

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sektor pertanian di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) secara konsisten menghadapi ancaman serius yang dimotori oleh anomali iklim dan degradasi lingkungan. Permasalahan ini bukan lagi sekedar prediksi, melainkan realitas yang tercermin dari data kerugian di lapangan. Pada akhir tahun 2024, dampak fenomena El Niño menyebabkan kekeringan ekstrem, yang berujung pada 412 hektare lahan pertanian mengalami gagal panen (puso), dengan Kabupaten Gunungkidul dan Bantul menjadi wilayah paling terdampak [1].

Tantangan tidak hanya datang dari kekeringan. Pada akhir tahun 2024, dinamika iklim yang tidak menentu beralih menyebabkan ribuan hektare sawah di Kabupaten Bantul terendam banjir, memaksa petani menanggung kerugian akibat tanaman padi yang membusuk [2]. Di sisi lain, cuaca yang tidak stabil juga memicu ledakan populasi organisme pengganggu tanaman (OPT). Laporan dari Kabupaten Bantul pada Maret 2024 menunjukkan adanya serangan hama Wereng Batang Coklat (WBC), yang berpotensi mengancam ratusan hektare tanaman padi di wilayah tersebut [3]. Secara akademis, studi ilmiah mengkonfirmasi bahwa variabilitas iklim ini berdampak langsung pada pergeseran kalender tanam dan penurunan produktivitas pangan utama di Jawa [4]. Tingginya tingkat kerentanan petani, terutama karena ketergantungan pada alam dan akses terbatas terhadap teknologi prakiraan dan mitigasi yang akurat, juga telah dikonfirmasi oleh berbagai penelitian [5].

Menghadapi kompleksitas masalah ini—mulai dari kekeringan, banjir, hingga serangan hama—sistem pendukung keputusan yang ada seringkali terbukti tidak memadai. Banyak platform rekomendasi yang ada hanya berfokus pada satu aspek, seperti data cuaca makro, namun mengabaikan kondisi mikro lahan yang krusial seperti jenis dan kesehatan tanah. Misalnya, sistem SI-KATAM (Sistem Informasi Kalender Tanam) yang dikembangkan oleh Kementerian Pertanian Indonesia lebih berfokus pada kalender tanam berbasis iklim regional dan belum mengintegrasikan kondisi spesifik lahan di tingkat desa atau petani [6]. Bahkan sistem global seperti *DSSAT* yang sudah sangat canggih pun memerlukan input teknis yang detail dan pelatihan khusus, sehingga belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan oleh petani kecil tanpa dukungan teknologi

tambahan [7]. Keterbatasan inilah yang dijawab oleh penelitian ini melalui pengembangan sebuah sistem berbasis web dengan pendekatan multi-analisis modular menggunakan data prakiraan iklim, tekstur tanah visual, dan parameter ilmiah tanah, lalu melakukan sintesis untuk menghasilkan rekomendasi yang holistik.

Inti dari sistem yang dikembangkan penulis adalah dua model kecerdasan buatan yang telah terbukti unggul di bidangnya. Pertama, untuk mengatasi variabilitas kondisi tanah, sistem ini menerapkan klasifikasi citra tanah secara *real-time* menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Model CNN dengan arsitektur *EfficientNetB0* dipilih karena kemampuannya yang tinggi dalam mengekstraksi fitur visual kompleks seperti tekstur dan warna dari gambar yang diunggah pengguna, sebuah pendekatan yang telah divalidasi efektif oleh penelitian sebelumnya dalam identifikasi tanah [8, 9].

Kedua, untuk memberikan rekomendasi tanaman yang presisi, sistem ini memanfaatkan algoritma Random Forest. Model ini dipilih setelah melalui eksperimen perbandingan dan terbukti menjadi yang terbaik dengan akurasi rata-rata diatas 80 persen. Keunggulan Random Forest dalam menangani data agrikultur yang kompleks dan non-linear juga telah banyak dilaporkan dalam berbagai studi, menjadikannya pilihan yang lebih superior dibandingkan algoritma lain untuk kasus seperti ini [10, 11].

Dengan mengintegrasikan kedua model AI (*Artificial Intelligence*) ini serta menggabungkannya dengan data eksternal dari berbagai sumber otoritatif—seperti BMKG untuk data cuaca, SoilGrids untuk parameter ilmiah tanah, dan Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk validasi fungsi lahan—penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem pendukung keputusan yang jauh lebih akurat dan relevan. Sistem ini tidak hanya memberikan rekomendasi berdasarkan prediksi, tetapi juga memvalidasinya dengan kondisi faktual di lapangan. Selain itu, sistem juga dilengkapi fitur pemantauan kesehatan vegetasi secara visual melalui data NDVI dari Situs Insight Planet, sehingga menjadi solusi komprehensif bagi petani di Yogyakarta untuk mengoptimalkan hasil pertanian dan mengurangi risiko kerugian yang terus berulang setiap tahunnya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah penting sebagai berikut :

1. Belum tersedianya sistem rekomendasi tanaman yang mampu mengintegrasikan data prediksi cuaca, citra tanah, dan parameter ilmiah secara modular dan kontekstual.

2. Belum diimplementasikan serta dievaluasi kinerja model kecerdasan buatan, seperti Random Forest dan CNN, dalam sistem pendukung keputusan pertanian yang terintegrasi.
3. Validasi spasial dan pratikal terhadap sistem pendukung keputusan pertanian yang dikembangkan masih belum dilakukan secara menyeluruh di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.

Belum adanya sistem rekomendasi tanaman yang mengintegrasikan prediksi cuaca, citra tanah, dan parameter ilmiah tanah secara modular dan sesuai konteks, serta belum adanya implementasi dan validasi kinerja model kecerdasan buatan (RF dan CNN) dalam mendukung keputusan petani di wilayah DIY.

C. Batasan Masalah

Berikut merupakan beberapa batasan yang diterapkan dalam pengembangan sistem prediksi cuaca dan rekomendasi tanaman berbasis *GIS* dan *AI*:

1. Pada Cakupan Wilayah, penelitian ini hanya berfokus dalam wilayah Yogyakarta, dengan mempertimbangkan kondisi iklim dan pola pertanian yang berlaku di beberapa daerah.
2. Dataset yang digunakan untuk pelatihan model berasal dari dataset publik seperti Kaggle, Harvard Dataverse, dan Roboflow.
3. Jenis Data Cuaca pada penelitian ini hanya menggunakan data cuaca yang diperoleh dari API BMKG, mencakup variabel seperti suhu, curah hujan, dan kelembapan udara.
4. Tekstur Tanah yang dipertimbangkan dalam sistem ini dibatasi hanya pada lima kategori, yaitu *clay*, *sandy*, *loamy*, *laterite*, dan *humus*.
5. Data karakteristik ilmiah tanah, seperti PH, kandungan karbon organik, Nitrogen dan CEC, hanya diambil dari platform SoilGrids sebagai input fitur untuk rekomendasi.
6. Sistem dikembangkan dalam bentuk website berbasis GIS dan AI, tanpa implementasi sebagai aplikasi mobile atau integrasi dengan perangkat IoT.
7. Model AI yang dikembangkan berfokus pada dua tugas utama: (a) klasifikasi citra tanah menggunakan arsitektur CNN *EfficientNetB0*, dan (b) rekomendasi tanaman menggunakan algoritma *Random Forest*.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, penelitian ini memiliki tujuan-tujuan sebagai berikut:

- 1) Merancang dan membangun sebuah sistem berbasis web yang mampu memberikan rekomendasi tanaman yang akurat dengan mengintegrasikan berbagai sumber data, termasuk data cuaca dari API BMKG, data parameter tanah dari SoilGrids, dan data citra tanah dari pengguna.
- 2) Mengimplementasikan dan mengevaluasi dua model kecerdasan buatan (AI) yang spesifik:
 - a. Algoritma *Random Forest* sebagai model utama untuk menghasilkan rekomendasi tanaman berdasarkan kombinasi parameter lingkungan.
 - b. Arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN) EfficientNetB0* untuk melakukan klasifikasi tekstur tanah secara otomatis berdasarkan analisis citra yang diunggah pengguna.
- 3) Menganalisis efektivitas sistem yang telah dikembangkan dalam menyajikan rekomendasi yang logis, kontekstual, dan berpotensi membantu petani dalam pengambilan keputusan.

E. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem (*System engineering*) yang berfokus pada perancangan, pembangunan, dan evaluasi sebuah artefak teknologi berupa platform berbasis web. Adapun langkah-langkah metodologis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka untuk memahami konsep-konsep utama seperti *Geographic Information System (GIS)*, rekomendasi tanaman, serta mengkaji penelitian terdahulu terkait penggunaan algoritma *Random Forest* dan CNN dalam domain agrikultur untuk memposisikan kebaruan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari berbagai sumber dan dikategorikan berdasarkan fungsinya:

- a. Data Latih mode Rekomendasi: Sebuah dataset historis dari *Kaggle* digunakan untuk melatih model *Random Forest*. Dataset ini berisi fitur-fitur seperti parameter cuaca, parameter tanah, dan label berupa jenis tanaman yang sesuai.
- b. Data Latih Model Klasifikasi Tanah: Dataset citra tanah yang terdiri dari 6 kelas (*clay, sandy, loamy, laterite, dan humus*) disusun dari sumber publik untuk melatih model CNN *EfficientNetB0*.

- c. API BMKG: Menyediakan data cuaca terkini (suhu, kelembapan, curah hujan).
- d. API SoilGrids: Menyediakan data parameter ilmiah tanah (*pH*, karbon, cec, nitrogen).
- e. Citra dari Pengguna: Gambar tanah yang diunggah untuk dianalisis oleh model CNN.
- f. Data Pendukung dan Kontekstual:
 - 1) Sentinel Hub: Menyediakan citra satelit untuk visualisasi *NDVI* (Indeks Vegetasi Tanaman)
 - 2) Data Geospasial GIS: Peta digital wilayah Yogyakarta untuk validasi lahan.

3. Pra-pemrosesan Data

Data latih yang telah dikumpulkan kemudian diproses melalui beberapa tahapan, termasuk pembersihan data, penanganan nilai yang hilang (*missing values*), dan normalisasi menggunakan pustaka python seperti Pandas dan NumPy.

4. Pengembangan dan Eksperimen Model AI

- a. Model rekomendasi tanaman dikembangkan menggunakan algoritma *Random Forest* dari framework *Scikit-learn*. Model ini dilatih dengan dataset historis yang mencakup parameter cuaca dan tanah untuk memprediksi tanaman yang cocok dengan kondisi spesifik.
- b. Untuk mendukung pengenalan tekstur tanah dari citra (gambar), digunakan pendekatan *Computer Vision* dengan bantuan pustaka *OpenCV* untuk *preprocessing* gambar, seperti konversi warna, peningkatan kontras, dan segmentasi tanah.
- c. Model *EfficientNetB0* digunakan sebagai arsitektur CNN untuk klasifikasi citra tekstur tanah (*clay*, *sandy*, *loamy*, *laterite*, dan *humus*). Model ini dilatih menggunakan optimizer *Adam* dengan fine-tuning pada layer akhir untuk meningkatkan akurasi klasifikasi terhadap data lokal.
- d. Dataset citra tanah disusun dari sumber publik dan dilabeli sesuai kategori tanah yang ditentukan. Proses pelatihan dilakukan dengan augmentasi data seperti rotasi, *zoom*, dan *flip* untuk meningkatkan generalisasi model.

5. Pengujian dan Evaluasi Model

Melakukan evaluasi performa terhadap kedua model AI yang telah dikembangkan menggunakan metrik klasifikasi standar seperti akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*, serta menganalisis hasilnya menggunakan *confusion matrix*.

6. Perancangan dan Implementasi Sistem

Merancang arsitektur sistem berbasis *microservice* dan mengimplementasikannya dalam bentuk aplikasi web menggunakan teknologi seperti *ReactJS*, *Node.js*, dan *MySQL*.

7. Pengujian Fungsional dan Kesimpulan

Melakukan pengujian fungsionalitas sistem secara menyeluruh untuk memastikan semua fitur berjalan sesuai rancangan, kemudian menarik Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

8. Penarikan Kesimpulan dan Dokumentasi

Menganalisis hasil penelitian, menyimpulkan temuan, dan mendokumentasikan seluruh proses penelitian dalam laporan akhir.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini disusun dalam enam bab utama, yang masing-masing memiliki fungsi dan tujuan tersendiri. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi penjabaran mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah (termasuk keterbatasan tanah dan sumber data satelit seperti SoilGrids dan Sentinel Hub), tujuan penelitian (termasuk pengembangan solusi berbasis *GIS* dan *AI*), metode penelitian, serta sistematika penulisan laporan secara keseluruhan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik, seperti perubahan iklim, *GIS*, *AI*, pertanian presisi, serta sistem peringatan dini.

BAB III Landasan Teori

Bab ini menguraikan teori-teori teknis yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem, termasuk algoritma *Random Forest*, *EfficientNetB0*, metode optimasi *Adam*, pemrosesan citra dengan *OpenCV*, pemrosesan data cuaca dari BMKG, prinsip kerja *GIS*, serta arsitektur sistem berbasis web.

BAB IV Analisis dan Perancangan Sistem

Bab ini membahas analisis kebutuhan pengguna dan sistem, perancangan data dan arsitektur sistem, pemetaan alur proses (*flowchart*), serta desain antarmuka pengguna. Di dalamnya juga dijelaskan integrasi antara data cuaca, citra tanah, dan sistem rekomendasi berbasis *AI*.

BAB V Implementasi dan Pengujian Sistem

Bab ini menjelaskan proses implementasi sistem, pelatihan dan pengujian model machine learning untuk rekomendasi tanaman dan klasifikasi citra tanah, integrasi antarmuka pengguna berbasis web, serta analisis hasil pengujian fungsionalitas dan performa sistem secara keseluruhan. Uji performa model disampaikan melalui metrik seperti akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*.

BAB VI Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian, evaluasi efektivitas sistem terhadap tujuan awal, serta saran untuk pengembangan sistem ke depannya, seperti pengembangan versi *mobile* dan penggunaan teknologi IoT. Laporan juga dilengkapi dengan Daftar Pustaka sebagai referensi dan Lampiran berisi data, hasil pengujian, dan kode program.