

SMART IRRIGATION MANAGEMENT: UTILIZING DECISION TREE FOR PREDICTIVE ANALYSIS IN CROP CULTIVATION

MANAJEMEN IRIGASI CERDAS: MEMANFAATKAN DECISION TREE UNTUK UNTUK ANALISIS PREDIKTIF DALAM BUDIDAYA TANAMAN

Moh. Iqbal Bagus Prasetyo Hutomo¹, Muhammad Yasir Al Ghiffari², Naufal Reky Ardhana³, Rachmadandy Mahendra Shakti⁴, Rifqi Haezul Ma'ali⁵, Selvi Al-Makaari Safitri⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknologi Rekayasa Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

E-mail: moh.43322016@mhs.polines.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Correspondent:

Moh. Iqbal Bagus Prasetyo Hutomo
moh.43322016@mhs.polines.ac.id

Key words:

AIoT, IoT, decision tree, smart irrigation, soil moisture, water efficiency

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Page: 1079 - 1091

An Internet of Things (IoT)-based smart irrigation system with Decision Tree algorithm was successfully developed to improve the efficiency of water management in crop cultivation. In this system, DHT11 sensors are used to monitor air temperature and humidity, and Moisture Soil sensors are used to measure soil moisture. With 94% accuracy, the collected data is used to predict the watering needs of plants automatically. The results show that the Decision Tree algorithm can identify relevant environmental patterns, optimise the irrigation schedule, and reduce water wastage by 30%. The system is expected to support smart and sustainable agriculture technology, although further implementation is required for a wider scale.

Copyright ©2024 JSCR. All rights reserved.

INFO ARTIKEL

Koresponden

Moh. Iqbal Bagus
Prasetyo Hutomo
moh.43322016@mhs.poline
s.ac.id

Kata kunci:

IoT, AIoT, decision tree,
irigasi cerdas,
kelembapan tanah,
efisiensi air

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Hal: 1079 - 1091

ABSTRAK

Sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan algoritma *Decision Tree* berhasil dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air dalam budidaya tanaman. Dalam sistem ini, sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan udara, dan sensor *Moisture Soil* digunakan untuk mengukur kelembapan tanah. Dengan akurasi 94%, data yang dikumpulkan digunakan untuk memprediksi kebutuhan penyiraman tanaman secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree* dapat mengidentifikasi pola lingkungan yang relevan, mengoptimalkan jadwal irigasi, dan mengurangi pemborosan air hingga 30%. Sistem ini diharapkan dapat mendukung teknologi pertanian cerdas dan berkelanjutan, meskipun implementasi lebih lanjut diperlukan untuk skala yang lebih luas.

Copyright ©2024 JSCR. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) memberikan dampak yang signifikan di berbagai bidang. Saat ini, IoT dapat dimanfaatkan oleh orang biasa. Beberapa metodologi yang telah dikembangkan IoT mempermudah manusia dalam sektor pertanian. Metodologi ini diimplementasikan pada kebutuhan dasar seperti makanan, yang dapat dicapai dari bidang pertanian. (Reddy & Roopa, t.t.). Sistem *Internet of Things* (IoT) mengintegrasikan berbagai sensor untuk memantau kelembapan tanah, kelembapan udara, suhu, dan intensitas cahaya secara real-time, menyediakan data yang akurat untuk memastikan kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman (Pratama dkk., 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) telah membawa perubahan signifikan di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Salah satu teknologi yang kini semakin sering digunakan di bidang tersebut adalah Machine Learning. (Anggarda dkk., 2023a). Metode yang menggunakan algoritma Machine Learning berhasil diterapkan untuk memberikan solusi pada topik-topik ini seperti memprediksi potensi air daun, pemodelan perkembangan akar, pertumbuhan umbi, prediksi evapotranspirasi harian, dan lain-lain (Dubois dkk., 2021).

Decision Tree mengklasifikasikan hasil target dengan tingkat akurasi yang tinggi, model Decision Tree digunakan dalam kontrol irigasi untuk menganalisis input lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan dan menganalisis prediksi tanaman dan jumlah air yang dikonsumsi (Shaik Mabasha, 2024).

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan teknik prediktif berbasis data lapangan untuk meningkatkan hasil panen. *Internet-of-Things Framework for Smart Irrigation* (G. S. Campos dkk., 2019), *Smart watering of ornamental plants: exploring the potential of decision trees in precision agriculture based on IoT* (Pratama dkk., 2024).

Penelitian oleh Liu *et al.* (2021) dalam "*Information Processing in Agriculture*" membahas penerapan IoT untuk sistem irigasi otomatis. Mereka mengembangkan sistem yang menggunakan sensor untuk memantau kondisi tanah dan lingkungan, serta mengendalikan sistem irigasi secara otomatis berdasarkan data sensor. Penelitian ini menunjukkan bagaimana IoT dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas irigasi.

Pengembangan sistem irigasi cerdas pada perkebunan dengan pendekatan machine learning menjadi tantangan yang menarik dalam konteks ini. Dengan memanfaatkan teknologi IoT dan kecerdasan buatan, sistem tersebut dapat berfungsi sebagai alat yang efektif untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, diperlukan penelitian dan pengembangan lanjutan guna mengoptimalkan kinerja sistem penyiraman otomatis sekaligus memastikan keberhasilan implementasinya di lapangan (Anggarda dkk., 2023b).

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem prediksi waktu penyiraman optimal dengan pendekatan machine learning, khususnya dengan memanfaatkan algoritma *Decision Tree* untuk analisis prediktif dalam budidaya tanaman. Data yang diperoleh dari sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara serta sensor *Soil Moisture* untuk mengukur kelembaban tanah akan diolah dan dianalisis menggunakan *Decision Tree* untuk melakukan klasifikasi waktu penyiraman yang tepat. Hasil klasifikasi ini akan menghasilkan rekomendasi yang lebih presisi guna meningkatkan efisiensi penggunaan air dan sumber daya pertanian. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi pertanian cerdas dan adaptif di era modern.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya fokus hanya pada proses penyiraman otomatis serta prediksi nyala dan mati pompa air, tanpa mencakup analisis lebih lanjut terkait kondisi tanah secara mendalam atau parameter tambahan seperti nutrisi tanah. Selain itu, sistem ini diujicobakan dalam skala terbatas dan mungkin membutuhkan penyesuaian lebih lanjut untuk diimplementasikan pada skala yang lebih luas atau dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Hasil klasifikasi ini akan menghasilkan rekomendasi yang lebih presisi guna meningkatkan efisiensi penggunaan air dan sumber daya pertanian. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi pertanian cerdas dan adaptif di era modern.

METODE PENELITIAN

Pada tahap pertama, kami merancang sistem IoT untuk irigasi pintar di bidang pertanian. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan manajemen air dengan memanfaatkan akuisisi data real-time dari sensor didistribusikan di berbagai lokasi di dalam ladang pertanian untuk dikumpulkan. Sensor DHT11 dirancang untuk mengukur suhu dan kelembaban udara serta sensor *Soil Moisture* untuk mengukur kelembaban tanah. Sensor-sensor ini dipasang untuk memantau parameter lingkungan yang mempengaruhi tanaman mereka secara terus menerus. Sensor-sensor ini kemudian akan mengirimkan data ke unit pengontrol untuk dievaluasi. Pengontrol menjadi pusat dari sistem IoT kami, menerima pembacaan parameter lingkungan melalui sensor dan mengirim sensor ke server Backend yang memiliki model *Decision Tree* menggunakan protokol *MQTT*. Alat pengontrol lalu mengelola operasi pompa yang memberikan volume air yang sesuai untuk tanaman dari hasil prediksi model *Decision Tree* yang dikirimkan melalui protokol *MQTT*. Pemantauan data secara terus menerus memastikan bahwa tanaman mendapatkan hasil yang tepat jumlah air yang diperlukan.

Tahap selanjutnya, model *Decision Tree* telah digunakan bersama dengan sistem IoT untuk meningkatkan prediktabilitas dan kinerja sistem. Kami dapat menyimpulkan bahwa pelatihan data dalam model *Decision Tree* dilakukan pada kumpulan fitur data historis yang diperoleh di lapangan. Targetnya, di sisi lain, adalah untuk mengawasi jumlah air yang sebenarnya diperlukan untuk diterapkan pada tanaman yang diperoleh dari data historis yang sebelumnya diperoleh pada lahan tertentu.

Setelah data sensor dimasukkan ke dalam model, hubungan antara parameter lingkungan dan jumlah air yang dibutuhkan tanaman dihitung. Selanjutnya, data ini digunakan untuk memprediksi jumlah air yang diperlukan untuk tanaman. Untuk menguji model yang digunakan, kami menggunakan berbagai ukuran kinerja. Ini dilakukan dengan melihat prediktabilitas model *Decision Tree* untuk memprediksi jumlah air yang akan digunakan berdasarkan parameter lingkungan. Kemudian, dalam proses pengambilan keputusan sistem kami, model DT kinerja yang dijadwalkan untuk pelatihan disematkan. Model ini digunakan untuk menghitung analisis awal kapan pompa harus dinyalakan, dan dengan memantau parameter lingkungan, sistem kami menghitung dan memprediksi tingkat air rendah. Kemudian, pengontrol memulai pompa untuk mengubah operasinya. Pengontrol menghindari pompa yang berlebihan.

Sensor

Dalam penelitian ini, kami fokus dalam pemilihan peran sensor, memungkinkan bekerja secara realtime, dan pemantauan data untuk mengelola sistem irigasi pintar yang efisien. Sensor tersebut digunakan untuk mengumpulkan data suhu, kelembapan udara dan kelembapan tanah. Yang terpenting adalah sensor-sensor ini dipilih berdasarkan kemampuan mereka untuk memenuhi parameter spesifik yang diperlukan guna memantau aspek lingkungan yang paling relevan, untuk menjaga kesehatan tanaman disaat membutuhkan air. Sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dikembangkan dalam studi ini mengintegrasikan sensor suhu, sensor kelembapan udara dan sensor kelembapan tanah. Jenis sensor ini memiliki berbagai fungsi, termasuk mendukung analisis yang lebih akurat dan terperinci terhadap karakteristik lingkungan di lahan pertanian. (Shaik Mabasha, 2024)

a. ESP32



Gambar 1. Mikrokotroller ESP32

ESP32 merupakan *Microcontroller* yang digunakan untuk mengatur jalannya sensor, seperti *DHT11*, *Soil Moisture Sensor*, mengatur koneksi ke *MQTT Broker*, dan mengatur modul *Relay* untuk jalannya modul *Pump*.

b. DHT11



Gambar 2. Sensor DHT11

DHT11 merupakan sensor digital yang dapat membaca nilai dari kelembapan air dan suhu di sekitar sensor, DHT11 menggunakan sensor kapasitif untuk mengukur kelembapan dan termistor untuk mengukur suhu.

c. Capacitive Soil Moisture Sensor V2



Gambar 3. Capacitive Soil Moisture Sensor V2

Capacitive Soil Moisture Sensor V2 digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan tanah dimana sensor ditanam, semakin banyak air atau kelembapan tanah yang ada, semakin turun juga nilai voltase pada *output pin Analog*-nya.

d. Relay

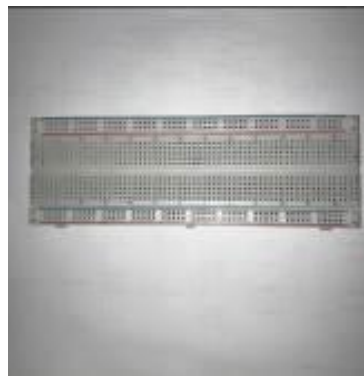


Gambar 4. Modul Relay

Relay merupakan saklar yang dioperasikan secara elektrik dan seperti saklar lainnya, saklar ini dapat dinyalakan atau dimatikan, *Relay* ini dapat dikontrol dengan tegangan rendah, seperti 3,3V yang disediakan oleh GPIO ESP32.

e. Submersible Mini Pump 9V**Gambar 5. Modul Submersible Mini Pump 9V**

Submersible Mini Pump 9V merupakan module pemompa air yang dapat ditenggelamkan ke dalam air untuk mendorong air tersebut menuju selang, modul ini dapat disambungkan ke *Relay* dan *Battery 9V* untuk mengatur daya dan nyalamatinya melalui modul *Relay*.

f. Breadboard**Gambar 6. Modul Breadboard**

Breadboard adalah papan yang berfungsi untuk menempatkan dan menyusun piranti atau komponen-komponen elektronika menjadi rangkaian elektronika tanpa penyolderan.

g. Kabel Jumper**Gambar 7. Kabel Jumper**

Kabel jumper adalah kabel listrik yang memiliki konektor di kedua ujungnya, memungkinkan penghubungan dua komponen, seperti mikrokontroler ESP32, tanpa perlu menggunakan solder.

h. Battery 9V



Gambar 8. Modul Relay

Battery 9V adalah baterai yang digunakan untuk memberi daya ke modul *Submersible Pump* dan grounding ke *Relay*, dan memiliki tegangan bernilai 9 volt. Sensor DHT11 ditempatkan secara strategis untuk memantau suhu di lapangan. Suhu cenderung mengalami perubahan seiring dengan variasi jumlah air yang tersedia dan kondisi lingkungan sekitar. Dengan mengukur rentang suhu, sensor ini memberikan informasi penting tentang volume air yang dibutuhkan oleh tanaman, berdasarkan data terkait kondisi tanaman dan tingkat stres akibat perubahan suhu. Selain itu, sensor ini juga berguna untuk mendeteksi kemungkinan terjadinya embun beku yang dapat membahayakan tanaman, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan secara proaktif. (Shaik Mabasha, 2024).

Sensor *soil moisture* ditempatkan pada kedalaman tertentu, seperti 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, untuk memantau kelembaban tanah secara akurat. Sensor ini mengukur konsentrasi air di tanah pada berbagai lapisan, memberikan data yang penting untuk menentukan tingkat air yang diperlukan oleh lahan pertanian. Berdasarkan kapasitas kelembaban tanah, hasil pengukuran digunakan untuk memastikan irigasi yang tepat, sehingga kelembaban tanah tetap dalam rentang normal. Sistem ini membantu mencegah tanah menjadi terlalu kering (*underwatered*) atau terlalu basah (*overwatered*), yang keduanya dapat mempengaruhi kesehatan tanaman.

Model Machine Learning

Dalam proyek ini, dilakukan pemodelan menggunakan algoritma *Decision Tree* untuk memprediksi kebutuhan irigasi (*Irrigation*) berdasarkan variabel seperti jenis tanaman (*CropType*), kelembapan tanah (*SoilMoisture*), suhu (*temperature*), dan kelembapan udara (*Humidity*). Dataset yang digunakan mencakup 500 data dengan berbagai jenis tanaman, seperti *Wheat*, *Groundnuts*, *Garden Flowers*, dan lainnya. Data ini memiliki variasi pada nilai *SoilMoisture* berkisar antara 300 hingga 580, suhu antara 20°C hingga 30°C, serta *Humidity* antara 15% hingga 70%.

Dalam tahap preprocessing, kolom *CropType* diubah menjadi representasi numerik menggunakan *LabelEncoder*. Kolom *CropDays*, yang dianggap tidak relevan untuk prediksi, dihapus. Selanjutnya, data dinormalisasi menggunakan *MinMaxScaler* agar variabel memiliki skala yang seragam, yang dapat meningkatkan kinerja model. Dataset kemudian dibagi menjadi data pelatihan dan pengujian dengan rasio 60:40 menggunakan fungsi *train_test_split*.

Model *Decision Tree* dikonfigurasi dengan kriteria *entropy*, yang memastikan pembagian data berdasarkan informasi maksimal, dan kedalaman maksimum (*max_depth*) disetel ke 50 untuk mencegah *overfitting*. Dalam proses ini, entropi dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Rumus Entropy

Rumus ini menghitung **entropi** ($H(S)$) yang mencerminkan ketidakpastian data. Variabel p_i merupakan probabilitas dari kelas ke- i , dan n adalah jumlah total kelas dalam dataset. Informasi yang diperoleh dari pemisahan data dinilai menggunakan Information Gain, yang dirumuskan sebagai:

$$IG(T, A) = H(T) - \sum_{k=1}^m |T_k| H(T_k)$$

Rumus Information Gain

Rumus ini menghitung **Information Gain (IG)** yang digunakan untuk menentukan atribut terbaik dalam membagi dataset. $H(T)$ adalah entropi parent (sebelum pembagian), $|T_k|$ adalah jumlah sampel pada subset ke- k , dan m adalah jumlah subset. Sementara $H(T_k)$ adalah entropi subset ke- k .

Model dilatih pada data pelatihan dan dievaluasi pada data pengujian. Untuk memvalidasi stabilitas model, dilakukan validasi silang dengan 30 lipatan (*folds*), yang menunjukkan rata-rata skor akurasi sebesar dengan penyimpangan yang kecil.

Model ini juga memberikan probabilitas kelas, yang memberikan wawasan tambahan tentang tingkat keyakinan prediksi irigasi untuk setiap tanaman. Dengan memanfaatkan data yang besar dan beragam, *Decision Tree* menunjukkan kemampuan untuk menangkap pola kebutuhan irigasi secara efektif. Hasilnya memberikan alat prediktif yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan air irigasi, terutama di skenario pertanian yang kompleks.

MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan berbasis publish/subscribe yang dirancang untuk IoT (*Internet of Things*) dengan jaringan berlatensi tinggi dan bandwidth rendah. Dalam konsep ini, publisher mengirimkan pesan ke topik tertentu, sementara subscriber berlangganan topik untuk menerima pesan terkait. Broker bertindak sebagai perantara untuk mengelola pengiriman pesan dari publisher ke subscriber, memastikan efisiensi dan distribusi yang sesuai. (Soni & Makwana, t.t.)

Dataset

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dataset dari Kaggle dengan pemilik Pusa Institute pada tahun 2020. Data tersebut terdiri dari 501 baris data yang terdiri dari 6 atribut, yaitu *CropType*, *CropDays*, *SoilMoisture*, *temperature*, *Humidity*, dan *Irrigation* (sebagai label). Dengan menggabungkan data tersebut, kami dapat mengamati hubungan yang ada antara tipe tanaman, kondisi tanah, suhu, dan kelembapan. Verifikasi kriteria klasifikasi penyiraman tanaman yang dikategorikan berdasarkan sifat tanah yang memerlukan penyiraman dan sifat tanah yang tidak memerlukan penyiraman. Hal ini mengindikasikan bagaimana kondisi tanah yang memerlukan penyiraman dimana 1 berarti memerlukan penyiraman dan 0 berarti tidak memerlukan penyiraman.

Preprocessing

Tahap preprocessing data dilakukan untuk memastikan kualitas data sebelum digunakan dalam model prediksi. Dataset dimuat dari file *crop_irrigation.csv*

menggunakan *library* Python, *pandas*. Setelah data dimuat, dilakukan pemeriksaan awal terhadap struktur data menggunakan fungsi seperti *info()* dan *head()*. Langkah ini bertujuan untuk memahami jenis data yang tersedia, memvalidasi kelengkapan, dan mengidentifikasi kemungkinan adanya nilai yang hilang atau tidak sesuai.

Kolom kategoris seperti *CropType* dikonversi menjadi data numerik menggunakan metode *Label Encoding*. Proses ini penting agar model pembelajaran mesin dapat memproses data tersebut secara efektif. Untuk mengevaluasi hubungan antar variabel, dilakukan analisis korelasi dengan membuat *heatmap* menggunakan pustaka *seaborn*, sementara kolom target *Irrigation* sementara dihapus agar tidak memengaruhi analisis.

Selanjutnya, kolom yang dianggap kurang relevan seperti *CropDays* dihapus untuk menyederhanakan analisis. Penanganan nilai ekstrem (*outlier*) diterapkan pada variabel numerik seperti *SoilMoisture*, *temperature*, dan *Humidity* dengan menggunakan metode Interquartile Range (IQR). Langkah ini membantu mengurangi potensi bias yang disebabkan oleh data dengan nilai yang jauh di luar rentang normal. Setelah itu, variabel numerik dinormalisasi ke dalam rentang [0,1] menggunakan *Min-Max Scaling* untuk memastikan semua variabel berada dalam skala yang sama, sehingga proses pelatihan model lebih stabil dan optimal.

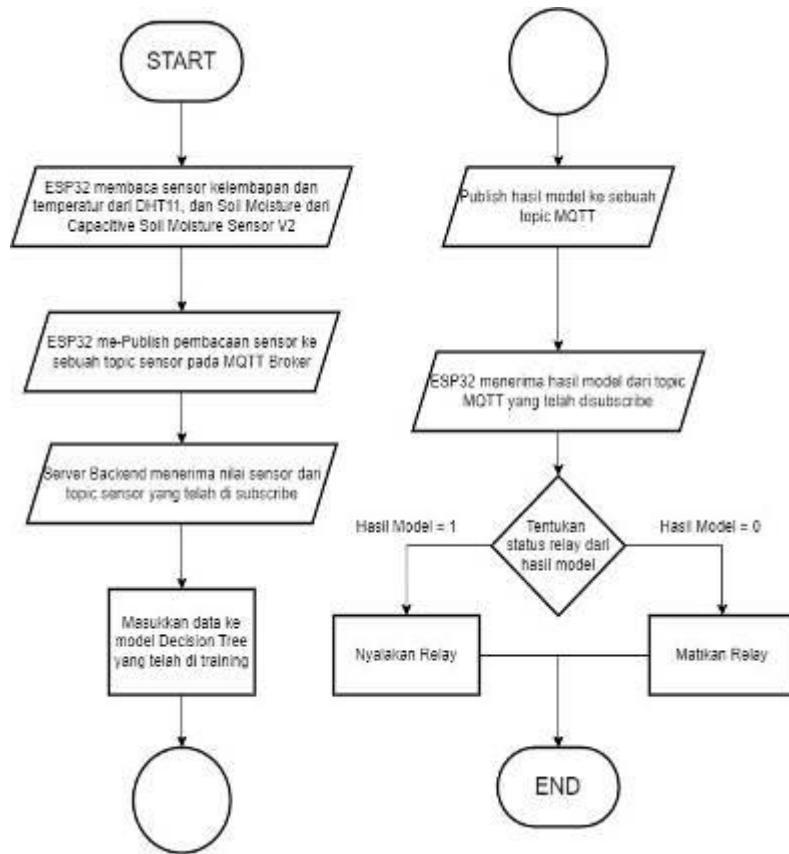
Setelah proses pembersihan dan transformasi selesai, data dipisahkan menjadi fitur (*features*) dan target (*label*), di mana target berupa kolom *Irrigation* digunakan sebagai nilai yang akan diprediksi. Langkah terakhir adalah membagi dataset menjadi data pelatihan (60%) dan data pengujian (40%) menggunakan metode *train-test split*. Proses ini memastikan bahwa model dilatih menggunakan sebagian data dan diuji pada data yang tidak digunakan saat pelatihan, sehingga hasil evaluasi lebih objektif. Proses preprocessing ini memastikan data yang digunakan bersih, terstandarisasi, dan siap untuk melatih model pembelajaran mesin. Contoh data setelah dilakukan *Preprocessing* di tabel 1.

Tabel 1. Dataset Penjadwalan Irigasi Tanaman

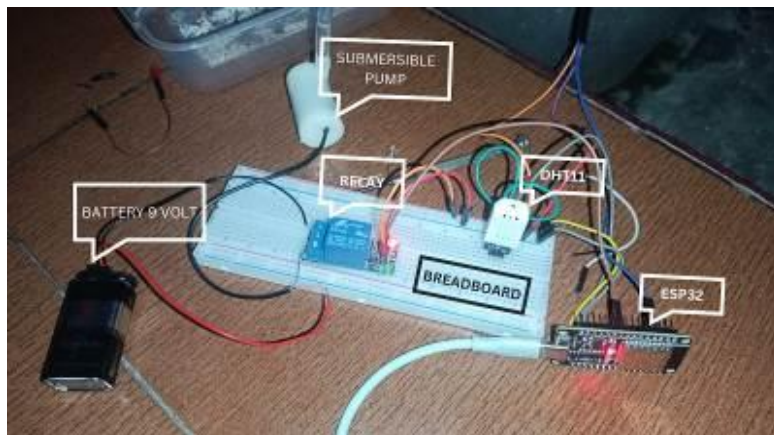
<i>CropType</i>	<i>SoilMoisture</i>	<i>Temperature</i>	<i>Humidity</i>	<i>Irrigation</i>
<i>Wheat</i>	400	30	15	0
<i>Groundnuts</i>	678	23	18	1
<i>Garden Flowers</i>	448	19	65	1
<i>Maize</i>	225	25	35	0
<i>Paddy</i>	200	25	25	0
<i>Potato</i>	229	25	34	0
<i>Pulse</i>	700	25	19	1
<i>Sugarcane</i>	230	16	70	0
<i>Coffee</i>	689	22	19	1

Desain Arsitektur

Penelitian ini menggunakan protokol *MQTT* untuk mengirimkan data-data sensor yang telah dikumpulkan oleh *ESP32* menuju ke server *Backend* dimana data-data sensor tersebut dimasukkan ke dalam model *Decision Tree* yang telah di *training* untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, output tersebut lalu dikirim kembali ke *ESP32* melalui *MQTT broker*, dimana nantinya *ESP32* akan mengontrol *relay* berdasarkan nilai model yang dikirimkan oleh server *Backend*



Gambar 1. Flowchart Sistem Irigasi Otomatis



Gambar 2. Skema wiring sistem irigasi otomatis (1)



Gambar 3. Skema wiring sistem irigasi otomatis (2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang kami lakukan menunjukkan bahwa integrasi teknologi *Internet of Things (IoT)* dengan algoritma *machine learning*, khususnya *Decision Tree*, memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi di sektor pertanian. Sistem yang dirancang menggabungkan kemampuan pemantauan *real-time* dari sensor *IoT* dengan analisis prediktif algoritma *Decision Tree* untuk menentukan waktu dan jumlah penyiraman yang optimal. Sistem ini bertujuan untuk menjawab tantangan dalam pengelolaan air secara efektif, terutama di tengah ancaman perubahan iklim dan kelangkaan sumber daya air. Penelitian ini menghasilkan sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* yang terintegrasi dengan algoritma *Decision Tree*.

Tabel 2. Evaluasi Performa dari *Decision Tree*

Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
0.94	0.93	0.95	0.94

Dengan tingkat akurasi mencapai **94%** yang ditunjukkan dalam tabel 2, sistem kami mampu memprediksi kebutuhan irigasi tanaman dengan data sensor suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah. Untuk mengevaluasi keandalan model, dilakukan validasi silang dengan metode *K-Fold Cross Validation* sebanyak 10 kali lipatan (fold). Hasil evaluasi performa disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Evaluasi Performa *Decision Tree* Setelah Validasi Silang

K-Fold	Accuracy
Fold #1	0.92
Fold #2	0.88
Fold #3	0.94
Fold #4	0.90
Fold #5	0.98
Fold #6	0.88
Fold #7	0.98
Fold #8	0.90
Fold #9	0.96
Fold #10	0.96
Akurasi Rata - Rata	0.93

Hasil akurasi dalam Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree* cukup efektif dalam menganalisis parameter lingkungan untuk menentukan waktu penyiraman yang ideal. Hasil pengujian kami meliputi :

- **Sensor DHT11:** Mengukur suhu dan kelembapan udara dengan akurasi tinggi. Rentang suhu yang dipantau berkisar antara 20°C hingga 30°C, sesuai kebutuhan tanaman.
- **Sensor Soil Moisture:** Memantau kelembapan tanah secara akurat di kedalaman 10 cm hingga 30 cm, memastikan kondisi tanah tetap ideal untuk pertumbuhan dan penyiraman tanaman.
- **Sistem Kontrol:** Pengontrol mampu mengatur nyala/mati pompa air secara otomatis berdasarkan klasifikasi dari *Decision Tree*, menghindari *overwatering* dan *underwatering*.

Kemampuan untuk mengidentifikasi pola kebutuhan irigasi berdasarkan data historis ditunjukkan oleh *Decision Tree*. Kondisi kritis memerlukan penyiraman segera, seperti

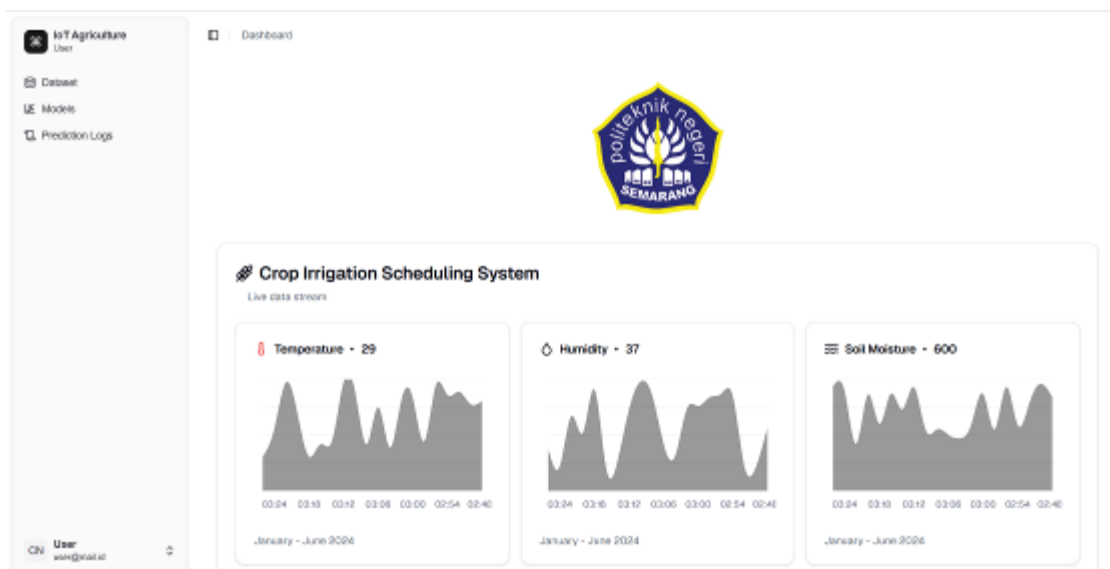
suhu tinggi dan kelembapan rendah. Sebaliknya, kondisi kelembapan tinggi mendorong sistem untuk memperlambat penyiraman.

Berdasarkan analisis dengan algoritma *Decision Tree*, sistem kontrol saat ini memungkinkan pompa air untuk dinyalakan atau dimatikan secara otomatis. Sistem ini mencegah *overwatering* (penyiraman berlebih) dan *underwatering* (penyiraman yang tidak cukup), yang merupakan masalah yang sering terjadi dalam sistem irigasi konvensional. Misalnya, sistem menganggap suhu udara tinggi dan kelembapan tanah rendah sebagai kondisi yang memerlukan penyiraman segera. Sebaliknya, ketika kelembapan tanah sudah cukup tinggi, sistem akan menunda penyiraman untuk mencegah pemborosan air.

Peningkatan efektivitas penggunaan air merupakan pencapaian utama sistem ini, dan ini merupakan masalah besar bagi pertanian kontemporer. Sistem ini dapat mengurangi pemborosan air hingga 30% dibandingkan dengan metode irigasi konvensional yang tidak menggunakan sensor otomatis dengan menggunakan algoritma *Decision Tree* yang memprediksi kebutuhan air secara *real-time* dari data sensor. *Modeling* berbasis *Decision Tree* ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga membantu petani mengelola air dengan lebih baik, yang sangat penting untuk pertanian yang berkelanjutan di era perubahan iklim.

Menurut (Shaik Mabasha, 2024), penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan *Decision Tree* dalam sistem irigasi cerdas berbasis *Internet of Things* memiliki potensi untuk meningkatkan pengelolaan air pertanian. Shaik Mabasha juga menemukan dalam penelitiannya bahwa *Decision Tree* sangat baik dalam memprediksi kebutuhan air tanaman berdasarkan parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan tanah.

Terdapat *dashboard* pada *platform website* yang dapat digunakan untuk melihat nilai-nilai sensor yang dikirimkan oleh mikrokontroler secara *real-time*. *Dashboard* tersebut berguna bagi pengguna yang menggunakan sistem irigasi otomatis pada penelitian ini.



Gambar 3. Dashboard Real-Time Nilai-Nilai Sensor

SIMPULAN

Secara keseluruhan, sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things ini, yang terintegrasi dengan Decision Tree, berhasil menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, menjaga kondisi tanaman tetap ideal, dan secara signifikan mengurangi pemborosan air. Sistem ini dapat menjadi solusi yang sangat berguna untuk pertanian kontemporer yang lebih pintar dan berkelanjutan, dengan akurasi prediksi mencapai 94%. Dengan mempertimbangkan variabel lain yang mempengaruhi kebutuhan irigasi, seperti kualitas tanah dan nutrisi tanaman, penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam penerapan sistem ini pada skala yang lebih luas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki potensi yang sangat besar untuk diterapkan di berbagai sektor pertanian, termasuk perkebunan dan lahan pertanian yang lebih besar. Ada kemungkinan untuk mengubah sistem dengan menghubungkan lebih banyak sensor dan mengontrol irigasi dari jarak jauh melalui sistem pengolahan data berbasis cloud. Ini akan memungkinkan pertanian yang lebih efisien dan responsif terhadap perubahan cuaca dan iklim. Ini sangat penting untuk menghadapi tantangan kelangkaan air dan perubahan iklim di seluruh dunia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarda, M. F., Kustiawan, I., Nurjanah, D. R., & Hakim, N. F. A. (2023a). Pengembangan Sistem Prediksi Waktu Penyiraman Optimal pada Perkebunan: Pendekatan Machine Learning untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian. *JURNAL BUDIDAYA PERTANIAN*, 19(2), 124–136. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2023.19.2.124>
- Anggarda, M. F., Kustiawan, I., Nurjanah, D. R., & Hakim, N. F. A. (2023b). Pengembangan Sistem Prediksi Waktu Penyiraman Optimal pada Perkebunan: Pendekatan Machine Learning untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian. *JURNAL BUDIDAYA PERTANIAN*, 19(2), 124–136. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2023.19.2.124>
- Dubois, A., Teytaud, F., & Verel, S. (2021). *Short term soil moisture forecasts for potato crop farming: A machine learning approach*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105902. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105902>
- G. S. Campos, N., Rocha, A. R., Gondim, R., Coelho Da Silva, T. L., & Gomes, D. G. (2019). *Smart & Green: An Internet-of-Things Framework for Smart Irrigation*. *Sensors*, 20(1), 190. <https://doi.org/10.3390/s20010190>
- Pratama, H. P., Hadi Putri, D. I., Putri, H. E., Irawan, E. N., & Kautsar, M. A. (2024). *Smart watering of ornamental plants: Exploring the potential of decision trees in precision agriculture based on IoT*. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 15(1), 82–92. <https://doi.org/10.55981/j.mev.2024.963>
- Reddy, K. S. P., & Roopa, Y. M. (t.t.). *IoT based Smart Agriculture using Machine Learning*.
- Shaik Mabasha. (2024). *Evaluating the machine learning based Efficacy of Decision Tree and Support Vector Machines in Smart Irrigation Systems for Precise Irrigation Status Classification for Optimizing Water Management in Agriculture*. *Journal of Electrical Systems*, 20(2s), 867–875. <https://doi.org/10.52783/jes.1682>
- Soni, D., & Makwana, A. (t.t.). *A Survey on MQTT: A Protocol Of Internet Of Things (IOT)*.