

Klasifikasi Kelembapan Tanah Berbasis Data Sensor IoT Menggunakan Support Vector Machine (SVM)

KHOTIBUL UMAM, RONY HARIANTO

Tadris IPA, Universitas Islam Negeri Madura, Indonesia
Email: mr.oemam@gmail.com

Received 17 September 2025 | Revised 8 November 2025 | Accepted 21 November 2025

ABSTRAK

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pertanian presisi menawarkan peluang signifikan untuk meningkatkan literasi ilmiah sekaligus efisiensi penggunaan sumber daya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi kebutuhan penyiraman tanaman berbasis data sensor IoT dengan algoritma Support Vector Machine (SVM). Sistem dirancang menggunakan sensor suhu dan kelembapan (DHT11) serta sensor kelembapan tanah yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP8266. Data dikirim secara berkala ke platform digital dan dianalisis menggunakan metode pembelajaran mesin. Evaluasi kinerja dilakukan melalui metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SVM dengan kernel Radial Basis Function (RBF) mampu mencapai akurasi hingga 97%. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi IoT dapat meningkatkan efisiensi pertanian presisi.

Kata kunci: IoT, klasifikasi, Support Vector Machine, machine learning, pertanian presisi

ABSTRACT

The application of Internet of Things (IoT) technology in precision agriculture offers significant opportunities to improve scientific literacy and resource use efficiency. This study aims to develop a system for classifying plant watering needs based on IoT sensor data using the Support Vector Machine (SVM) algorithm. The system is designed using temperature and humidity sensors (DHT11) and soil moisture sensors connected to an ESP8266 microcontroller. Data is sent periodically to a digital platform and analyzed using machine learning methods. Performance evaluation was conducted using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The results showed that SVM with Radial Basis Function (RBF) kernel was able to achieve an accuracy of up to 97%. These findings prove that IoT integration can improve precision agriculture efficiency.

Keywords: IoT, classification, Support Vector Machines, machine learning, precision agriculture

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang semakin ekstrem meningkatkan ketidakpastian dalam ketersediaan air irigasi, sehingga pertanian presisi menjadi kebutuhan mendesak. Sistem irigasi tradisional yang masih mengandalkan pola tetap sering kali tidak efisien karena tidak memperhitungkan variasi kondisi lingkungan secara *real-time*. Akibatnya, terjadi pemborosan air sekaligus penurunan produktivitas tanaman. Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi strategis dengan memungkinkan pemantauan parameter lingkungan tanah secara langsung, akurat, dan berkelanjutan.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi IoT dalam meningkatkan efisiensi irigasi dan produktivitas tanaman. Misalnya, implementasi sistem monitoring berbasis ESP8266 dengan sensor kelembapan tanah terbukti menurunkan penggunaan air hingga 28,6% sekaligus menjaga produktivitas tanaman (**Nurhaliza, 2025**). Studi serupa juga menegaskan efektivitas penggunaan sensor suhu dan kelembapan tanah dalam meningkatkan efisiensi irigasi pada lahan hortikultura (**Dirayati, dkk, 2025**). Selain itu, penelitian Huang menunjukkan bahwa penerapan model prediksi kelembapan tanah berbasis SVM yang dikombinasikan dengan data sensor IoT mampu meningkatkan akurasi prediksi kelembapan tanah di perkebunan teh (**Huang, 2023**). Penelitian lain oleh Sumarudin memperlihatkan bahwa algoritma SVM yang diintegrasikan dengan sistem IoT dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan air irigasi secara presisi dengan akurasi di atas 95% (**Sumarudin, dkk, 2021**). Selanjutnya, sebuah penelitian juga membuktikan bahwa sistem monitoring dan kontrol irigasi berbasis *Blynk IoT* dan *ThingSpeak* mampu meningkatkan presisi penyiraman melalui integrasi sensor DS18B20 dan DHT11 dengan NodeMCU, yang menghasilkan data suhu dan kelembapan berakurasi tinggi serta dapat diandalkan dalam skala lapangan (**Saputri, dkk, 025**).

Meskipun beberapa penelitian terdahulu telah memanfaatkan algoritma SVM dalam konteks prediksi kelembapan tanah, sebagian besar masih menggunakan data tunggal (*single-sensor*) atau fokus pada simulasi laboratorium. Belum banyak studi yang mengintegrasikan data multi-sensor IoT secara simultan untuk membangun model klasifikasi kelembapan tanah yang dapat diimplementasikan langsung pada sistem irigasi otomatis. Cela penelitian inilah yang menjadi fokus utama dalam studi ini. Misalnya, sistem *smart farming* berbasis NodeMCU/ESP8266 yang menggabungkan sensor pH dan kelembapan tanah hanya digunakan untuk menyediakan data lingkungan secara *real-time* tanpa model klasifikasi kelembapan tanah (**Ula, dkk, 2025**). Studi lain yang mengintegrasikan sensor suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya melalui *ThingSpeak* dan ESP8266 juga masih terbatas pada otomatisasi penyiraman sederhana (**Speak, 2024**). Penelitian terbaru bahkan banyak yang hanya menggunakan satu sensor (*single-sensor*) atau fokus pada parameter tunggal, sehingga belum optimal dalam menangkap kompleksitas kondisi lahan yang dipengaruhi banyak faktor (**Setiawan, dkk, 2023**).

Dalam konteks klasifikasi kelembapan tanah, algoritma SVM memiliki keunggulan dalam menangani pola *non-linier* yang sering muncul pada data sensor. Aplikasi SVM pada sistem irigasi presisi berbasis IoT telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam memprediksi debit air dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya (**Aldila Cinderatama, dkk, 2025**). Pengelolaan data lingkungan sangat krusial untuk mendukung keputusan irigasi. Algoritma SVM adalah metode penambangan data yang efektif dalam mengatasi variabel multivariat serta pola non-linier dengan margin klasifikasi yang maksimal. Dalam konteks pertanian, SVM telah berhasil diaplikasikan untuk memprediksi debit irigasi berdasarkan data sensor, meningkatkan akurasi klasifikasi secara sistematis.

Sistem cerdas berbasis IoT dan *machine learning* telah banyak diaplikasikan dalam berbagai studi untuk memantau kondisi pertanian dan menjamin manajemen sumber daya secara presisi. Misalnya, sistem *smart farming* yang menggunakan NodeMCU/ESP2682, sensor pH, dan sensor kelembapan tanah telah terbukti efektif dalam menyediakan data lingkungan secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data langsung oleh petani (**Ula, dkk, 2025**). Studi lain mengembangkan sistem pemantauan serupa yang menggabungkan sensor suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan kelembapan tanah menggunakan ESP8266, serta menyediakan otomatisasi irigasi melalui aplikasi *ThingSpeak* dan ESP8266 (**Speak, 2024**). Dalam konteks pembelajaran mesin, penerapan *Support Vector Machine* (SVM) pada sistem semacam ini terbukti meningkatkan ketepatan prediksi dan keandalan model dalam kondisi aktual lapangan, seperti dalam penelitian yang mengusulkan penggunaan *Support Vector Machine* (SVM) untuk prediksi debit irigasi berbasis data IoT (**Aldila Cinderatama, dkk, 2025**). Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) bagaimana cara mengintegrasikan data *multi-sensor* IoT untuk menjadi input model klasifikasi kelembapan tanah, dan (2) sejauh mana optimasi algoritma SVM dengan *kernel* RBF mampu meningkatkan akurasi klasifikasi kelembapan tanah ke dalam tiga kategori yaitu kering, normal, dan sangat basah.

Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut dengan memanfaatkan data multi-sensor dari perangkat IoT yang dianalisis menggunakan algoritma SVM, sehingga menghasilkan klasifikasi kelembapan yang dapat ditransformasikan menjadi rekomendasi irigasi otomatis. Pendekatan serupa sebelumnya telah diterapkan dengan metode logika *fuzzy*, namun model ML seperti SVM menawarkan akurasi dan generalisasi yang lebih tinggi (**Septiadi, dkk, 2025**) (**Diva Putra Romadan, dkk, 2025**), serta memberikan dukungan prediktif yang lebih tegas dan berbasis margin klasifikasi yang optimal. Penggabungan IoT, klasifikasi berbasis SVM, dan data multi-sensor memiliki potensi besar dalam menciptakan sistem pengelolaan irigasi yang lebih cerdas dan efisien. Penelitian ini bertujuan membangun model klasifikasi untuk memetakan kondisi kelembapan tanah kering, normal, sangat basah sehingga memudahkan petani dalam pengambilan keputusan penyiraman berbasis data, mengurangi pemborosan air, sekaligus meningkatkan hasil pertanian secara signifikan. Dengan keunggulan SVM dalam menangani kompleksitas data non-linier dan margin klasifikasi yang kuat, diharapkan model ini mampu menjadi acuan sistem pertanian presisi di berbagai kondisi dan lingkungan lokal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

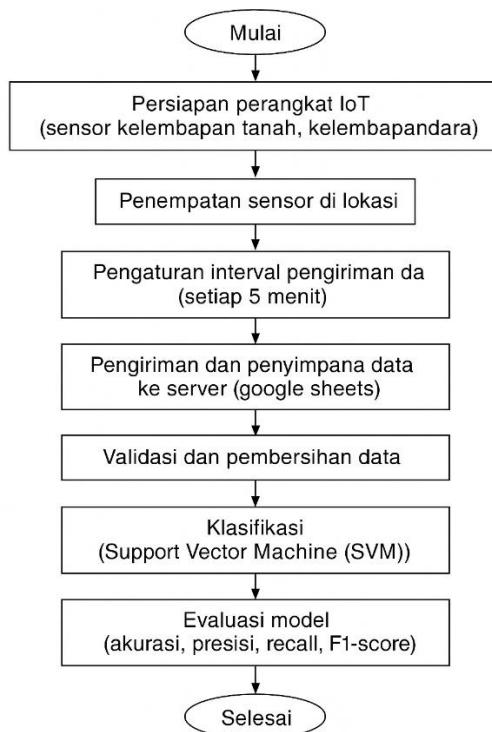
Penelitian ini menggunakan desain eksperimen lapangan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter lingkungan secara *real-time*. Perangkat penelitian meliputi sensor suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan tanah yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP8266. Seluruh sensor diprogram untuk mengirimkan data ke *server cloud* (*Google Sheet*) setiap lima menit selama tujuh hari pengamatan. Penelitian dilaksanakan di lahan hortikultura Kabupaten Pamekasan dengan mempertimbangkan ketersediaan listrik dan jaringan internet yang memadai. Sensor ditempatkan sesuai standar pengukuran: sensor suhu dan kelembapan udara pada ketinggian 1-meter dari permukaan tanah, sedangkan sensor kelembapan tanah dipasang pada kedalaman 10 cm.

Data hasil pengukuran disimpan dalam format CSV, kemudian dianalisis menggunakan algoritma SVM dengan *kernel Radial Basis Function* (RBF) untuk mengklasifikasikan kelembapan tanah ke dalam tiga kategori: kering, normal, dan sangat basah.

Tahapan optimasi model dilakukan melalui pencarian nilai optimal *hyperparameter* dengan pendekatan *Grid Search* menggunakan rentang parameter:

$$\begin{aligned} C &= [0.1, 1, 10, 100] \\ \text{gamma} &= [0.001, 0.01, 0.1, 1] \\ \text{kernel} &= 'rbf' \end{aligned}$$

Rasio data dibagi menjadi 80% untuk pelatihan (*training*) dan 20% untuk pengujian (*testing*). Proses validasi model dilakukan dengan metode *k-fold cross-validation* (*k*=5) untuk meminimalkan risiko *overfitting* karena jumlah dataset yang relatif terbatas. Validasi silang ini memastikan performa model stabil di berbagai subset data. Evaluasi hasil klasifikasi dilakukan dengan membandingkan prediksi model SVM terhadap hasil pengukuran manual menggunakan *soil tester* sebagai kontrol. Pendekatan ini menjamin reliabilitas hasil sekaligus menguji efektivitas SVM dalam mendukung sistem pengambilan keputusan penyiraman berbasis IoT.



Gambar 1. Flowchart Alur Desain Penelitian

Gambar 1 menampilkan alur penelitian secara sistematis, mulai dari persiapan perangkat *IoT*, pengumpulan data lapangan, pengolahan data, pelatihan dan validasi model SVM, hingga evaluasi hasil menggunakan metrik akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* untuk menilai performa model secara komprehensif.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen lapangan berbasis *Internet of Things* (IoT) selama tujuh hari berturut-turut dengan pencatatan lima menit. Perangkat penelitian terdiri sensor suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan tanah yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Sensor diprogram untuk mengirimkan data otomatis ke *server cloud* (*Google Sheet*).

Lokasi penelitian dipilih di lahan hortikultura Kabupaten Pamekasan karena ketersediaan infrastruktur listrik dan internet yang memadai. Desain eksperimen ini memberikan keuntungan berupa ketersediaan data kontinu tanpa intervensi manual, sehingga risiko kehilangan data akibat kesalahan manusia dapat diminimalkan dan reliabilitas hasil lebih terjamin.

Penggunaan NodeMCU ESP8266 dan sensor kelembapan serta suhu menunjukkan bahwa sistem monitoring *real-time* dapat mengurangi kebutuhan intervensi manual dan meningkatkan efisiensi irigasi. menerapkan sistem serupa dengan pengiriman data secara berkala dan visualisasi melalui WebGIS, membuktikan bahwa data yang dikumpulkan secara otomatis dapat dipantau sekaligus diinterpretasikan dengan baik (**M, dkk, 2025**).



Gambar 2. Sensor IoT dengan Tampilan LCD

Pada Gambar 2 perangkat dirakit pada breadboard dengan mengintegrasikan modul LCD 16x2 dan rangkaian kabel jumper yang berfungsi menghubungkan sensor dengan mikrokontroler ESP8266. Konfigurasi ini beroperasi sebagai unit monitoring lapangan yang mendukung akuisisi data lingkungan secara otomatis dan berkelanjutan.

Tahapan eksperimen dilakukan dengan menempatkan sensor sesuai standar pengukuran: sensor suhu dan kelembapan udara pada ketinggian 1 meter di atas permukaan tanah, sedangkan sensor kelembapan tanah dipasang pada kedalaman 10 cm. Data hasil pengukuran disimpan dalam format CSV untuk kemudian dianalisis menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF). Algoritma ini digunakan untuk mengklasifikasikan kelembapan tanah ke dalam tiga kategori utama: kering, normal, dan sangat basah. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi model SVM terhadap pengukuran manual menggunakan *soil tester* sebagai data kontrol. Pendekatan ini tidak hanya menjamin kualitas data, tetapi juga menguji efektivitas SVM sebagai metode pembelajaran mesin dalam mendukung pengambilan keputusan penyiraman pada praktik pertanian berbasis IoT.

2.3 Pengolahan Data

Proses *preprocessing* diawali dengan pemeriksaan struktur dataset hasil akuisisi sensor IoT untuk memastikan konsistensi format dan kelengkapan atribut (waktu, suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan tanah). Pemeriksaan dilakukan menggunakan fungsi deskriptif Python, seperti *describe()* dan *info()*, untuk mendeteksi nilai hilang (*missing values*) maupun anomali data. Nilai hilang diatasi dengan interpolasi linier karena dataset bersifat kontinu dengan interval waktu tetap, sehingga estimasi nilai baru dianggap representatif. Deteksi *outlier* dilakukan dengan metode *Interquartile Range* (IQR) untuk

setiap variabel. Nilai di luar rentang ($Q1 - 1,5 \times IQR$) hingga ($Q3 + 1,5 \times IQR$) dikategorikan sebagai *outlier*. Data yang teridentifikasi dianalisis lebih lanjut: jika penyimpangan disebabkan gangguan teknis sensor, data dihapus, sedangkan *outlier* yang relevan secara ilmiah, seperti akibat cuaca ekstrem, tetap dipertahankan.

Setelah data dinyatakan bersih, langkah berikutnya adalah standarisasi format tanggal dan waktu untuk menjaga konsistensi serta memudahkan analisis temporal. Atribut numerik juga diperiksa agar sesuai dengan satuan standar: suhu dalam °C, kelembapan udara dalam persen (%), dan kelembapan tanah dalam persen volume (%). Selanjutnya, data dinormalisasi menggunakan metode StandardScaler agar seluruh variabel berada pada skala yang sebanding. Langkah ini penting karena SVM sangat sensitif terhadap perbedaan skala antar fitur, dan standarisasi dapat meningkatkan stabilitas pembentukan *hyperplane*. Dataset yang telah diproses kemudian disimpan dalam berkas dataset_sensor_oke.csv sebagai basis klasifikasi. Dengan tahapan *preprocessing* ini, kualitas data terjaga sekaligus memberikan dasar yang kuat bagi pembangunan model SVM sehingga hasil klasifikasi kelembapan tanah lebih akurat dan andal.

2.4 Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) merupakan algoritma *supervised learning* yang digunakan untuk memisahkan data ke dalam kelas melalui *hyperplane* optimal, yaitu bidang batas dengan margin terbesar antar kelas. SVM unggul dalam menghasilkan generalisasi kuat meskipun data berdimensi tinggi atau kompleks. Dalam praktiknya, SVM sering dipadukan dengan fungsi kernel seperti *Linear*, *Polynomial*, atau *Radial Basis Function* (RBF) untuk mengatasi data non-linear, termasuk pada bidang pertanian dan lingkungan. Penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitas SVM dalam klasifikasi lahan dan air tanah berbasis data penginderaan jauh, yang menegaskan relevansi algoritma ini pada sistem presisi berbasis sensor (**Angellina, dkk, 2023**).

Dalam konteks pertanian presisi dan irigasi cerdas yang memanfaatkan IoT, SVM telah diterapkan pada sistem *monitoring* debit air berbasis sensor dan mikrokontroler. Pada sebuah penelitian berhasil menggabungkan teknologi IoT dengan SVM untuk memprediksi debit air irigasi secara real-time menggunakan sensor *flowmeter*, sensor ultrasonik, dan sensor suhu, yang terkoneksi melalui aplikasi Android (**Aldila Cinderatama, dkk, 2025**). Model klasifikasi SVM terbukti mampu menghasilkan estimasi debit air yang akurat dan dapat diandalkan dalam membantu manajemen sumber daya air.

Penerapan SVM juga terbukti efektif dalam klasifikasi masa panen varietas unggul kedelai. Algoritma ini digunakan sebagai metode utama untuk menentukan waktu panen berbagai varietas kedelai (**Gultom, dkk, 2021**). SVM mampu bekerja optimal meskipun dataset relatif terbatas, dengan keunggulan pada presisi dan kemampuan generalisasi yang tinggi tanpa memerlukan penambahan data signifikan. Temuan ini menegaskan relevansi SVM dalam penelitian pertanian, khususnya pada analisis data IoT yang bersifat non-linear dan berskala menengah.

2.5 Evaluasi Model

Model *Support Vector Machine* (SVM) digunakan sebagai algoritma utama untuk mengklasifikasikan kelembapan tanah ke dalam tiga kategori: kering, normal, dan sangat basah. Pemilihan SVM didasarkan pada kemampuannya menangani data berdimensi tinggi dengan kompleksitas non-linear serta efektivitasnya dalam menghasilkan batas keputusan optimal melalui kernel yang sesuai. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan metrik standar akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* yang memberikan gambaran komprehensif mengenai

ketepatan klasifikasi. Selain itu, confusion matrix digunakan untuk memvisualisasikan hasil prediksi sekaligus mengidentifikasi pola kesalahan (**Frenica, dkk, 2023**).

Pendekatan evaluasi ini selaras dengan praktik terbaik dalam studi klasifikasi data lingkungan dan pertanian, di mana penggunaan berbagai metrik penting untuk menilai performa model secara menyeluruh. Keunggulan SVM dalam menghadapi data yang tidak sempurna, seperti *missing values* dan *outlier*, juga menjadi pertimbangan utama. Algoritma ini mampu mempertahankan stabilitas dan akurasi klasifikasi melalui mekanisme margin maksimal dan regularisasi. Dengan demikian, penggunaan SVM diharapkan menghasilkan klasifikasi kelembapan tanah yang akurat dan andal, sekaligus memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan model prediksi berbasis data lapangan yang kompleks.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Dataset

Dataset penelitian diperoleh dari hasil pengukuran sensor IoT pada lahan pertanian tembakau selama tujuh hari dengan interval pencatatan lima menit, menghasilkan 1.213 entri data. Dataset ini terdiri atas empat atribut utama: *timestamp* (waktu pengambilan data), suhu udara (°C), kelembaban udara (%), dan kelembaban tanah (%).

Proses pelabelan dilakukan berdasarkan threshold agronomi, yaitu kelembapan tanah diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: kering (<30%), normal (30–60%), dan basah (>60%). Sebelum digunakan dalam pemodelan, data melewati tahap *preprocessing* yang mencakup penanganan *missing values*, deteksi dan penyesuaian *outlier*, serta normalisasi format dan skala data agar siap digunakan dalam klasifikasi menggunakan algoritma SVM.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Dataset Sensor IoT

Variabel	Mean	Minimum	Maksimum	Standar Deviasi
Suhu udara (°C)	26.8	23.5	31.2	1.9
Kelembaban udara (%)	58.4	42.1	72.5	6.8
Kelembaban tanah (%)	46.2	21.0	79.0	9.3

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi lingkungan penelitian bersifat cukup dinamis, dengan variasi kelembaban tanah yang lebar (21–79%), yang memungkinkan model SVM menangkap hubungan kompleks antar variabel lingkungan.

Tabel 3. Cuplikan Dataset Hasil Pengumpulan Data Dari IoT

Timestamp	Suhu_Udara °C	Kelembaban_Udara %	Kelembaban_Tanah %
8/2/2025 5:00	30.2	48.3	23
8/2/2025 5:05	25.0	49.4	38
8/2/2025 5:10	25.5	66.4	21
8/2/2025 5:15	27.1	65.8	26
8/2/2025 5:20	25.0	58.8	34
...
...
...
8/6/2025 9:55	26.8	61.9	79

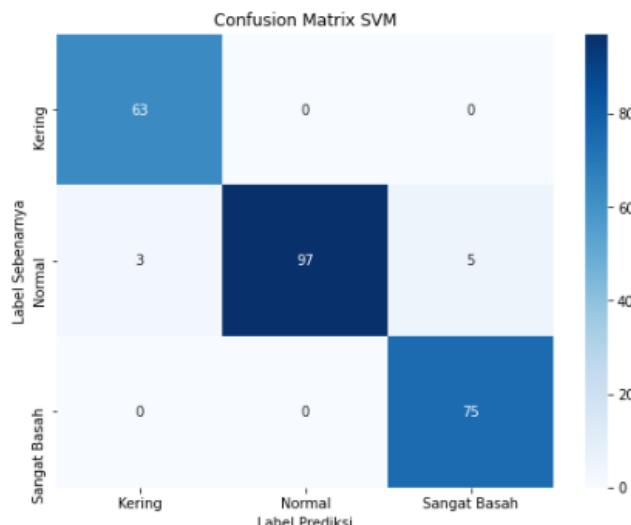
3.2 Hasil Eksperimen

Data dikumpulkan selama tujuh hari di lahan pertanian tembakau menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis IoT dengan interval pencatatan lima menit. Data kemudian diproses melalui tahap *preprocessing* yang meliputi penanganan *missing values* serta deteksi dan koreksi *outlier*. Setelah pembersihan, diperoleh 1.213 entri data yang siap digunakan untuk pelatihan dan pengujian model klasifikasi kelembapan tanah berbasis algoritma *Support Vector Machine* (SVM).

Tabel 2. Hasil Evaluasi Model SVM

Metrik	Nilai (%)
Akurasi	97.0
Precision	95.2
Recall	94.8
F1-Score	95.0

Berdasarkan Tabel 2, akurasi model mencapai 97%, yang menunjukkan performa tinggi dalam mengklasifikasikan kelembapan tanah. Nilai presisi dan recall yang hampir serupa mengindikasikan bahwa model menghasilkan prediksi konsisten tanpa bias terhadap salah satu kelas.



Gambar 2. Confusion Matrix Model SVM

Berdasarkan *Confusion matrix* pada Gambar 2 menunjukkan performa model menunjukkan akurasi tinggi pada kelas Kering (63 data benar dari total 63) dan Basah (75 data benar dari total 75). Namun, performa pada kelas Normal relatif lebih rendah dengan beberapa kesalahan klasifikasi, yakni tiga data dikategorikan sebagai Kering dan lima data dikategorikan sebagai Basah. Kesalahan tersebut diduga disebabkan oleh tumpang tindih nilai kelembapan pada batas kategori (sekitar 30% dan 60%) yang menyebabkan *margin decision boundary* tidak sepenuhnya tegas. Hal ini menunjukkan bahwa model SVM cenderung lebih sensitif terhadap kelas ekstrem (Kering dan Basah), sementara kelas Normal memiliki ambiguitas yang lebih tinggi.

Walaupun demikian, secara keseluruhan menunjukkan performa klasifikasi yang andal, terutama untuk mendeteksi kondisi ekstrem yang krusial dalam sistem irigasi otomatis.

Keandalan model dalam mengenali kondisi ekstrem menjadikannya potensial untuk diimplementasikan pada sistem irigasi otomatis berbasis IoT, di mana keputusan penyiraman bergantung pada deteksi kelembapan tanah secara tepat. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang membuktikan efektivitas SVM dalam memprediksi debit air irigasi berbasis sensor IoT secara real-time (**Aldila Cinderatama, dkk, 2025**), klasifikasi masa panen kedelai dengan akurasi tinggi meskipun data terbatas (**Gultom, dkk, 2021**), serta klasifikasi lahan dan air tanah berbasis penginderaan jauh (**Angellina, dkk, 2023**).

3.3 Implikasi pada Pertanian

Penerapan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) berbasis data *Internet of Things* (IoT) dalam klasifikasi kelembapan tanah menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi pertanian presisi. Informasi kelembapan tanah yang diperoleh secara akurat dan real-time memungkinkan penjadwalan irigasi yang lebih tepat sasaran, sehingga penggunaan air dapat dioptimalkan sesuai kebutuhan spesifik tanaman pada setiap zona lahan. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi pemborosan air, tetapi juga menjaga kelembapan optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman secara efektif. Integrasi IoT dengan SVM juga mempercepat pengambilan keputusan berbasis data, yang berdampak pada peningkatan produktivitas lahan sekaligus penurunan biaya operasional. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan efektivitas sistem irigasi otomatis berbasis IoT dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air di *greenhouse* (**Wahyudi, dkk, 2025**).

Lebih lanjut, integrasi SVM dalam sistem *monitoring* kelembapan tanah mendukung otomatisasi manajemen lahan berkelanjutan. Dengan kemampuannya beradaptasi terhadap variasi data lapangan, SVM mampu menghasilkan prediksi kelembapan yang konsisten meskipun terjadi perubahan cuaca maupun perbedaan karakteristik tanah antar wilayah. Prediksi tersebut dapat dikaitkan langsung dengan sistem irigasi otomatis, sehingga penyiraman dilakukan secara tepat waktu dan proporsional. Prinsip ini sesuai dengan kebutuhan pertanian presisi, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Nurhaliza (**Nurhaliza, 2025**), di mana prototipe sistem irigasi otomatis berbasis IoT berhasil menurunkan penggunaan air harian sebesar 28,6% dengan tetap menjaga kelembapan tanah pada rentang ideal 60–80%. Dengan demikian, pengadopsian teknologi SVM-IoT berkontribusi pada efisiensi penggunaan input pertanian, mitigasi dampak lingkungan, serta peningkatan kualitas hasil panen. Dengan demikian, hasil penelitian ini juga menegaskan perlunya peningkatan stabilitas perangkat keras dan ketepatan batas klasifikasi kelembapan agar model dapat diimplementasikan pada kondisi lapangan yang lebih kompleks dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF) untuk mengklasifikasi kelembapan tanah berbasis *multi-sensor* IoT. Model yang dikembangkan mencapai akurasi 97,0%, presisi 95,2%, recall 94,8%, dan F1-score 95,0%, yang menunjukkan konsistensi performa dan keseimbangan antara kemampuan deteksi serta minimisasi kesalahan prediksi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi data multisensor (suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan tanah) sebagai input model SVM yang dioptimasi melalui hyperparameter tuning, serta metode pelabelan berbasis threshold agronomi. Pendekatan ini mampu menghasilkan klasifikasi kelembapan tanah yang lebih akurat dibandingkan penelitian terdahulu yang hanya berfokus pada pemantauan sederhana atau sensor tunggal.

Secara keseluruhan, pendekatan IoT–SVM yang diusulkan berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi pemborosan sumber daya, serta memperkuat praktik pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim. Ke depan, penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas jumlah sensor, menggunakan *printed circuit board* (PCB) yang lebih tahan lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- Aldila Cinderatama, T., Zulmy Alhamri, R., Yunhasnawa, Y., Sofian Efendi, F., & Ariyanto, R. (2025). JIP (Jurnal Informatika Polinema) Halaman| Sistem Monitoring Irigasi Dan Prediksi Debit Air Berbasis Iot Dan Support Vector Machine(SVM). *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, 11(2), 171–183.
- Angellina, A., Herwindati, D. E., & Hendryli, J. (2023). Performa Support Vector Machine Pada Klasifikasi Lahan dan Air Tanah. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 7(1), 231. <https://doi.org/10.30865/mib.v7i1.5279>
- Diva Putra Romadan et al. (2025). Prototype of Soil Moisture Monitoring System for Chili Plants Based on Internet of Things Using Fuzzy Logic Method with NodeMCU ESP8266 , Blynk , and ThingSpeak Prototipe Sistem Monitoring Kelembapan Tanah pada Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things de. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(January), 130–140.
- Frenica, A., Lindawati, L., Lindawati, L., Soim, S., & Soim, S. (2023). Implementasi Algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk Deteksi Banjir. *INOVTEK Polbeng - Seri Informatika*, 8(2), 291. <https://doi.org/10.35314/isi.v8i2.3443>
- Gultom, A. S., Furqon, M. T., & Sutrisno, S. (2021). Klasifikasi Masa Panen Varietas Unggul Kedelai menggunakan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan ...*, 5(12), 5272–5277.
- Huang, Y. (2023). Improved SVM-Based Soil-Moisture-Content Prediction Model for Tea Plantation. *Plants*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/plants12122309>
- M, D., S, G., & R, V. (2025). Climate Change, Land Degradation and Sustainability: Insight towards Innovative Solutions from Indian Perspective. *Current Research on Geography, Earth Science and Environment* Vol. 1, August, 105–120. <https://doi.org/10.9734/bpi/crgese/v1/5649>
- Nurhaliza. (2025). Perancangan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Iot Untuk Optimalisasi Penggunaan Air Pada Lahan Pertanian Kering. *Jurnal Teknik Indonesia*, 3(April), 129–137.
- Saputri, F. R., Linelson, R., Salehuddin, M., Nor, D. M., & Ahmad, M. I. (2025). Erratum:

Correction: Design and development of an irrigation monitoring and control system based on blynk internet of things and thingspeak (PloS one (2025) 20(4) DOI: 10.1371/journal.pone.0321250.). *PloS One*, 20(6), e0326137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326137>

Septiadi, A. D., Sulistya, Y. I., Istighosah, M., Septiara, M., Rakhmadani, D. P., & Rumestri, A. D. S. (2025). Implementasi IoT Untuk Monitoring Pertumbuhan Tanaman Cabai Dengan Sistem Penyiraman Otomatis Di Desa Kembaran Wetan. *KREATIF: Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 5(2), 455–468. <https://doi.org/10.55606/kreatif.v5i2.6901>

Setiawan, I., Fina Antika Cahyani, R., & Sadida, I. (2023). Exploring Complex Decision Trees: Unveiling Data Patterns and Optimal Predictive Power. *Journal of Innovation And Future Technology (IFTECH)*, 5(2), 112–123. <https://doi.org/10.47080/iftech.v5i2.2829>

Speak, T. (2024). *Iot-Based Smart Monitoring Systems for Agricultural Efficiency*. 21(2), 855–860. <https://doi.org/10.48047/NQ.2023.21.2.NQ23085>

Sumarudin, A., Ismantohadi, E., Puspaningrum, A., Maulana, S., & Nadi, M. (2021). Implementation irrigation system using Support Vector Machine for precision agriculture based on IoT. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(3), 032098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/3/032098>

Ula, M., Ezwarsyah, E., Saptari, M. A., Bakhtiar, B., & Multazam, T. (2025). System monitoring Soil PH moisture based IoT. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 5(1), 169–174. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v5i1.5974>

Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(2), 435–446. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.656>