

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan sistem pendukung keputusan di bidang pertanian presisi merupakan respons langsung terhadap meningkatnya tantangan ketahanan pangan akibat anomaly iklim dan degradasi lahan. Tinjauan Pustaka ini bertujuan untuk membedah lanskap teknologi yang telah ada, mengidentifikasi secara kritis keterbatasan dan celah penelitian (*research gap*) dari solusi-solusi terdahulu, dan menyajikan justifikasi akademis yang kuat untuk arsitektur multi-analisis modular yang diusulkan dalam penelitian ini.

Penerapan kecerdasan buatan (AI) telah merevolusi cara data agrikultur dianalisis. Berbagai penelitian telah mengeksplorasi penggunaan *machine learning* untuk memprediksi kesesuaian tanaman, berevolusi dari model Tunggal seperti Regresi Linier yang digunakan untuk optimasi pertanian [12], menuju pendekatan yang lebih terintegrasi. Sistem yang lebih maju, seperti yang dikembangkan oleh Hermawan et al. [13], telah berhasil menggabungkan *machine learning* dengan *Geographic Information System* (GIS) untuk menambahkan konteks spasial. Meskipun demikian, analisis kritis menunjukkan bahwa sistem-sistem ini—termasuk yang diusulkan oleh Hermawan et al.—umumnya masih memiliki keterbatasan fundamental: banyak yang bergantung pada data tanah yang bersifat statis dan sekunder, serta kurang memiliki kemampuan untuk memvalidasi kondisi lahan secara *real-time* melalui input visual dari pengguna. Keterbatasan akses terhadap teknologi yang relevan ini menjadi krusial, mengingat studi oleh Andarwati et al. [16] mengkonfirmasi secara langsung di lapangan bahwa petani di Yogyakarta masih menghadapi kesulitan dalam praktik adaptasi terhadap perubahan iklim.

Untuk memetakan kontribusi orisinal dari penelitian ini, analisis terhadap studi-studi kunci dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Analisis kritis penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian Saat Ini

Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Kelebihan Utama	Keterbatasan & Celah Penelitian yang Diidentifikasi
Pudumalar et al. [14]	Perbandingan algoritma ML untuk rekomendasi tanaman.	Menunjukkan efektivitas algoritma <i>ensemble</i> seperti Random Forest untuk pertanian presisi.	Implementasi awal, belum terintegrasi dengan analisis citra tanah atau validasi GIS yang

			mendalam. Celah: Butuh implementasi dalam sistem holistik.
Ronaldo et al.[18]	Klasifikasi tekstur tanah menggunakan CNN.	Membuktikan secara praktis bahwa CNN efektif untuk klasifikasi tekstur tanah di konteks lokal (Indonesia).	Studi terisolasi, tidak terhubung dengan sistem rekomendasi tanaman atau data iklim. Celah: Perlu diintegrasikan ke dalam sistem pendukung keputusan yang lebih besar.
Mousavi et al. [15]	Prediksi hasil panen menggunakan ML dan data agro-klimatologi.	Menggunakan pendekatan ML modern untuk menangani data yang kompleks dan membuktikan akurasi tinggi.	Fokus pada prediksi hasil panen (<i>yield</i>), bukan rekomendasi tanaman. Celah: Menegaskan kekuatan ML yang bisa diaplikasikan untuk rekomendasi.
Srivastava et al. [17]	<i>Review</i> komprehensif tentang klasifikasi tanah menggunakan <i>Deep Learning</i> (DL).	Memberikan justifikasi akademis yang kuat bahwa <i>DL/CNN</i> adalah metode <i>state-of-the-art</i> untuk analisis citra tanah.	Merupakan studi tinjauan, bukan implementasi sistem terintegrasi. Celah: Menunjukkan perlunya implementasi praktis dari temuan teoretis.
Ferdy Firmansyah (Penelitian ini)	Sistem rekomendasi dengan arsitektur multi-analisis modular.	Mengisi celah penelitian dengan mengorkestrasi tiga pilar dalam satu alur kerja: 1) Analisis Prediktif (<i>Random Forest</i>), 2) Analisis Diagnostik-Visual (CNN), dan 3) Analisis Validasi Kontekstual (GIS & Filter Saintifik).	-

Analisis di atas secara tegas menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) yang signifikan. Belum ada penelitian yang mempublikasikan sebuah sistem yang mengintegrasikan

tiga komponen vital secara simultan: (1) kemampuan untuk “melihat” dan menganalisis kondisi tanah aktual melalui citra (*Computer Vision*), (2) kemampuan untuk memprediksi menggunakan model *ensemble* yang terbukti akurat, dan (3) kemampuan untuk memvalidasi rekomendasi tersebut dengan konteks spasial (GIS) untuk memastikan relevansi praktis.

Untuk mengisi kekosongan arsitektural tersebut, pemilihan metode dalam penelitian ini didasarkan pada bukti ilmiah yang kuat. *Random Forest* dipilih sebagai inti mesin rekomendasi karena keunggulannya yang telah terbukti secara luas dalam domain agrikultur. Studi oleh Pudumalar et al. menjadi salah satu contoh awal yang menunjukkan efektivitas algoritma berbasis decision tree untuk sistem rekomendasi di bidang pertanian presisi [14]. Lebih lanjut, penelitian terkini oleh Mousavi et al. menggarisbawahi kekuatan pendekatan *machine learning* dalam memprediksi hasil pertanian dari parameter agro-klimatologi yang kompleks, di mana metode *ensemble* seperti *Random Forest* seringkali unggul dalam menangani non-linear antar variabel [15].

Disisi lain, untuk analisis kondisi tanah aktual, *Convolutional Neural Networks* (CNN) menjadi pilihan metodologis yang paling rasional. Sebuah studi tinjauan komprehensif oleh Srivastava et al. menyimpulkan bahwa metode berbasis *deep learning* telah menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan dan akurasi tinggi untuk tugas klasifikasi tanah berbasis citra, menjadikannya metode *state-of-the-art* [17]. Secara praktis, penelitian oleh Ronaldo et al. juga telah berhasil mengimplementasikan CNN untuk klasifikasi tekstur tanah secara efektif di Indonesia, yang memberikan bukti langsung akan kelayakan dan relevansi penerapan metode ini dalam konteks lokal [18].

Dengan demikian, penelitian ini memposisikan diri untuk memberikan kontribusi metodologis yang jelas: pengusulan dan implementasi arsitektur multi-analisis yang melakukan sintesis dari tiga modul rekomendasi independen. Kontribusi ini melampaui sekedar penerapan teknologi yang ada, dengan mendemonstrasikan sebuah alur kerja baru yang menggabungkan keunggulan prediktif Random Forest, kemampuan analisis visual dari CNN, dan validasi kontekstual dari GIS. Arsitektur ini menghasilkan sistem yang tidak hanya cerdas secara prediktif, tetapi juga “sadar” akan konteks visual dan spasial di lapangan, sehingga dapat menjadi solusi yang lebih andal bagi petani Yogyakarta.