

# Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Tanaman Bayam Berbasis IoT dengan Optimasi Penyiraman Menggunakan Algoritma Decision Tree

Zulfan Khairil Simbolon<sup>1</sup>, Hendrawaty<sup>2</sup>, Mulyadi<sup>3</sup>, Hasyimi Abdullah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>1</sup>[zulfan@pnl.ac.id](mailto:zulfan@pnl.ac.id)

<sup>4</sup> *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe*

*Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>3</sup>[hasyimi@pnl.ac.id](mailto:hasyimi@pnl.ac.id)

**Abstrak**— Penelitian ini memaparkan perancangan dan implementasi sistem monitoring berbasis IoT untuk budidaya bayam dengan otomatisasi penyiraman menggunakan algoritma Decision Tree. Dataset yang digunakan terdiri dari lima atribut input, yaitu kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan usia tanaman, dengan keputusan penyiraman sebagai output. Perhitungan Information Gain menunjukkan bahwa kelembaban udara memiliki nilai tertinggi sebesar 0,8813 bit pada threshold 57,5%, identik dengan entropy total, yang menunjukkan kemampuannya memisahkan keputusan SIRAM dan TIDAK SIRAM secara sempurna. Atribut kelembaban tanah dan intensitas cahaya memiliki IG sedang (0,5568 bit), sedangkan suhu udara dan usia tanaman memberikan IG lebih rendah. Meskipun demikian, kelembaban tanah dipilih sebagai root node karena relevansi agronomis dan kemudahan pengukuran. Sistem memproses data sensor secara lokal pada ESP32, sementara data dikirim melalui protokol MQTT ke aplikasi smartphone untuk monitoring real-time. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengambil keputusan penyiraman secara akurat, mengoptimalkan penggunaan air, beradaptasi dengan kondisi lingkungan, dan mendukung pertanian presisi serta praktik pertanian berkelanjutan.

**Kata kunci:** IoT, Decision Tree, penyiraman otomatis, monitoring tanaman bayam, dan Information Gain.

**Abstract**— This study presents the design and implementation of an IoT-based monitoring system for spinach cultivation with automated irrigation using a Decision Tree algorithm. The dataset used consists of five input attributes: soil moisture, air temperature, air humidity, light intensity, and plant age, with irrigation decision as the output. Information Gain calculation showed that air humidity had the highest value of 0.8813 bits at a threshold of 57.5%, identical to the total entropy, indicating its ability to perfectly separate the IRRIGATE and DO NOT IRRIGATE decisions. Soil moisture and light intensity had moderate IG values (0.5568 bits), while air temperature and plant age had lower IG. Nevertheless, soil moisture was chosen as the root node due to its agronomic relevance and ease of measurement. The system processes sensor data locally on the ESP32, while data are transmitted via the MQTT protocol to a smartphone application for real-time monitoring. Test results showed that the system could make accurate irrigation decisions, optimize water use, adapt to environmental conditions, and support precision agriculture and sustainable farming practices.

**Keywords:** IoT, Decision Tree, automated irrigation, spinach monitoring, and Information Gain

## I. PENDAHULUAN

Tanaman bayam merupakan salah satu sayuran daun yang populer dibudidayakan karena masa panennya yang singkat serta kandungan gizinya yang tinggi, seperti vitamin, mineral, dan serat. Permintaan pasar yang terus meningkat menjadikan bayam sebagai salah satu komoditas hortikultura yang potensial untuk dikembangkan. Namun, produktivitas bayam sangat dipengaruhi oleh faktor budidaya, terutama sistem penyiraman. Penyiraman yang berlebihan dapat memicu kelembaban berlebih sehingga menimbulkan penyakit tanaman, sedangkan penyiraman yang kurang dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan kualitas hasil panen [1].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam mendukung praktik pertanian modern atau smart farming. Dengan IoT, kondisi lingkungan tanaman dapat dipantau secara real-time melalui sensor yang mengukur parameter penting, seperti intensitas cahaya, temperatur udara, kelembaban tanah, dan kelembaban udara. Data dari sensor ini dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan untuk menentukan penyiraman yang lebih tepat [2].

Dalam penelitian ini, sistem pengambilan keputusan penyiraman menggunakan algoritma Decision Tree, yang mampu mengklasifikasikan data sensor dan menentukan

tindakan berdasarkan pola data yang diperoleh. Algoritma ini telah terbukti efektif pada penelitian sebelumnya dalam mendukung otomatisasi penyiraman tanaman berbasis IoT dengan memanfaatkan data lingkungan secara langsung [3]. Sistem yang dirancang pada penelitian ini dijadwalkan untuk melakukan penyiraman satu kali sehari pada sore hari. Pemilihan sore hari dipertimbangkan karena pada waktu tersebut tingkat penguapan lebih rendah dibandingkan siang hari, sehingga kelembaban tanah dapat terjaga lebih lama [4].

Selain jadwal penyiraman, volume penyiraman dalam sistem ini ditentukan berdasarkan usia tanaman bayam. Tanaman yang lebih muda membutuhkan air lebih sedikit dibandingkan tanaman yang lebih tua, sehingga sistem dapat menyesuaikan suplai air sesuai kebutuhan pertumbuhan. Dengan pendekatan ini, diharapkan penggunaan air menjadi lebih efisien, tanaman lebih sehat, dan risiko penyakit akibat kelembaban berlebih dapat diminimalkan [5].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring tanaman bayam berbasis IoT dengan pengambilan keputusan penyiraman menggunakan algoritma Decision Tree. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu petani meningkatkan efisiensi penyiraman, menjaga kelembaban optimal tanah, serta meningkatkan produktivitas tanaman bayam. Selain itu, penelitian ini juga menjadi kontribusi

dalam penerapan teknologi pertanian presisi (precision agriculture), yaitu konsep pertanian berbasis data yang bertujuan mengoptimalkan input dan meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan [6].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen terapan dengan pendekatan kuantitatif. Fokus utama penelitian adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem monitoring serta pengambilan keputusan penyiraman tanaman bayam berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan algoritma Decision Tree. Penelitian ini lebih diarahkan pada pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak yang dapat membaca data sensor, mengolahnya melalui algoritma, serta menghasilkan keputusan penyiraman secara otomatis, sehingga tidak difokuskan pada uji pertumbuhan tanaman secara biologis.

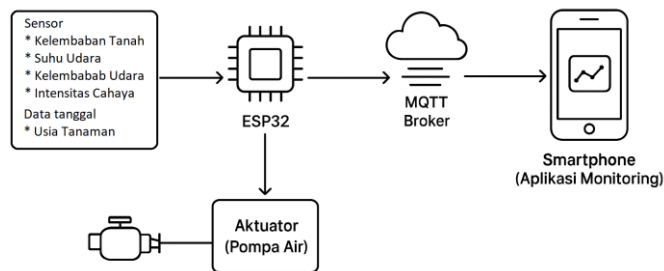
Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium dan ruang uji dengan kondisi lingkungan yang dapat dikontrol seperti ditunjukkan Gambar 1. Proses penelitian meliputi tahapan perancangan rangkaian perangkat keras yang terdiri dari arduino Esp32, sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban udara, sensor intensitas cahaya, data usia tanaman bayam, serta aktuator berupa pompa air. Perangkat keras ini dipadukan dengan perangkat lunak berupa algoritma Decision Tree yang diimplementasikan pada arduino ESP32 untuk menghasilkan keputusan penyiraman berdasarkan data sensor yang diperoleh.



Gambar 1. Lingkungan budidaya tanaman bayam

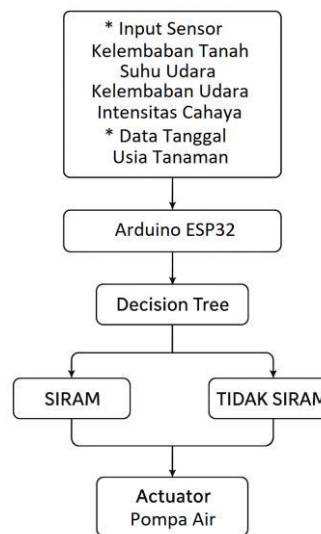
Selain itu, sistem IoT yang dikembangkan seperti Gambar 2 dilengkapi dengan protokol komunikasi MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) untuk mendukung proses monitoring jarak jauh. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui broker MQTT dan dapat diakses secara real-time pada perangkat smartphone melalui aplikasi pendukung. Dengan mekanisme ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan tanaman, status aktuator, serta riwayat penyiraman secara langsung tanpa harus berada di lokasi penelitian.

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan beberapa hal, yaitu akurasi pembacaan sensor, keandalan algoritma Decision Tree dalam mengklasifikasikan kondisi lingkungan, kinerja protokol MQTT dalam proses pengiriman data, serta pompa air terhadap perintah sistem. Dengan demikian, penelitian ini tidak menekankan pada hasil panen atau pertumbuhan tanaman bayam, melainkan pada efektivitas sistem IoT yang dirancang dalam melakukan monitoring dan otomatisasi penyiraman berbasis data yang dapat dipantau langsung melalui perangkat smartphone.



Gambar 2. Diagram arsitektur sistem IoT penyiraman bayam berbasis MQTT.

Diagram arsitektur Decision Tree penyiraman bayam dirancang Gambar 3, sistem penyiraman dilakukan hanya satu kali sehari, tepatnya pada sore hari pada jam yang telah ditentukan. Data dari sensor kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, serta masukan usia tanaman diproses oleh Arduino ESP32 menggunakan algoritma Decision Tree.



Gambar 3. Diagram arsitektur Decision Tree penyiraman bayam.

Berdasarkan hasil klasifikasi, sistem menentukan apakah tanaman membutuhkan penyiraman atau tidak. Jika penyiraman diperlukan, maka volume air yang dikeluarkan disesuaikan dengan usia tanaman bayam, semakin tua tanaman, semakin besar kebutuhan air yang diberikan. Dengan mekanisme ini, sistem tidak hanya menjaga efisiensi penggunaan air, tetapi juga menyesuaikan suplai air sesuai fase pertumbuhan tanaman, sehingga mendukung pertanian presisi dan menjaga kualitas panen bayam.

Rancangan skenario yang digunakan dalam penelitian ini tergambar pada Tabel 1 terdiri dari sepuluh baris data dengan variabel utama kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan usia tanaman bayam. Kelembaban tanah menjadi faktor dominan dalam pengambilan keputusan, di mana nilai di bawah 35% menunjukkan kondisi kekeringan sehingga tanaman harus disiram, sedangkan pada nilai 44% ke atas penyiraman tidak diperlukan karena tanah masih cukup lembab. Suhu udara turut memengaruhi keputusan, di mana suhu tinggi ( $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ) meningkatkan laju penguapan sehingga mendorong perlunya penyiraman, sedangkan suhu sedang ( $26\text{--}29^{\circ}\text{C}$ ) cenderung aman. Kelembaban udara berperan dalam menjaga keseimbangan air tanaman, di mana kelembaban rendah ( $< 50\%$ ) membuat tanaman lebih cepat kehilangan air sehingga

lebih sering membutuhkan penyiraman, sementara kelembaban tinggi (>60%) justru menurunkan kebutuhan air. Intensitas cahaya juga menjadi variabel pendukung, karena cahaya tinggi mempercepat fotosintesis sekaligus penguapan sehingga dapat meningkatkan kebutuhan air, sedangkan cahaya rendah menekan kebutuhan air. Selain itu, usia tanaman bayam menjadi penentu volume air yang diberikan, dengan tanaman muda membutuhkan air lebih sedikit dibandingkan tanaman dewasa. Keputusan akhir penyiraman ditentukan melalui kombinasi seluruh variabel tersebut, di mana penyiraman dilakukan satu kali sehari pada sore hari dengan volume air yang disesuaikan berdasarkan usia tanaman. Dengan pendekatan ini, sistem mampu menjaga efisiensi penggunaan air sekaligus mendukung pertumbuhan optimal tanaman bayam.

Tabel 1. Dataset Decision Tree Penyiraman Tanaman Bayam

Kelembaban Tanah (%)	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)	Intensitas Cahaya (Lux)	Usia Tanaman (hari)	Keputusan Penyiraman	Volume (mL/tanaman)
22	29	45	13000	8	SIRAM	150
28	31	40	15000	14	SIRAM	250
32	27	50	10000	6	SIRAM	120
34	26	55	8000	12	SIRAM	180
36	33	42	14000	20	SIRAM	300
38	30	48	11000	25	SIRAM	350
40	29	60	9000	10	TIDAK SIRAM	0
42	32	45	16000	18	SIRAM	300
44	28	65	7000	22	TIDAK SIRAM	0
46	27	70	6000	30	TIDAK SIRAM	0

**Perancangan Algoritma Decision Tree**

Perancangan algoritma Decision Tree pada penelitian ini didasarkan pada tabel dataset yang terdiri dari lima variabel input, yaitu kelembaban tanah (%), suhu udara (°C), kelembaban udara (%), intensitas cahaya (Lux), serta usia tanaman (hari). Variabel output berupa keputusan penyiraman yang dibagi menjadi dua kategori, yaitu SIRAM atau TIDAK SIRAM, dengan tambahan informasi berupa volume air yang diberikan apabila keputusan sistem adalah melakukan penyiraman.

Langkah awal dalam pembentukan Decision Tree adalah menentukan root node. Berdasarkan kajian agronomis, kelembaban tanah dipilih sebagai root node utama karena merupakan indikator paling langsung terhadap kebutuhan air tanaman bayam. Apabila kelembaban tanah berada di bawah 35%, sistem secara otomatis memberikan keputusan untuk melakukan penyiraman. Volume air kemudian ditentukan oleh usia tanaman, di mana tanaman muda (0–10 hari) diberikan sekitar 100–150 ml, tanaman usia 11–20 hari diberikan 200–250 ml, tanaman usia 21–30 hari diberikan 300–350 ml, dan tanaman di atas 30 hari diberikan hingga 400 ml.

Apabila kelembaban tanah berada pada kategori sedang (35–50%), maka sistem melakukan percabangan lanjutan dengan mempertimbangkan suhu udara dan kelembaban udara. Jika suhu udara ≥30 °C dan kelembaban udara <50%, maka penyiraman tetap dilakukan karena laju evaporasi tinggi. Sebaliknya, jika kondisi suhu dan kelembaban udara berada pada kisaran normal, maka penyiraman tidak dilakukan meskipun kelembaban tanah hanya sedang.

Variabel intensitas cahaya digunakan sebagai penentu tambahan pada kondisi ambang batas tertentu. Apabila kelembaban tanah sedang (35–50%) dan suhu udara relatif normal (25–29 °C), tetapi intensitas cahaya sangat tinggi (≥30.000 Lux), maka sistem memutuskan untuk melakukan penyiraman untuk mencegah stres cahaya yang dapat meningkatkan kebutuhan air tanaman. Sebaliknya, pada intensitas cahaya rendah (<10.000 Lux), meskipun kelembaban tanah sedang, penyiraman tidak dilakukan karena resiko kekeringan relatif kecil.

Pada kelembaban tanah tinggi (≥50%), sistem secara konsisten memutuskan TIDAK SIRAM, kecuali dalam kondisi ekstrem di mana kelembaban udara sangat rendah (<40%) dan intensitas cahaya sangat tinggi (≥35.000 Lux). Dalam situasi ini, meskipun tanah relatif lembab, penyiraman dengan volume kecil dapat dipertimbangkan untuk menjaga keseimbangan fisiologis tanaman bayam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Perhitungan Matematis Algoritma Decision Tree**

Tahap awal dalam pembentukan Decision Tree untuk sistem penyiraman tanaman bayam dilakukan melalui analisis matematis terhadap dataset acuan yang terdiri dari 10 baris data. Dataset ini memuat lima atribut masukan, yaitu kelembaban tanah (%), suhu udara (°C), kelembaban udara (%), intensitas cahaya (Lux), dan usia tanaman (hari), serta satu atribut keluaran berupa keputusan penyiraman, yaitu SIRAM dan TIDAK SIRAM. Berdasarkan dataset, terdapat 7 data dengan keputusan “SIRAM” dan 3 data dengan keputusan “TIDAK SIRAM”. Sebelum menentukan atribut terbaik sebagai root node, dilakukan perhitungan entropy awal (H(S)) sebagai ukuran tingkat ketidakpastian dataset sebelum pemisahan.

Nilai probabilitas kelas SIRAM dan TIDAK SIRAM masing-masing adalah:

$$p_{SIRAM} = \frac{7}{10} = 0,7 \quad \text{dan} \quad p_{TIDAK SIRAM} = \frac{3}{10} = 0,3$$

Sehingga, entropy total dihitung dengan rumus:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^c p_i \log_2 p_i$$

$$H(S) = -(0,7 \log_2 0,7 + 0,3 \log_2 0,3) = 0,8813 \text{ bit}$$

Nilai ini menjadi acuan dasar dalam menghitung Information Gain (IG) setiap atribut [7]. IG mengukur besarnya penurunan ketidakpastian ketika data dipisahkan oleh suatu atribut.

**Penentuan Threshold dan Entropy Subset**

Karena seluruh atribut pada dataset merupakan data numerik, maka diperlukan proses penentuan titik ambang batas (threshold, τ) untuk setiap atribut [8]. Threshold diperoleh dari nilai tengah antara dua data berurutan yang memiliki kelas keputusan berbeda. Sebagai contoh, untuk atribut kelembaban tanah, nilai threshold ditetapkan di antara 38% (SIRAM) dan 40% (TIDAK SIRAM), sehingga:

$$\tau = \frac{38 + 40}{2} = 39,0\%$$

Dataset kemudian dibagi menjadi dua subset berdasarkan threshold tersebut, yaitu data dengan nilai kelembaban tanah  $\leq 39\%$  dan  $> 39\%$ . Untuk masing-masing subset, nilai entropy dihitung kembali menggunakan rumus entropy, dengan memperhatikan proporsi jumlah data SIRAM dan TIDAK SIRAM pada subset tersebut. Prosedur ini dilakukan pada seluruh atribut: kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan usia tanaman.

**Perhitungan Information Gain (IG)**

Langkah berikutnya adalah menghitung Information Gain dari masing-masing atribut menggunakan rumus:

$$IG(S, A) = H(S) - H(S|A)$$

di mana  $H(S|A)$  adalah entropy rata-rata tertimbang dari kedua subset hasil pemisahan atribut A. Hasil perhitungan Information Gain untuk kelima atribut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Information Gain Dataset Tanaman Bayam

No	Atribut	Threshold ( $\tau$ )	$H(S \leq \tau)$	$H(S > \tau)$	IG (bit)
1	Kelembaban Udara (%)	57,5	0,0000	0,0000	0,8813
2	Kelembaban Tanah (%)	39,0	0,0000	0,7642	0,5568
3	Intensitas Cahaya (Lux)	9500	0,7642	0,0000	0,5568
4	Suhu Udara (°C)	29,5	0,9183	0,0000	0,2813
5	Usia Tanaman (hari)	27,5	0,7642	0,0000	0,1935

Berdasarkan Tabel 2 tersebut, atribut kelembaban udara memiliki nilai Information Gain tertinggi yaitu 0,8813 bit pada threshold 57,5%. Nilai ini identik dengan entropy total, yang menunjukkan bahwa kelembaban udara dapat membagi dataset secara sempurna antara keputusan SIRAM dan TIDAK SIRAM. Atribut kelembaban tanah dan intensitas cahaya memberikan nilai IG sedang (0,5568 bit), sedangkan suhu udara dan usia tanaman memberikan IG yang lebih rendah.

**Pemilihan Root Node dan Struktur Decision Tree**

Secara matematis, atribut dengan IG tertinggi seharusnya dipilih sebagai root node [9], yaitu kelembaban udara. Namun, berdasarkan pertimbangan agronomis, kelembaban tanah dipilih sebagai root node karena merupakan indikator langsung terhadap kebutuhan air tanaman bayam dan lebih mudah diukur menggunakan sensor tanah pada sistem IoT. Proses percabangan berikutnya memanfaatkan atribut suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya untuk menyempurnakan pengambilan keputusan penyiraman. Dengan demikian, perhitungan matematis entropy dan Information Gain membuktikan bahwa kelembaban udara dan kelembaban tanah merupakan faktor dominan dalam klasifikasi keputusan penyiraman tanaman bayam.

**Implementasi Decision Tree pada ESP32**

Tahap selanjutnya setelah diperoleh struktur Decision Tree dari hasil perhitungan Information Gain adalah melakukan implementasi algoritma Decision Tree ke dalam perangkat

arduino ESP32 seperti ditunjukkan Gambar 4. Implementasi ini bertujuan untuk mengotomatisasi proses pengambilan keputusan penyiraman tanaman bayam berdasarkan data sensor secara real-time. Node akar yang dipilih dalam Decision Tree adalah kelembaban tanah, karena merupakan indikator langsung terhadap kebutuhan air dan dapat diukur dengan sensor soil moisture yang terpasang di media tanam. Data sensor lainnya, seperti suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya digunakan sebagai variabel percabangan tambahan untuk memperkuat akurasi keputusan terutama pada kondisi ambang batas.

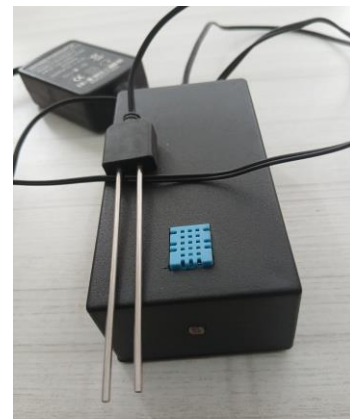
Implementasi algoritma Decision Tree ini diuji langsung di lapangan menggunakan node ESP32 yang terhubung dengan sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor), sensor suhu dan kelembaban udara (DHT22), serta sensor intensitas cahaya (LDR) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Data sensor dibaca secara periodik, diproses oleh algoritma pohon keputusan, kemudian sistem menentukan aksi penyiraman secara otomatis.

```

algorithm | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help

algorithm
30
51 // === Algoritma Decision Tree ===
52 void decisionTree() {
53   siram = false;
54   volumeAir = 0;
55
56   // 1 Kelembaban tanah rendah -> langsung siram
57   if (soilMoisture < 35) {
58     siram = true;
59
60     // Volume berdasarkan usia tanaman
61     if (plantAge <= 10) volumeAir = 120;
62     else if (plantAge <= 20) volumeAir = 220;
63     else if (plantAge <= 30) volumeAir = 320;
64     else volumeAir = 400;
65   }
66
67   // 2 Kelembaban tanah sedang (35-50%)
68   else if (soilMoisture >= 35 && soilMoisture < 50) {
69     if (airTemp >= 30 && airHum < 50) {
70       // Suhu tinggi + kelembaban udara rendah -> siram
71       siram = true;
72       volumeAir = 220;
73     }
74     else if (airTemp >= 25 && airTemp <= 29 && lightLux >= 30000) {
75       // Suhu normal tapi cahaya sangat tinggi -> siram
76       siram = true;
77       volumeAir = 200;
78     }
79   }
80 }
    
```

Gambar 4. Implementasi algoritma Decision Tree pada arduino ESP32



Gambar 5. Modul penyiraman bayam menggunakan ESP32

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengambil keputusan penyiraman sesuai dengan kondisi nyata di lapangan dengan respon cepat dan akurat. Integrasi algoritma Decision Tree pada ESP32 terbukti efektif dalam mendukung sistem penyiraman otomatis tanaman bayam berbasis Internet of Things (IoT).

**Implementasi Protokol MQTT**

Implementasi protokol MQTT dilakukan untuk memungkinkan sistem penyiraman tanaman bayam berkomunikasi secara real-time dan efisien antara perangkat ESP32 (node sensor dan aktuator) dengan server MQTT (broker). Penggunaan MQTT sangat sesuai untuk sistem IoT karena memiliki overhead data yang rendah, mendukung koneksi yang tidak stabil, dan memudahkan integrasi dengan dashboard monitoring jarak jauh.

Pengujian dilakukan dengan mengamati waktu pengiriman data dari ESP32 ke broker, kemudian ke dashboard, serta respons terhadap perintah kontrol. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian komunikasi MQTT.

Tabel 3. Hasil Pengujian Komunikasi MQTT

No	Jenis Data	Ukuran Payload (byte)	Rata-rata Waktu Kirim (ms)	Status Pengiriman
1	Kelembaban Tanah	15	120	Berhasil
2	Suhu Udara	14	115	Berhasil
3	Kelembaban Udara	16	118	Berhasil
4	Intensitas Cahaya	18	122	Berhasil
5	Usia Tanaman	12	110	Berhasil
6	Perintah Kontrol Pompa (ON)	10	130	Berhasil
7	Perintah Kontrol Pompa (OFF)	10	125	Berhasil

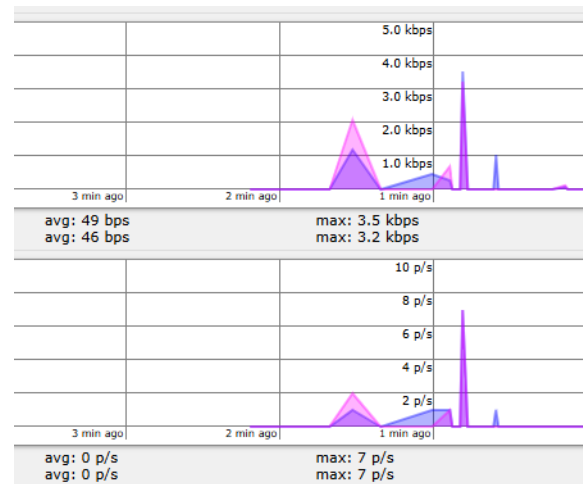
**Pengujian MQTT melalui Mikrotik dengan VPN dan Port Forwarding**

Selain melakukan pengujian komunikasi MQTT pada jaringan lokal, sistem juga diuji dengan skenario komunikasi jarak jauh menggunakan perangkat Mikrotik yang dikonfigurasi sebagai gateway jaringan. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa protokol MQTT tetap dapat berjalan dengan baik ketika diakses melalui jaringan publik menggunakan VPN (Virtual Private Network) dan port forwarding yang mengarah ke broker MQTT [10].

Dalam konfigurasi ini, server MQTT (ESP32 PicoMQTT Broker) ditempatkan di dalam jaringan lokal, sedangkan Mikrotik berfungsi sebagai penghubung antara jaringan lokal dan internet. Port MQTT (default TCP 1883) diteruskan melalui fitur NAT dan port forwarding Mikrotik, sehingga client eksternal dapat mengakses broker dengan alamat IP publik atau VPN. Untuk keamanan tambahan, koneksi client eksternal (misalnya dashboard monitoring atau perangkat mobile) diarahkan melalui VPN Mikrotik agar lalu lintas data terenkripsi dan hanya perangkat terotorisasi yang dapat terhubung ke broker.

Pengujian sistem komunikasi data dilakukan dengan memanfaatkan protokol MQTT yang terhubung melalui router Mikrotik dengan konfigurasi VPN dan port forwarding terlihat pada Gambar 6. Berdasarkan hasil pemantauan trafik jaringan,

diperoleh data rata-rata pengiriman (Tx) sebesar 48 bps dan penerimaan (Rx) sebesar 45 bps, dengan nilai maksimum Tx mencapai 3,5 kbps dan Rx sebesar 3,2 kbps. Nilai trafik saat ini pada saat pengukuran menunjukkan 0 bps, yang menandakan tidak terdapat aktivitas pengiriman maupun penerimaan data tepat pada saat pengambilan data dilakukan. Nilai rata-rata trafik yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem MQTT bekerja dengan beban jaringan yang sangat ringan.



Gambar 6. Trafik data MQTT pada Mikrotik

Puncak trafik yang tercatat, baik pada Tx maupun Rx, menunjukkan adanya lonjakan sesaat yang umumnya terjadi ketika beberapa node melakukan proses publish secara bersamaan, atau saat aplikasi monitoring melakukan proses subscribe ulang dan menerima pesan retained dari broker. Lonjakan ini juga dapat disebabkan oleh proses koneksi ulang klien, sinkronisasi data, atau update status pompa secara bersamaan. Meskipun demikian, nilai puncak trafik yang hanya berada pada kisaran 3,2–3,5 kbps masih tergolong rendah dan tidak membebani kapasitas jaringan.

**Pengujian Sistem IoT melalui Aplikasi Smartphone**

Hasil pengujian sistem monitoring dan otomatisasi penyiraman tanaman bayam menunjukkan bahwa rancangan algoritma Decision Tree yang dibangun mampu bekerja secara adaptif berdasarkan data sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data yang dimonitor meliputi kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan usia tanaman. Seluruh parameter dikirim secara real time ke MQTT broker, kemudian diteruskan ke aplikasi smartphone sehingga pengguna dapat memantau kondisi pertumbuhan tanaman secara langsung seperti Gambar 7.

Melalui aplikasi smartphone, pengguna dapat melihat perubahan data sensor dari waktu ke waktu. Fitur ini memudahkan petani dalam memahami pola kebutuhan air tanaman bayam berdasarkan kondisi aktual. Selain itu, sistem penyiraman hanya diizinkan satu kali dalam sehari, khususnya pada sore hari sesuai jadwal yang ditentukan, dengan volume air yang menyesuaikan fase pertumbuhan tanaman. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa strategi ini dapat menghindari overwatering sekaligus menjaga efisiensi penggunaan air.



Gambar 7. Aplikasi IoT Smartphone

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian “Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Tanaman Bayam Berbasis IoT dengan Optimasi Penyiraman Menggunakan Algoritma Decision Tree”, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring lingkungan dan pengambilan keputusan penyiraman secara otomatis dengan akurat. Algoritma Decision Tree diimplementasikan pada ESP32 untuk memproses data sensor secara lokal, dengan kelembaban tanah dipilih sebagai root node berdasarkan pertimbangan agronomis, meskipun secara matematis kelembaban udara memiliki Information Gain tertinggi. Percabangan selanjutnya mempertimbangkan suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan usia tanaman untuk meningkatkan akurasi keputusan penyiraman dan menyesuaikan volume air sesuai fase pertumbuhan. Perhitungan entropy dan Information Gain menunjukkan bahwa kelembaban tanah dan kelembaban udara merupakan faktor dominan dalam klasifikasi keputusan penyiraman. Sistem IoT berfungsi sebagai monitoring real-time melalui protokol MQTT dan aplikasi smartphone, sehingga pengujian menunjukkan efektivitasnya dalam menjaga efisiensi penggunaan air, mendukung pertanian presisi, dan mempermudah pemantauan tanaman bayam.

#### REFERENSI

- [1] Andini, R., Yoshida, S., Yoshida, Y., & Ohsawa, R. (2013). Amaranthus genetic resources in Indonesia: Morphological and protein content assessment in comparison with worldwide amaranths. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(6), 2115–2128. <https://doi.org/10.1007/s10722-013-9979-y>
- [2] Khattab, A., Abdelgawad, A., & Yelmarthi, K. (2016). Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture. 2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM), 201–204. IEEE. PDF tersedia: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7847889>
- [3] Aydın, Ö., Kandemir, C. A., Kırac, U., & Dalkılıç, F. (2021). An artificial intelligence and Internet of things based automated irrigation system. arXiv preprint arXiv:2104.04076. PDF tersedia: <https://arxiv.org/pdf/2104.04076.pdf>
- [4] IRJMETS. (2023). Smart Agriculture Using Decision Tree in IoT. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5(3), 35152. PDF tersedia: [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue\\_3\\_march\\_2023/35152/final/fin\\_irjmets1680258785.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_3_march_2023/35152/final/fin_irjmets1680258785.pdf)
- [5] Roy, B. P., Sattar, K. N. A., & Elngar, A. A. (2024). A Smart Irrigation System Using the IoT and Advanced Machine Learning Model. *Journal of Smart Internet of Things*. ResearchGate. PDF tersedia: [https://www.researchgate.net/publication/389348698\\_A\\_Smart\\_Irrigation\\_System\\_Using\\_the\\_IoT\\_and\\_Advanced\\_Machine\\_Learning\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/389348698_A_Smart_Irrigation_System_Using_the_IoT_and_Advanced_Machine_Learning_Model)
- [6] Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- [7] Nasrullah, A. H. (2021). Implementasi algoritma decision tree C4.5 untuk klasifikasi produk laris di PT Cipta Karya Gorontalo. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 5(1), 46–55. <https://media.neliti.com/media/publications/459443-implementasi-algoritma-decision-tree-unt-e07c7694.pdf>
- [8] Sudirma, B. (2025). Peningkatan Kinerja Decision Tree C4.5 Melalui Improvisasi Atribut Numerik. *Jurnal Ilmu Komputer Ruru (JIKR)*, 2(1), 24–32. Diakses dari <https://journal.lintasgenerasi.com/index.php/JIKR/article/download/17/134>
- [9] Fatma, Y. L. (2024). Prediksi siswa putus sekolah menggunakan algoritma decision tree C4.5. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Sistem Informasi (JINACS)*, 11(2), 123–134. Diakses dari <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jinacs/article/download/58895/45842>
- [10] Saputra, G. Y., Afrizal, A., & Cahyadi, F. (2017). Penerapan protokol MQTT pada teknologi WAN (Studi Kasus Sistem Parkir Universitas Brawijaya). *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 12(2), 69–76. Diakses dari <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/JIM/article/view/653>