

PENGOPTIMALISASIAN IRIGASI PERTANIAN PADA LAHAN KERING DENGAN MENGGUNAKAN AUTOMASI IOT BERBASIS FUZZY LOGIC

Mochammad Dhiya Ulhaq¹, Muhammad Faqih Zacky² Muhammad Harun Riyad³

Fakultas Teknologi Informasi dan Sains Data

Universitas Sebelas Maret Jl. Ir. Sutami No. 36, Kentingan, Jebres, Surakarta

ulhaqmdhiya04@student.uns.ac.id¹; mfaqihzacky@student.uns.ac.id²; harunriyad23@student.uns.ac.id³

ABSTRAK

Irigasi pertanian yang efisien merupakan tantangan besar di Indonesia, terutama pada lahan kering yang menggunakan sistem irigasi konvensional dengan efisiensi distribusi air rendah, yaitu 40-60%. Krisis air yang diakibatkan oleh fenomena cuaca ekstrem seperti El Niño menambah urgensi untuk menemukan solusi yang lebih baik. Penelitian ini mengkaji pengoptimalan irigasi pertanian menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) berbasis Fuzzy Logic untuk meningkatkan efisiensi dan distribusi air secara real-time. Sistem ini menggunakan sensor untuk memantau kelembaban tanah dan suhu, serta mengendalikan water sprinkler yang terhubung ke tangki air, memastikan distribusi air yang merata dan tepat sasaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 95%, jauh lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional. Selain itu, sistem ini juga dapat mengurangi biaya operasional dan kebutuhan tenaga kerja, meningkatkan hasil panen, serta berkontribusi pada praktik pertanian berkelanjutan. Implementasi teknologi ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kesejahteraan dan keberlanjutan petani.

Kata Kunci: *Irigasi, Pertanian, Lahan Kering, IoT, Fuzzy Logic, Efisiensi Air, Teknologi Pertanian, Automasi, Pertanian Berkelanjutan*

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Dilansir dari Badan Pusat Statistik Indonesia, sekitar 80% pertanian yang ada di Indonesia masih menggunakan sistem irigasi konvensional. Seperti yang kita ketahui tingkat efisiensi pendistribusian air pada sistem irigasi seperti ini masih sangat rendah yakni di sekitar angka 40-60% saja, sehingga stok air yang dimiliki para petani nantinya akan banyak yang terbuang sia-sia, selain itu pendistribusian air juga menjadi tidak merata karena beberapa tanaman yang dekat dengan parit irigasi bisa saja mendapatkan air yang berlebih sementara yang jauh dari parit irigasi akan sebaliknya. Akibatnya pertanian menjadi sangat rentan terhadap perubahan iklim dan fenomena cuaca ekstrem seperti El Niño yang melanda Indonesia dan menyebabkan krisis beras pada kuartal pertama tahun 2024.

Untuk mengatasi masalah ini, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dengan otomasi berbasis Fuzzy Logic dinilai menjadi salah satu solusi yang sangat efektif. Karena dengan sistem IoT ini, nantinya kelembaban tanah, suhu, dan beberapa parameter lainnya dapat dipantau secara real-time

oleh petani, sehingga memastikan penyiraman tanaman dapat terkontrol secara dinamis, efisien, dan lebih tepat sasaran, sebab lahan pertanian nantinya akan ditanamkan dengan beberapa sensor di beberapa titik yang berbeda. Selain itu, sistem irigasi dengan IoT nantinya juga akan menggunakan sistem water sprinkler di beberapa titik yang terhubung langsung kepada tangki air dan bukan menggunakan parit irigasi, sehingga distribusi air akan jauh lebih merata dan tanaman akan mendapatkan kelembaban tanah yang ideal serta menghindari pemborosan penggunaan air akibat sistem irigasi yang tidak efisien.

2. Rumusan Masalah

Dalam perancangan sistem irigasi ini ada beberapa rumusan masalah yang nantinya akan kita bahas, diantaranya ialah:

1. Bagaimana merancang serta membuat perangkat IoT untuk sistem irigasi pertanian menggunakan metode fuzzy logic?
2. Bagaimana skema pertaniannya apabila diimplementasikan menggunakan perangkat IoT?
3. Bagaimana hasil pengujian efisiensi penggunaan air ketika menggunakan sistem irigasi berbasis perangkat IoT

jika dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional?

3. Tujuan

Terdapat beberapa alasan mengapa kami memilih judul ini untuk tugas akhir pada mata kuliah kecerdasan buatan ini, diantaranya adalah.

1. Optimasi Penggunaan Air

Alasan utama mengapa kami memilih judul ini dijadikan topik pada tugas akhir kecerdasan buatan, adalah karena masih banyaknya sistem irigasi yang belum optimal yang dilakukan oleh para petani di indonesia. Seperti yang telah dibahas pada latar belakang, bahwa efisiensi dari sistem irigasi konvensional yang biasa digunakan oleh petani di Indonesia hanya pada angka sekitar 40-60% saja. Angka tersebut dapat dikatakan sangat rendah, karena 60%-40% dari airnya akan terbuang sia-sia.

2. Meningkatkan Hasil Panen

Hal ini berbanding lurus dengan tujuan yang terdapat pada poin yang pertama, karena dengan meningkatnya efisiensi sistem irigasi maka hasil panen dari tanaman juga akan meningkat. Hal tersebut dapat terjadi karena kebutuhan air dari tanaman akan selalu terpenuhi dengan adanya sistem otomasi.

3. Mengurangi Biaya Operasi dan Kebutuhan Tenaga Kerja

Dengan adanya sistem otomasi dalam penyiraman tanaman, hal tersebut tentu akan benar-benar mengurangi biaya operasional dan tenaga kerja yang dibutuhkan. Karena dengan sistem otomasi, pemilik hanya perlu mempekerjakan beberapa orang saja untuk menjadi kinerja sistem, dan berkurangnya alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan penyiraman.

4. Sebagai Salah Satu Cara dalam Memulai Praktik Pertanian Berkelanjutan

Memulai praktik pertanian berkelanjutan adalah langkah penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan meningkatkan produktivitas jangka panjang. Salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan mengintegrasikan teknologi sensor untuk memantau kondisi tanah dan lingkungan. Misalnya, penggunaan sensor kelembaban tanah dan suhu dapat memberikan data yang akurat mengenai kondisi lahan pertanian. Data ini dapat digunakan untuk mengatur irigasi secara efisien, sehingga air dapat digunakan dengan lebih hemat dan tanaman tetap mendapatkan kelembaban yang

optimal. Selain itu, dengan memahami suhu tanah, petani dapat menentukan waktu tanam yang tepat dan memilih jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lingkungan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan hasil panen dan mengurangi penggunaan sumber daya alam secara berlebihan. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan melalui praktik pertanian yang lebih bertanggung jawab.

4. Manfaat

Kemudian, berdasarkan tujuan yang dibuat, maka kita akan merasakan manfaat dari tujuan-tujuan tersebut, diantaranya.

1. Dapat Mengurangi Penggunaan Air Secara Signifikan

Penggunaan teknologi sensor untuk memantau kelembaban tanah dapat mengurangi penggunaan air secara signifikan. Sensor-sensor ini memberikan data real-time tentang kondisi kelembaban tanah, memungkinkan petani untuk menyiram tanaman hanya ketika diperlukan. Sistem irigasi otomatis dapat dikendalikan berdasarkan data sensor, memastikan bahwa air hanya

digunakan pada saat dan di lokasi yang tepat. Hal ini tidak hanya menghemat air, tetapi juga mengurangi stres pada tanaman yang disebabkan oleh penyiraman berlebihan atau kekurangan air. Dengan demikian, penggunaan air dapat dioptimalkan, yang sangat penting di daerah yang rentan terhadap kekeringan atau memiliki sumber air terbatas.

2. Dapat Meningkatkan Produktivitas dari Tanaman yang Dipanen

Pemantauan yang cermat terhadap kondisi lingkungan seperti kelembaban tanah dan suhu dapat meningkatkan produktivitas tanaman yang dipanen. Data yang akurat memungkinkan petani untuk menyesuaikan praktik pertanian mereka, seperti jadwal irigasi dan pemupukan, sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman. Dengan memberikan kondisi optimal bagi tanaman, pertumbuhan dan hasil panen dapat dimaksimalkan. Selain itu, deteksi dini terhadap masalah seperti kekeringan atau penyakit tanaman dapat memungkinkan intervensi cepat, mencegah kerugian besar dan memastikan produksi yang konsisten dan berkualitas tinggi.

3. Dapat Mengurangi Kebutuhan Biaya untuk Tenaga Kerja dan Juga Biaya Operasional

Otomatisasi dalam praktik pertanian melalui penggunaan sensor dan sistem irigasi cerdas dapat mengurangi kebutuhan biaya tenaga kerja dan operasional. Sistem otomatis ini mengurangi keperluan untuk pemantauan manual dan intervensi langsung dari tenaga kerja manusia. Sebagai contoh, sistem irigasi otomatis yang dikendalikan oleh data sensor dapat mengelola penyiraman tanaman tanpa perlu campur tangan manusia secara terus-menerus. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya tenaga kerja, tetapi juga mengurangi biaya operasional seperti konsumsi energi dan pemeliharaan peralatan. Dengan efisiensi yang meningkat, sumber daya dapat dialokasikan untuk kegiatan lain yang lebih produktif.

4. Dapat Mencegah Lingkungan (tanah) dari Kerusakan Akibat Irigasi yang Berlebihan

Pemantauan dan pengaturan irigasi yang akurat dapat mencegah kerusakan lingkungan, terutama kerusakan tanah akibat irigasi berlebihan. Irigasi yang tidak terkendali dapat menyebabkan erosi tanah, pencucian nutrisi penting, dan

pembentukan lapisan tanah yang kedap air, yang pada akhirnya merusak struktur dan kesuburan tanah. Dengan menggunakan data sensor untuk mengelola irigasi, air hanya diberikan sesuai kebutuhan tanaman, mencegah kelebihan air yang dapat menyebabkan masalah tersebut. Selain itu, praktik ini membantu mempertahankan keseimbangan mikroorganisme tanah yang penting untuk kesehatan tanaman dan kesuburan jangka panjang tanah, memastikan kelestarian lingkungan pertanian.

5. Pembeda dengan Solusi Masalah yang Serupa

Jika mengacu pada referensi, dapat kita lihat terdapat 2 buah pembeda antara project ini dengan referensi yang digunakan, diantaranya ialah:

1. Pengimplementasian Variabel Suhu Pada Dataset

Variabel suhu merupakan salah satu variabel yang penting jika kita membahas mengenai suatu sistem irigasi pada sebuah pertanian. Variabel suhu dapat mempengaruhi laju penguapan air dari permukaan tanah, di mana suhu yang lebih tinggi meningkatkan laju penguapan dan mengurangi kelembaban tanah lebih cepat. Suhu juga mempengaruhi laju

transpirasi tanaman, yang berkontribusi pada penurunan kelembaban tanah. Oleh karena itu, variabel suhu merupakan variabel yang penting untuk turut dipertimbangkan pada perhitungan fuzzy dan juga dipantau melalui sensor suhu.

2. Diintegrasikan dengan Mobile

Beberapa referensi terkait dengan perangkat IoT yang bisa melakukan irigasi secara otomatis mungkin saja membahas masalah serupa, namun pada project kali ini kita akan mengimplementasikan sistem irigasi ini dengan perangkat mobile sebagai pusat kontrol utamanya, sehingga para petani bisa memiliki waktu lebih untuk mengembangkan usaha sampingan dan hanya perlu melakukan peninjauan pada pertanian selama dua minggu sekali untuk memberikan pupuk.

BAB II

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang kami gunakan untuk membuat sistem automasi irigasi dengan Fuzzy Logic merupakan sebuah metode dalam bidang kecerdasan buatan dan pemrosesan informasi yang menangani nilai-nilai yang tidak pasti.

Sebagai perbandingan dengan metode yang lain, metode-metode yang lain hanya dapat mengenal nilai “true” (1) atau “false” (0), Fuzzy Logic memperkenalkan sebuah konsep baru bernama derajat keanggotaan yang memungkinkan suatu nilai ditempatkan di antara 0 dan 1. Hal tersebut memungkinkan fuzzy logic untuk memodelkan kasus layaknya dunia nyata yang tidak pasti.

Selanjutnya pada pengumpulan data yang dibutuhkan untuk digunakan pada Fuzzy Logic dimulai dengan mengumpulkan data pada kondisi lingkungan yang berkaitan, dalam hal ini data yang kami gunakan adalah data pada suhu udara yang bisa ditoleransi oleh tanaman dan kelembaban dari tanah. Data ini diambil dari riset beberapa jurnal dan juga artikel yang kami gunakan sebagai referensi. Kemudian, data yang sebelumnya sudah didapat akan diproses terlebih dahulu sebelum digunakan untuk membuat sistem irigasi otomatis. Setelah data-data yang didapat selesai diproses, tahap selanjutnya adalah menerapkan logika Fuzzy yang merupakan inti dari metode penelitian ini. Logika fuzzy digunakan untuk mengelola ketidakpastian yang terdapat pada data yang telah diproses dan memungkinkan sistem yang dibuat untuk mengambil keputusan berdasarkan aturan yang

sebelumnya telah dibuat. Pengambilan keputusan tersebut dipengaruhi oleh parameter-parameter data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu suhu udara dan juga kelembaban tanah.

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah menyelesaikan pengambilan data dan menjelaskan metode penelitian yang digunakan, langkah berikutnya adalah menyajikan hasil dan pembahasan. Hasil penelitian akan dianalisis dan diinterpretasikan berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya. Analisis ini akan membantu dalam menjawab pertanyaan penelitian serta memberikan wawasan mendalam tentang temuan yang diperoleh, yakni diantaranya ialah:

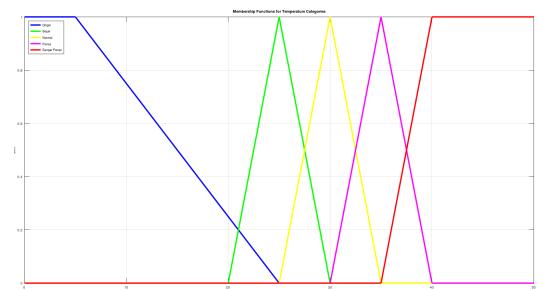
1. Perancangan dan Pembuatan Perangkat IoT untuk Sistem Irigasi Menggunakan Fuzzy Logic

a. Mengubah Dataset Menjadi Diagram Fuzzy Logic

Tahap pertama dari melakukan perancangan dan pembuatan perangkat IoT adalah mengubah dataset yang telah didapat dan dilakukan pemrosesan menjadi diagram fuzzifikasi menggunakan GNU octave yakni sebagai berikut:

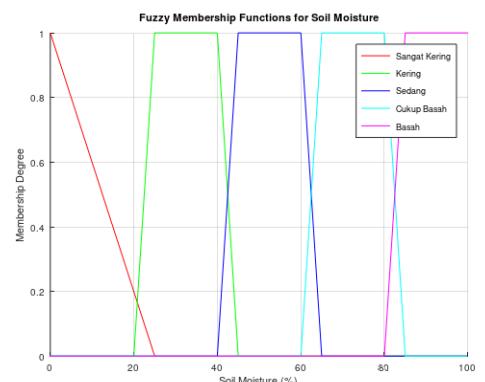
1. Suhu

| Suhu Toleransi Tanaman | |
|------------------------|-------------|
| Dingin | 5°C - 25°C |
| Sejuk | 20°C - 30°C |
| Normal | 25°C - 35°C |
| Panas | 30°C - 40°C |
| Sangat Panas | 35°C - 50°C |



2. Kelembapan Tanah

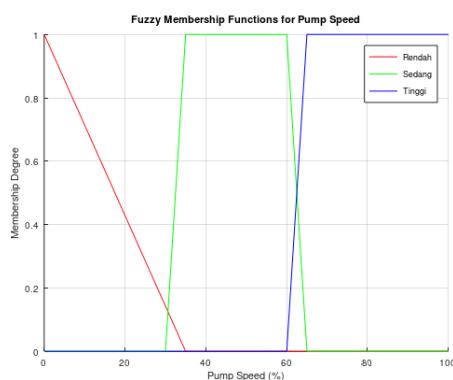
| Kelembaban Tanah | |
|------------------|------------|
| Sangat Kering | 0% - 25% |
| Kering | 20% - 45% |
| Sedang | 40% - 65% |
| Cukup Basah | 60% - 85% |
| Basah | 80% - 100% |



3.

4. Kecepatan Pompa Air

| Kecepatan Pompa Air | |
|---------------------|------------|
| Rendah | 0% - 35% |
| Sedang | 30% - 65% |
| Tinggi | 60% - 100% |



Kemudian dari diagram fuzzifikasi yang telah didapatkan tersebut kita akan menggunakan sebagai basis dalam dataset untuk menghitung kecepatan pompa pada perhitungan algoritma fuzzy mamdani pada pengkodean perangkat IoT menggunakan Arduino IDE.

b. Perakitan Perangkat IoT

Setelah selesai mengubah nilai dataset menjadi diagram fuzzifikasi, tahap selanjutnya adalah melakukan perakitan komponen-komponen yang sudah dibeli menjadi perangkat IoT.

Langkah pertama yang kami lakukan adalah mengunduh

dan menginstal Arduino IDE versi terbaru dari situs resmi Arduino. Setelah menginstal Arduino IDE, kami menambahkan URL Board Manager ESP32 melalui menu File > Preferences dan memasukkan URL https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json pada kolom Additional Boards Manager URLs. Selanjutnya, kami membuka Boards Manager melalui menu Tools > Board > Boards Manager dan mencari esp32 untuk menginstal package esp32 by Espressif Systems.

Setelah board package terinstal, kami menghubungkan board ESP32 ke komputer menggunakan kabel USB dan kami juga memastikan bahwa driver yang kami gunakan untuk board ESP32 sudah terinstal dengan benar untuk mendeteksi port serial yang digunakan. Kemudian, kami memilih board ESP32 yang sesuai dari menu Tools > Board, yakni ESP32 Dev Module, dan memilih port serial yang terhubung dengan board ESP32 melalui menu Tools > Port.

Untuk menguji koneksi, kami membuka contoh program

WiFi Scan dari menu File > Examples > ESP32 > WiFi dan mengunggah sketch tersebut ke board ESP32 dengan menekan tombol Upload. Setelah proses upload selesai, kami membuka Serial Monitor dari menu Tools > Serial Monitor dan mengatur baud rate sesuai dengan yang ditentukan di sketch, yaitu 115200. Hasilnya, output dari board ESP32 muncul di Serial Monitor, menunjukkan bahwa konfigurasi berhasil dan program berjalan dengan baik.

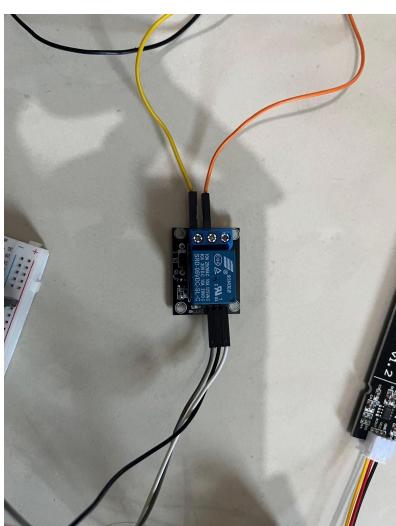


Langkah selanjutnya yang kami lakukan adalah menginstalasi kelistrikan yang melibatkan water pump dan relay 5V. Pertama, kami menyiapkan semua komponen yang diperlukan termasuk water pump, relay 5V, serta ESP32 sebagai kontroler. Rangkaian

dasar yang saya buat terdiri dari menghubungkan terminal water pump ke terminal NO (Normally Open) pada relay, kemudian menghubungkan terminal COM (Common) relay ke sumber daya positif yang sesuai dengan spesifikasi water pump. Kami juga memastikan hubungan yang benar antara terminal negatif water pump dan sumber daya negatif.

Selanjutnya, Kami menghubungkan relay ke ESP32 dengan cara menyambungkan pin IN relay ke salah satu GPIO pin pada ESP32, serta pin GND dan VCC relay ke pin GND dan 5V ESP32 secara berturut-turut. Setelah melakukan konfigurasi ini, kami menekan tombol “boot” yang terdapat di ESP kami untuk menulis dan mengunggah sketch ke ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk mengontrol operasi relay. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi bahwa relay dapat mengontrol secara efektif daya yang disalurkan ke water pump sehingga water pump dapat dihidupkan dan dimatikan secara otomatis secara digital melalui program yang ditulis

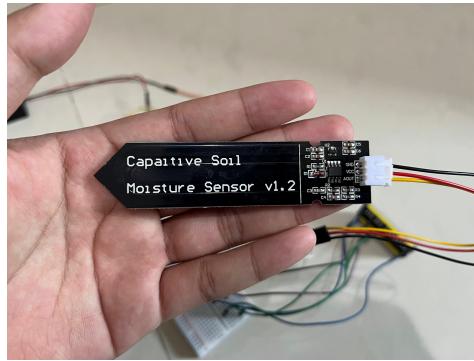
pada Arduino IDE.



Kemudian kami juga menginstal sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor).

Sensor ini kami gunakan untuk memonitor kondisi kelembaban tanah yang menjadi komponen utama dalam pembuatan IoT pada project AI kami kali ini. Pertama-tama, kami memastikan semua komponen yang diperlukan telah tersedia, termasuk sensor kelembaban tanah, ESP32, dan kabel-kabel yang diperlukan. Setelah komponen yang diperlukan telah siap, kami merangkai komponen-komponen tersebut meliputi konfigurasi kabel pada sensor kelembaban tanah ke pin-pin analog yang ada pada ESP32, yakni diantaranya ialah pengkonfigurasian kabel AOUT ke GPIO 34, VCC ke 3.3V dan GND ke GND.

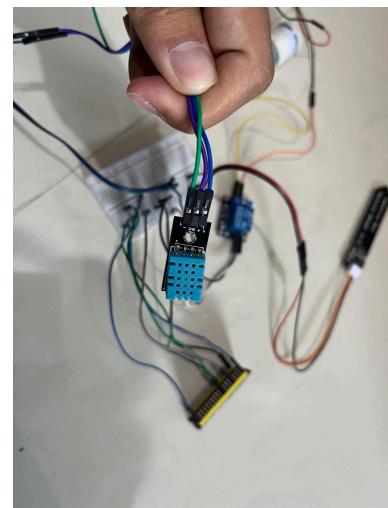
Setelah selesai mengkonfigurasi perkabelan, kami memprogram ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk membaca nilai kelembaban tanah dari sensor soil moisture. Setelah itu kami juga memastikan sensor soil moisture tersebut dapat berfungsi dengan baik.



Kemudian, setelah kami melakukan instalasi untuk untuk soil moisture sensor, selanjutnya kami melakukan instalasi untuk instalasi sensor DHT11. Sensor ini digunakan untuk memonitor suhu dan kelembaban lingkungan sekitar. Pertama, kami mempersiapkan terlebih dahulu sensor DHT11 beserta kabel yang dibutuhkan untuk menghubungkannya dengan ESP32. Kemudian dilakukan identifikasi pin keluaran dari sensor DHT11 yang terdiri dari pin data, power, dan ground. Setelah melakukan identifikasi, kami mulai merangkai komponen-komponen tersebut dengan menghubungkan pin data sensor DHT11 ke salah satu GPIO pin pada ESP32, pin power ke pin 3.3V pada ESP32, dan pin ground ke pin ground pada ESP32.

Setelah melakukan koneksi fisik,

kami memastikan bahwa ESP32 terhubung dengan Arduino IDE dan konfigurasi Board Manager ESP32 telah dilakukan sebelumnya. Kami menulis kode program menggunakan library DHT untuk ESP32 yang memungkinkan kami untuk membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT11. Setelah mengunggah program ke ESP32 dan mengaktifkan sensor DHT11, kami melakukan pengujian untuk memverifikasi bahwa sensor dapat membaca nilai suhu dan kelembaban secara akurat.



Langkah terakhir yang kami lakukan ialah, menginstal LCD 16x2 menggunakan adaptor I2C. Pertama, kami memastikan bahwa adaptor I2C dan LCD 16x2 sudah siap dan sesuai dengan spesifikasi yang

dibutuhkan. Kemudian, kami mengidentifikasi pin-pinnya, yaitu pin VCC, GND, SDA, dan SCL. Pin VCC dihubungkan ke pin 3.3V pada ESP32, pin GND ke ground, pin SDA ke GPIO21, dan pin SCL ke GPIO22 pada ESP32.

Setelah melakukan koneksi fisik, kami menginstal library LiquidCrystal_I2C di Arduino IDE yang mendukung komunikasi antara ESP32 dan LCD melalui I2C. Kami menulis kode program untuk menginisialisasi LCD, menampilkan pesan awal, dan kemudian menampilkan data suhu udara dan kelembaban tanah yang diperoleh dari sensor DHT11 dan Soil Moisture.

Program yang kami gunakan memuat fungsi-fungsi untuk membaca data dari sensor DHT11 serta Soil Moisture dan menampilkan hasilnya di LCD secara periodik. Setelah mengunggah program ke ESP32, kami melakukan pengujian untuk memastikan bahwa LCD dapat menampilkan data suhu dan kelembaban tanah secara real-time.

Dengan demikian, seluruh instalasi dan konfigurasi sensor serta LCD telah berhasil dilakukan, memungkinkan sistem untuk memonitor dan menampilkan kondisi suhu udara dan kelembaban tanah terkini secara real-time.



c. Hasil Perakitan Perangkat IoT

Berikut ini adalah hasil perakitan perangkat IoT secara keseluruhan:



d. Pengkodean Perangkat IoT

Setelah selesai mengubah nilai-nilai dari dataset menjadi diagram Fuzzy Logic dan merakit

perangkat IoT, tahap selanjutnya adalah melakukan pengkodean pada perangkat IoT yang sudah dirancang. Diagram-diagram yang didapat dari proses pengkonversian dataset digunakan sebagai acuan dan dimasukkan ke dalam logika kode IoT yakni sebagai berikut:

```
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

// Define fuzzy sets and variables
FuzzySet *cold = new FuzzySet(0, 0, 5, 25);
FuzzySet *cool = new FuzzySet(20, 25, 25, 30);
FuzzySet *normal = new FuzzySet(25, 30, 30, 35);
FuzzySet *warm = new FuzzySet(30, 35, 35, 40);
FuzzySet *hot = new FuzzySet(35, 40, 45, 45);

FuzzySet *veryDry = new FuzzySet(0, 0, 0, 25);
FuzzySet *dry = new FuzzySet(20, 25, 40, 45);
FuzzySet *medium = new FuzzySet(40, 45, 60, 65);
FuzzySet *moist = new FuzzySet(60, 65, 80, 85);
FuzzySet *wet = new FuzzySet(80, 85, 100, 100);

FuzzySet *low = new FuzzySet(0, 0, 0, 35);
FuzzySet *mediumSpeed = new FuzzySet(30, 35, 35, 65);
FuzzySet *high = new FuzzySet(60, 65, 100, 100);

FuzzyInput *temperature = new FuzzyInput(1);
FuzzyInput *soilMoisture = new FuzzyInput(2);
FuzzyOutput *pumpSpeed = new FuzzyOutput(1);

// Add sets to fuzzy variables
temperature->addFuzzySet(cold);
temperature->addFuzzySet(cool);
temperature->addFuzzySet(normal);
temperature->addFuzzySet(warm);
temperature->addFuzzySet(hot);

soilMoisture->addFuzzySet(veryDry);
soilMoisture->addFuzzySet(dry);
soilMoisture->addFuzzySet(medium);
soilMoisture->addFuzzySet(moist);
soilMoisture->addFuzzySet(wet);

pumpSpeed->addFuzzySet(low);
pumpSpeed->addFuzzySet(mediumSpeed);
pumpSpeed->addFuzzySet(high);

// Add fuzzy variables to the fuzzy system
fuzzy->addFuzzyInput(temperature);
fuzzy->addFuzzyInput(soilMoisture);
fuzzy->addFuzzyOutput(pumpSpeed);
```

Kemudian kami juga menambahkan aturan untuk dapat melakukan perhitungan inverensi pada fuzzy logic sebagai berikut.

| Aturan | Dingin | Sejuk | Normal | Panas | Sangat Panas |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Sangat Kering | Tinggi [R1] | Tinggi [R6] | Tinggi [R11] | Tinggi [R16] | Tinggi R [21] |
| Kering | Tinggi [R2] | Tinggi [R7] | Tinggi [R12] | Tinggi [R17] | Tinggi [R22] |
| Sedang | Rendah [R3] | Rendah [R8] | Sedang [R13] | Sedang [R18] | Tinggi [R23] |
| Cukup Basah | Rendah [R4] | Rendah [R9] | Rendah [R14] | Rendah [R19] | Sedang [R24] |
| Basah | Rendah [R5] | Rendah [R10] | Rendah [R15] | Rendah [R20] | Rendah [R25] |

```
FuzzyRuleAntecedent *ifColdAndVeryDry = new FuzzyRuleAntecedent();
ifColdAndVeryDry->joinWithAND(cold, veryDry);
FuzzyRuleConsequent *thenHigh = new FuzzyRuleConsequent();
thenHigh->addoutput(high);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(1, ifColdAndVeryDry, thenHigh));

FuzzyRuleAntecedent *ifColdAndDry = new FuzzyRuleAntecedent();
ifColdAndDry->joinWithAND(cold, dry);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(2, ifColdAndDry, thenHigh));

FuzzyRuleAntecedent *ifColdAndMedium = new FuzzyRuleAntecedent();
ifColdAndMedium->joinWithAND(cold, medium);
FuzzyRuleConsequent *thenLow = new FuzzyRuleConsequent();
thenLow->addoutput(low);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(3, ifColdAndMedium, thenLow));

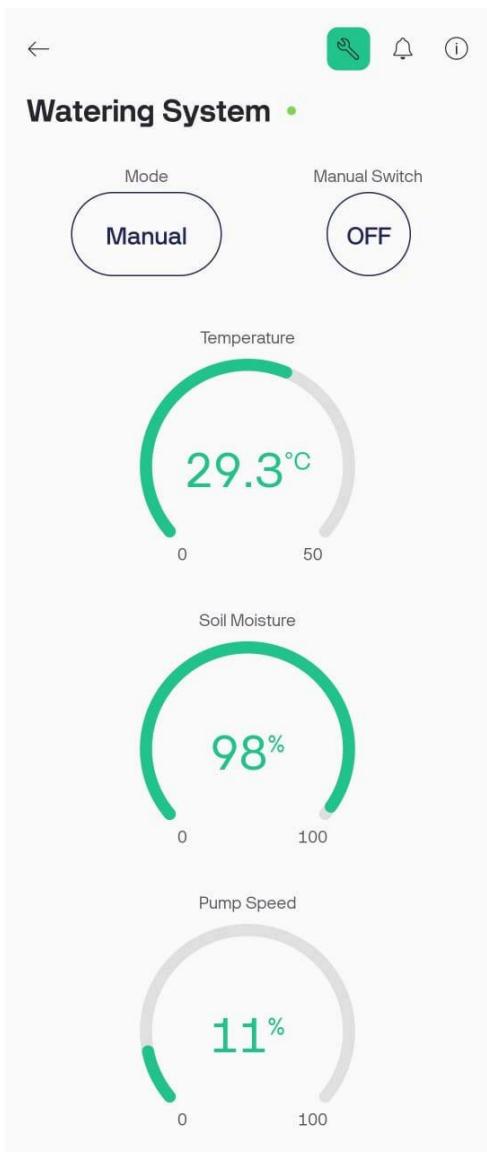
//dan seterusnya. Code dapat dilihat pada lampiran sourcecode terpisah.]
```

Setelah menginputkan aturan yang akan digunakan, kami mengambil data dari sensor yang kemudian akan digunakan untuk melakukan perhitungan defuzzifikasi berdasarkan aturan inverensi yang telah diinputkan sebelumnya.

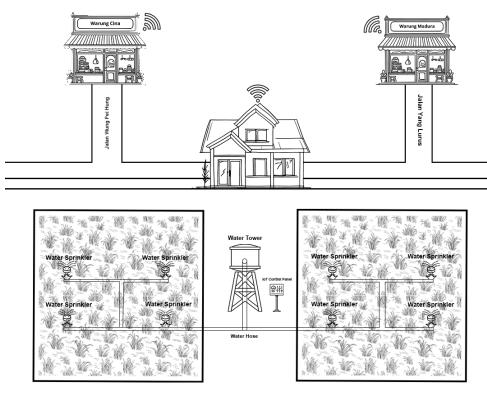
```
// Set inputs to fuzzy system
fuzzy->setInput(1, temp);
fuzzy->setInput(2, soilMoisturePercent);
fuzzy->fuzzify();

// Get fuzzy output
float pumpSpeedPercent = fuzzy->defuzzify(1);
```

Hasil dari defuzzifikasi nantinya akan kita tampilkan dalam aplikasi mobile sebagai nilai kecepatan dari pompa yang akan kita gunakan.



2. Skema Pertanian yang Sudah Dioptimalisasikan Menggunakan Perangkat IoT



Untuk mengintegrasikan perangkat IoT yang telah kita buat pada sebuah pertanian, kita dapat menerapkan skema pertanian sebagai berikut. Pertama-tama, kita dapat meletakkan panel kontrol perangkat IoT di antara lahan pertanian untuk memantau dan mengelola kondisi lingkungan secara efektif. Panel kontrol ini akan berfungsi sebagai pusat kendali yang menghubungkan semua sensor dan aktuator di lapangan. Disamping panel kontrol IoT, kita dapat meletakkan water tower yang digunakan sebagai sumber utama penyimpanan air untuk sistem irigasi. Water tower ini akan dihubungkan dengan pompa air dan sistem perpipaan yang tersebar di seluruh lahan pertanian. Fungsi utama water tower adalah untuk menyediakan pasokan air yang stabil dan cukup bagi kebutuhan irigasi, terutama saat musim kemarau atau ketika curah hujan rendah. Kemudian di setiap lahan pertanian, nantinya akan dipasangkan beberapa water sprinkler (penyiram tanaman) yang akan diinstalasi dengan tiang sebagai penyangganya agar tidak terendam air saat kondisi

pertanian sedang basah. Karena nantinya perangkat IoT akan disambungkan ke mobile device, maka petani bisa mengoperasikannya dimana saja, contohnya pada toko yang ada pada skema pertanian diatas. Para petani nantinya juga bisa memanfaatkan waktu lebihnya, yang biasanya digunakan untuk menyiram tanaman, untuk mengembangkan usaha sampingan. Hal ini tidak hanya memungkinkan mereka untuk menambah pendapatan bulanan, tetapi juga meningkatkan diversifikasi sumber pendapatan mereka.

3. Perbandingan Efisiensi Penggunaan Air Setelah Menggunakan Perangkat IoT Jika Dibandingkan Dengan Sistem Irigasi Konvensional

Untuk membandingkan efisiensi penggunaan air pada masing-masing sistem irigasi, pertama-tama mari kita analisis terlebih dahulu efisiensi penggunaan air dari penggunaan perangkat IoT untuk sistem irigasi pada sebuah pertanian. Kita asumsikan bahwa IoT yang kita buat memiliki efisiensi 100% karena perangkat tersebut hanya akan

menyiram ketika tanaman benar-benar membutuhkan air dan akan berhenti menyiram begitu tanah mencapai tingkat kelembapan tanah yang diinginkan. Kemudian karena pada salah satu komponen IoT yakni pada sensor DHT11(sensor suhu udara) terdapat error kurang lebih sebesar 5%, sehingga untuk efisiensi dari perangkat IoT yang telah kita buat berkurang menjadi 95%.

Kemudian kita akan membandingkannya pada sistem irigasi konvensional yang menggunakan sistem pintu air. Dilansir dari jurnal *Efficiency of Water Use in Irrigated Rice Production Systems* oleh Bouman, B.A.M Sistem irigasi konvensional yang menggunakan sistem pintu air memiliki tingkat efisiensi air sebanyak 40%-60%, artinya ada sebanyak 60%-40% air yang terbuang sia-sia setiap penyiramannya. Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat kita simpulkan bahwa tingkat efisiensi penggunaan air pada sistem irigasi pertanian menggunakan IoT lebih tinggi senilai 35-55% jika dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional.

BAB IV

KESIMPULAN

Sehingga dari penelitian diatas dapat kita tarik kesimpulan bahwa, penggunaan perangkat IoT dalam sistem irigasi mampu meningkatkan efisiensi dari penyiraman hingga dua kali lipat jika dibandingkan sistem irigasi konvensional. Penggunaan perangkat IoT dalam sistem irigasi juga bermanfaat pada hal-hal lain, seperti memangkas biaya operasional dan tenaga kerja yang dibutuhkan, meningkatkan hasil panen, mencegah tanah dari kerusakan akibat sistem irigasi yang buruk, serta masih banyak lagi. Selain itu, para petani bisa memiliki waktu lebih untuk dapat mengembangkan usaha sampingan atau kegiatan lainnya yang dapat meningkatkan pendapatan mereka. Dengan demikian, implementasi teknologi IoT dalam sistem irigasi bukan hanya memperbaiki efisiensi penggunaan air tetapi juga berpotensi untuk meningkatkan kesejahteraan dan keberlanjutan petani secara keseluruhan.

BAB V

DAFTAR PUSTAKA

Lami, H. F., Manu, S. O., & Pella, I. S.

(2019). Disain Sistim Kontrol

- Model Pengairan Pertanian Lahan Kering Berbasis Fuzzy Logic.
Maulana, R. M., & Ichsan, M. H. H. (2018). Penerapan Metode Logika Fuzzy Untuk Alat Kontrol Kelembapan Tanah Pada Greenhouse Laboratorium Tanah BPTP Jawa Timur.
- Pandey, A. K., Bora, R., Yadav, A. L., & Dash, S. (2023). Research Trends in Agriculture Science Volume 1.
- Pelayo, R. (2023, Juni 26). *ESP32 Pinout Diagram | ESP32-WROOM-32*. Microcontroller Tutorials. Retrieved June 28, 2024, from <https://www.teachmemicro.com/esp32-pinout-diagram-wroom-32/>
- Siswanti, D. U., Syahidah, A., & Sudjino. (2018, Mei 9). Produktivitas Tanaman padi (*Oryza sativa L.*) cv Segreng Setelah Aplikasi Sludge Biogas di Lahan Sawah Desa Wukirsari, Cangkringan, Sleman. *Biogenesis*, 6, 64 - 70.

[https://doi.org/10.24252/bio.v6i1.](https://doi.org/10.24252/bio.v6i1.4241)

[4241](#)

University of Würzburg. (2019, April 29). Wax helps plants to survive in the desert. *ScienceDaily*.

https://www-sciencedaily-com.translate.goog/releases/2019/04/190429104736.htm?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=wa