Tidak Cocok, maka untuk menyesuakannya kategori Sangat Cocok juga akan dimasukkan dalam kategori *True* sehingga bisa dicermati berapa nilai yang sesuai dan akurat sebagaimana fakta actual di lapangan.

Tabel 4.2 *Confusion Matrix* Tanaman Apel

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	8	1
	False	0	1

Tabel 4.3 *Confusion Matrix* Tanaman Tomat

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	9	1
	False	0	0

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	10	0
	False	0	0

Tabel 4. 4 *Confusion Matrix* Tanaman Buah Naga

Hasil analisis *Confusion Matrix* dari ketiga tanaman diatas masing masing tabel 4.2 terdapat 8 *True Positive*, 1 *False Positive*, dan 1 *True Negative*, lalu tabel 4.3 terdapat 9 *True Positive*, dan 1 *False Positive*, dan pada tabel 4.4 terdapat 10 *True Positive*. kemudian dihitung satu-persatu dahulu untuk menemukan tingkat Akurasi setiap prediksi kelayakan tanah kategori tanaman menggunakan rumus *Accuracy*:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4.0)$$

1. Akurasi Tanaman Apel

$$Accuracy = \frac{8 + 1}{8 + 1 + 1 + 0}$$

$$Accuracy = 90\%$$

2. Akurasi Tanaman Tomat

$$Accuracy = \frac{9 + 0}{9 + 0 + 1 + 0}$$

$$Accuracy = 90\%$$

3. Akurasi Tanaman Buah Naga

$$Accuracy = \frac{10 + 0}{10 + 0 + 0 + 0}$$

$$Accuracy = 100\%$$

Hasil Akurasi masing masing kategori kemudian dapat dijawantahkan menjadi *Total Accuracy* yang dimaksudkan menampilkan akurasi total secara akumulatif.

1. Akurasi Total

$$Total Accuracy = \frac{0.9 + 0.9 + 1}{3}$$

$$Total Accuracy = 93,3\%$$

Dalam Al-Qur'an, Allah SWT mengajarkan umat manusia tentang kebijaksanaan dan kekuasaan-Nya melalui ciptaan alam, yang tercermin dalam setiap tetes hujan yang menumbuhkan tumbuhan, buah-buahan, dan tanaman yang bermanfaat bagi kehidupan. Ayat-ayat seperti yang terdapat dalam Surat Al-An'am, Ar-Ra'd, An-Nahl, dan Al-Baqarah memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana alam semesta ini diciptakan sebagai bukti kasih sayang dan kearifan Ilahi yang mengajak kita untuk merenung dan bersyukur.

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَى فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ ﴿٢٠٥﴾

“Apabila berpaling (dari engkau atau berkuasa), dia berusaha untuk berbuat kerusakan di bumi serta merusak tanam-tanaman dan ternak. Allah tidak menyukai kerusakan.” (QS. Al-baqarah:205)

Tafsir Wajiz:

Dan di antara perbuatannya ialah apabila dia berpaling dari engkau, tidak lagi bersama engkau, dia berusaha untuk berbuat kerusakan di bumi, melakukan berbagai kejahatan seperti merusak tanam-tanaman, dan membunuh binatang ternak, kepunyaan orang-orang yang beriman, sedang Allah tidak menyukai hamba-Nya berbuat kerusakan di muka bumi.

Berikutnya ada Surah Al-An'am, merupakan surah ke-6 dalam Al-Qur'an yang membawa kita untuk merenungkan keagungan penciptaan Allah SWT. Dalam surah ini, Allah menggambarkan kekuasaan-Nya yang melimpah dengan mengatur segala aspek kehidupan di alam semesta, termasuk turunnya hujan yang menumbuhkan tumbuhan dan buah-buahan, sebagai tanda-tanda kebesaran-Nya bagi mereka yang beriman:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

“Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman.” (QS. Al An'am:99)

Tafsir Wajiz:

Keesaan dan kekuasaan Allah telah terbukti dengan jelas bagi yang masih enggan untuk beriman, maka ayat ini menegaskan kembali seakan merangkum dan memerinci apa yang telah disebutkan. Dan Dialah yang menurunkan air, yaitu hujan, dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau, Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak padahal sebelumnya hanya satu biji atau benih. Dan, sebagai contoh dari proses di atas, dari mayang, yakni tongkol bunga, kurma, mengurai tangkai-tangkai yang menjulai yang mudah dipetik, dan kebun-kebun anggur, dan Kami keluarkan pula zaitun dan delima yang serupa bentuk buahnya dan yang tidak serupa aroma dan kegunaannya. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah, dan perhatikan pula proses bagaimana buah tersebut menjadi masak. Sungguh, pada yang demikian itu ada tanda-tanda kekuasaan Allah bagi orang-orang yang beriman.

Ada pun Surah Ar-Ra'd menggambarkan pemandangan luar biasa tentang ciptaan Allah SWT di alam semesta. Dalam surah ini, Allah menjelaskan betapa Dia menciptakan bumi dengan berbagai lapisan yang subur dan mengatur aliran sungai-sungai yang memelihara kehidupan. Setiap detail dalam alam ini adalah bukti kebesaran-Nya yang mengundang umat manusia untuk merenung dan mengagumi keagungan penciptaan-Nya.

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَمِنْ أَعْنَابٍ وَرِزْقٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَعَيْرٌ صِنَوَانٍ يُسْفَى
بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفْضِلُ بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

“Di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang. (Semua) disirami dengan air yang sama, tetapi Kami melebihkan tanaman yang satu atas yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar (terdapat) tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.”
(QS. Ar-Ra'd:4)

Tafsir Wajiz:

Dan di bumi yang terhampar dengan gunung-gunung yang tegak berdiri dan sungai-sungai yang berkelok-kelok dan bermuara ke laut, terdapat bagian-bagian tanah yang berdampingan dengan jarak yang berbeda serta kualitas kesuburan yang berbeda pula. Ada bagian tanah yang baik menjadi kebun-kebun anggur, ada yang cocok ditanami tanaman-tanaman tertentu, dan ada pula yang cocok ditanami pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang. Bagian-bagian tanah yang ditanami itu disirami dengan air yang sama. Tanaman-tanaman itu tumbuh, berkembang, lalu mengeluarkan bunga dan buah yang jenisnya beragam. Meski demikian, Kami lebihkan tanaman yang satu dari yang lainnya, baik dalam hal rasa, warna, ukuran, maupun bobot-nya. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda kebesaran Allah; bagi; orang-orang yang mau mengerti.

Kemudian ada pun Surah An-Nahl menghadirkan pandangan luas tentang rahmat Allah SWT yang melimpah kepada umat manusia melalui karunia-karunia-Nya di alam semesta. Dalam surah ini, Allah SWT menunjukkan bagaimana Dia

menurunkan hujan yang menghidupkan bumi, menjadikan tumbuh-tumbuhan, pohon-pohon buah-buahan, dan memberikan nikmat yang beragam kepada manusia. Setiap anugerah ini adalah bukti kasih sayang-Nya yang tak terhingga dan undangan bagi manusia untuk bersyukur dan merenung atas kebesaran-Nya.

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١﴾

“Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untukmu tumbuh-tumbuhan, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir.” (QS. An-Nahl:1)

Tafsir Wajiz:

Dengan air hujan itu pula Dia menumbuhkan untuk kamu beragam tanam-tanaman yang dapat kamu manfaatkan untuk memenuhi kebutuhan kamu. Dengan air hujan itu pula Dia menumbuhkan pohon-pohon penghasil buah, seperti zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan dari pohon-pohon yang tidak disebutkan. Sungguh, pada yang demikian itu, yakni turunnya hujan dan kenikmatan yang ditimbulkannya, benar-benar terdapat tanda yang nyata mengenai kebesaran, keagungan, dan kekuasaan Allah bagi orang yang berpikir.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Ringkasan Penelitian

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem detektor pintar kelayakan tanah untuk tanaman pangan menggunakan pendekatan *fuzzy logic*, dengan fokus utama pada model Tsukamoto. Tujuan utama penelitian adalah untuk mengevaluasi sejauh mana sistem IoT yang dikembangkan dapat memberikan prediksi akurat mengenai kelayakan tanah berdasarkan variabel lingkungan, seperti kelembaban tanah dan suhu.

5.2 Temuan Utama

Dalam menjawab rumusan masalah utama, penelitian ini menemukan bahwa model Sistem *IoT* dengan *Fuzzy Logic* model Tsukamoto mampu memberikan prediksi kelayakan tanah dengan tingkat akurasi yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi, diperoleh akurasi sebesar 93.3% dalam perbandingan antara data aktual lapangan dan hasil dari 10 iterasi pengujian.

5.3 Implikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting dalam konteks pertanian berbasis teknologi, khususnya dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan efisien terkait pemilihan tanaman berdasarkan kondisi tanah yang optimal. Penggunaan *fuzzy logic* dalam sistem detektor kelayakan tanah tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi, tetapi juga mengurangi ketidaktepatan dalam pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada.

5.4 Saran untuk Pengembangan Selanjutnya

Meskipun penelitian ini berhasil mencapai tingkat akurasi yang tinggi, terdapat beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya yang dapat diterapkan:

1. Memperluas cakupan pengujian dengan menambahkan variabel lingkungan tambahan, seperti intensitas cahaya dan pH tanah, untuk meningkatkan kompleksitas prediksi.
2. Mengintegrasikan teknologi dan platform *IoT* yang lebih canggih untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan waktu dalam pengumpulan dan analisis data.
3. Melakukan studi lebih lanjut terkait penggunaan metode *fuzzy logic* lainnya atau pendekatan *hybrid* untuk membandingkan performa dan akurasi prediksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Vien, B. H., Hadary, F., & Yurisinthae, E. (2023). Sistem *Monitoring* pH Tanah, Suhu, dan Kelembaban Tanah pada Tanaman Jagung Berbasis *Internet of Things* (IoT). Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Universitas Tanjungpura, Fakultas Teknik.
- Salman, A. G. (2016). Pemodelan Sistem Fuzzy dengan Menggunakan MATLAB. *Jurnal Penyuluhan*, 12(2).
- Hadija, & Ikawati, N. (2016). Kajian Potensi Pengembangan Teknologi Sistem Integrasi Tanaman Jagung dan Ternak Model Zero Waste di Kabupaten Soppeng [Study of Technology Development in Integration System (maize-livestock) with Zero Waste Model at Soppeng South Sulawesi]. *J. Agrotan*, 2(2), 68-84. ISSN: 2442-9015.
- Sondakh, J., Rembang, J. H. W., & Syahyuti. (2020). Karakteristik, Potensi Generasi Milenial, dan Perspektif Pengembangan Pertanian Presisi di Indonesia [*Characteristics, Potential of Millennial Generations, and Perspectives of Precision Agriculture Development in Indonesia*]. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38(2), 155-166. DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.155-166>
- Wijaya, A. R., & Susandi, A. (2018). Konsep Forecast-Based-Financing untuk Pertanian Presisi di Indonesia [*Concept of Forecast-Based-Financing for Precision Agriculture in Indonesia*]. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta. Diakses dari <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek>
- Khanna, A., & Kaur, S. (2019). *Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>
- Meyer, G. E., Neto, J. C., Jones, D. D., & Hindman, T. W. (2004). *Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil, and residue regions of interest from color images*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42, 161–180.
- Syafaat, N. S., Fitriyah, H., & Widasari, E. R. (2022). Sistem Kendali Intensitas Cahaya dan Kelembaban Tanah untuk Umbi Porang (*Amorphophallus Oncophyllus*) menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(9), 4181-4187. <http://j-ptiik.ub.ac.id>

- Pratama, S. R., & Hardani, D. N. K. (2021). Rancang Bangun Sistem *Monitoring Kelembaban Dan Suhu Tanah Untuk Tanaman Bawang Merah Di Kabupaten Brebes*. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 3(2), 91-100. P-ISSN: 2685-4341 E-ISSN: 2685-5313.
- Saputra, R. (2021). Sistem *Monitoring Kelembaban Tanah dan Suhu Greenhouse Tanaman Bawang Merah Berbasis IoT*. *JUPERSATEK (Jurnal Perencanaan, Sains, Teknologi dan Komputer) Fakultas Teknik UNIKS*, 4(1), 981-990.
- Filla, S. U., Kurniawan R., R., & Suhardi. (2024). *Prototype Alat Pengatur Temperatur Ruang Kerja pada Rumah Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis IoT*. *Journal of Science and Social Research*, VII(1), 68-77. ISSN 2615-4307, ISSN 2615-3262.
- Kurniawan, F., Harini, S., Nurhayati, H., Arif, Y. M., Nugroho, S. M. S., & Hariadi, M. (2018). *Smart Monitoring Agriculture Based on Internet of Things*. In *The 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT) 2018* (pp. 363). Surabaya, Indonesia: IEEE. DOI: [10.1109/EIConCIT.2018.8878510](https://doi.org/10.1109/EIConCIT.2018.8878510).
- Swamy, N. S., & Raju, K. S. (2020). *An Empirical Study on System Level Aspects of Internet of Things (IoT)*. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029847>
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). *Internet of Things (IoT): A Literature Review*. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Tullah, R., Mustafa, S. M., & Nugraha, D. E. (2019). Sistem Keamanan Rumah Berbasis Mikrokontroler Arduino dan SMS Gateway. *AJCSR [Academic Journal of Computer Science Research]*, 1(1),7-12.
- Hidayati, N. L. D. (2019). *Prototype Smart Home dengan Modul NodeMCU ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT) (Skripsi Sarjana)*. Universitas Islam Majapahit Mojokerto.
- Kusumadewi, S. (2009). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Pengambilan Keputusan. *Graha Ilmu*.
- Hanafiah, K.A. (2014). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Mangkunegara, M., & Firdamayanti, E. (2021). Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Kelayakan Ekonomi Tanaman Lada (*Piper Nigrum L.*) di Kabupaten Luwu. *Wanatani: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(2). <https://doi.org/10.51574/jip.v1i2.32>

- Sartohadi, J., Sianturi, R. S., Rahmadana, A. D. W., Maritimo, F., Wacano, D., Munawaroh, Suryani, T., & Pratiwi, E. S. (2014). *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan Gunungapi Ijen dan Sekitarnya*. Yogyakarta, Indonesia: Pustaka Pelajar.
- Rahaju, J., & Muhandoyo, M. (2017). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Usaha Apel Di Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. *Agromix*, 5(1). <https://doi.org/10.35891/agx.v5i1.697>
- Ginanjari, R., Candra, R., & Kembaren, S. B. (2018). Kendali dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya untuk Tanaman Tomat. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 23(3). Universitas Gunadarma
- Ilmawan, A., Ichsan, H. H., & Syauqy, D. (2021). Wireless Sensor Network sebagai Perangkat Akuisisi Data Suhu & Kelembapan Tanah pada Tanaman Buah Naga. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(6), 2443-2452. Universitas Brawijaya.
- Saparitno, C., dan Susiana, R., 2016. *Grow your own fruits panduan praktis menanam 28 tanaman buah populer di pekarangan*. Penerbit ANDI:Yogyakarta.