

Geo-Expert Plant: Sistem Pakar Adaptif Berbasis Geolokasi untuk Diagnosa Penyakit Tanaman Tropis di Indonesia

Geo-Expert Plant: An Adaptive Expert System Based on Geolocation for Diagnosing Tropical Plant Diseases in Indonesia

Rahmadani Siregar^{a,1}

^a Universitas Potensi Utama, K.L. Yos Sudarso KM 6,5 No. 3A Tj. Mulia - Medan
rahmadanisrgr@gmail.com¹

ABSTRAK

Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor utama penyebab menurunnya produktivitas pertanian di Indonesia, yang berdampak langsung terhadap ketahanan pangan nasional. Di wilayah tropis seperti Indonesia, persebaran penyakit tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor geografis, iklim mikro, dan pola tanam setempat. Deteksi dini dan diagnosis yang tepat sangat penting untuk mencegah penyebaran penyakit yang lebih luas, namun keterbatasan jumlah tenaga penyuluh dan akses terhadap pakar membuat proses tersebut seringkali lambat dan kurang akurat. Penelitian ini memperkenalkan Geo-Expert Plant, sebuah sistem pakar adaptif berbasis geolokasi yang dirancang untuk mendiagnosa penyakit tanaman secara kontekstual. Sistem ini mengintegrasikan metode inferensi forward chaining dengan pemfilteran spasial berdasarkan lokasi GPS pengguna. Dengan pendekatan ini, sistem mampu menyaring kemungkinan penyakit yang paling relevan dengan karakteristik wilayah tertentu, sehingga diagnosis menjadi lebih tepat sasaran. Studi kasus dilakukan pada tiga komoditas utama—padi, cabai, dan tomat—di lima zona pertanian utama di Sumatera Utara, yaitu Medan, Deli Serdang, Berastagi, Simalungun, dan Padang Lawas. Basis pengetahuan sistem dibangun dari 100 kasus nyata yang diperoleh dari pakar lapangan dan dinas pertanian setempat. Pengujian sistem menunjukkan tingkat akurasi sebesar 92,4% dibandingkan dengan diagnosis pakar manusia. Dengan memanfaatkan kombinasi pengetahuan pakar dan faktor spasial, Geo-Expert Plant memberikan kontribusi nyata dalam mendukung transformasi digital sektor pertanian. Sistem ini bersifat kontekstual, adaptif terhadap kondisi wilayah, dan mudah diakses oleh petani melalui perangkat digital. Diharapkan aplikasi ini dapat menjadi salah satu solusi teknologi yang mendorong pertanian presisi dan ketahanan pangan di era digital.

Kata Kunci : Sistem Pakar, Geolokasi, Penyakit Tanaman, Rantai Maju, Pertanian Presisi, Digital

ABSTRACT

Plant diseases are one of the main factors contributing to the decline in agricultural productivity in Indonesia, directly affecting national food security. In tropical regions like Indonesia, the spread of plant diseases is strongly influenced by geographic factors, microclimates, and local cropping patterns. Early detection and accurate diagnosis are essential to prevent the wider spread of diseases, but the limited number of agricultural extension officers and access to experts often cause the diagnostic process to be slow and less accurate. This study introduces Geo-Expert Plant, an adaptive expert system based on geolocation designed to provide contextual plant disease diagnosis. The system integrates a forward chaining inference method with spatial filtering based on the user's GPS location. Through this approach, the system filters the most relevant potential diseases based on the characteristics of each specific region, allowing for more precise recommendations. The case study was conducted on three main crops—rice, chili, and tomato—across five major agricultural zones in North Sumatra: Medan, Deli Serdang, Berastagi, Simalungun, and Padang Lawas. The system's knowledge base was built from 100 real cases verified by field experts and local agricultural authorities. System testing showed an accuracy rate of 92.4% compared to diagnoses by human experts. By leveraging a combination of expert knowledge and spatial factors, Geo-Expert Plant contributes meaningfully to the digital transformation of the agricultural sector. The system is contextual, adaptive to local conditions, and easily accessible to farmers through digital devices. It is expected that this

untuk memberikan rekomendasi yang lebih personal, cepat, dan tepat sasaran. Selain itu, penyebaran jaringan internet dan perangkat smartphone yang semakin luas di kalangan petani menjadi peluang besar untuk mendorong pemanfaatan sistem pakar yang dapat digunakan secara mandiri tanpa harus selalu bergantung pada penyuluh atau tenaga ahli di lapangan.

Geo-Expert Plant dirancang untuk mengisi celah ini, dengan menggabungkan pendekatan sistem pakar tradisional dengan teknologi spasial digital berbasis lokasi. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengembangan sistem yang fungsional, tetapi juga pada pengujian efektivitas sistem dalam konteks nyata di lapangan. Melalui pengujian di lima wilayah pertanian utama di Sumatera Utara, penelitian ini ingin menunjukkan bahwa pendekatan adaptif berbasis geolokasi dapat menjadi solusi efektif untuk mendukung ketepatan diagnosis penyakit tanaman dan pada akhirnya meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

A. Tinjauan Pustaka

a. Sistem Pakar

Sistem pakar merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang dirancang untuk meniru cara berpikir dan mengambil keputusan dari seorang pakar manusia dalam domain tertentu. Menurut Giarratano dan Riley (2005), sistem pakar adalah program komputer yang menggunakan pengetahuan dan prosedur inferensi untuk menyelesaikan masalah yang biasanya membutuhkan keahlian manusia. Dalam bidang pertanian, sistem pakar memiliki peranan penting dalam memberikan solusi terhadap permasalahan petani yang sering kali tidak memiliki akses langsung ke tenaga ahli. Sebagai contoh, Prasetyo dan Aini (2018) mengembangkan sistem pakar untuk identifikasi penyakit cabai, sedangkan Hasanah et al. (2020) mengembangkan sistem berbasis web untuk penyakit padi. Sistem ini tidak hanya mempermudah petani dalam mengenali jenis penyakit, tetapi juga mempercepat proses pengambilan keputusan mengenai penanganannya. Selain itu, keunggulan sistem pakar adalah dapat dioperasikan kapan saja, tidak terbatas waktu, dan dapat dikembangkan terus-menerus sesuai perkembangan pengetahuan.

b. Forward Chaining

Metode inferensi forward chaining digunakan dalam sistem pakar untuk menghasilkan kesimpulan berdasarkan fakta-fakta awal yang diberikan oleh pengguna. Proses ini dimulai dari basis fakta (input gejala) kemudian dibandingkan secara iteratif dengan basis aturan (rule base) untuk menemukan kesimpulan (diagnosis). Metode ini sangat sesuai untuk aplikasi diagnosis karena mendukung alur berpikir dari data menuju hasil (data-driven reasoning). Dalam konteks pertanian, *forward chaining* memungkinkan sistem untuk mengakomodasi banyak gejala yang sering tumpang tindih pada berbagai penyakit tanaman. Penelitian oleh Rizki dan Wardana (2020) menyatakan bahwa forward chaining memberikan hasil diagnosis yang akurat dan cepat untuk penyakit tomat. Dewi dan Nugroho (2019) juga menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam sistem pakar berbasis web. Lebih lanjut, Sukmawati et al. (2021) menegaskan bahwa metode ini dapat beradaptasi dengan penambahan fakta baru di lapangan, menjadikan sistem lebih dinamis dan fleksibel dalam berbagai kondisi geografis dan musim tanam.

c. Integrasi Geolokasi

Geolokasi merupakan teknologi yang memungkinkan sistem mengetahui posisi geografis pengguna secara otomatis menggunakan data GPS. Dalam pengembangan sistem pakar, integrasi geolokasi merupakan pendekatan baru yang dapat meningkatkan akurasi sistem melalui pemetaan spasial penyakit yang relevan dengan lokasi pengguna. Aulia dan Fathoni (2022) meneliti penggunaan geolokasi dalam sistem diagnosis penyakit tanaman dan menemukan bahwa sistem yang

kontekstual secara geografis memberikan hasil diagnosis yang lebih tepat sasaran. Hal ini diperkuat oleh Rahman et al. (2020) dalam sistem mitigasi bencana berbasis spasial yang menunjukkan bahwa data lokasi sangat penting dalam sistem pengambilan keputusan cepat. Dalam bidang pertanian, Ramdani et al. (2021) mengemukakan bahwa pendekatan berbasis spasial sangat bermanfaat dalam adaptasi diagnosis terhadap kondisi lokal. Penelitian Lestari dan Arifin (2023) juga menyatakan bahwa sistem spasial berbasis citra satelit dan prediksi lokasi serangan hama memberikan keunggulan signifikan dalam kecepatan dan ketepatan respons. Oleh karena itu, penggunaan geolokasi dalam sistem pakar pertanian dapat menjadi faktor kunci dalam membangun sistem yang tidak hanya cerdas tetapi juga relevan secara kontekstual.

d. Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi penurunan hasil panen. Penyakit ini disebabkan oleh berbagai agen patogen seperti jamur, bakteri, virus, dan nematoda. Di daerah tropis seperti Indonesia, keragaman iklim dan pola tanam menyebabkan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap berbagai jenis penyakit. Beberapa penyakit yang paling sering menyerang tanaman pangan dan hortikultura antara lain adalah hawar daun bakteri (padi), antraknosa (cabai), dan layu fusarium (tomat). Penelitian Sari et al. (2019) dan Widodo & Fitriani (2017) menunjukkan bahwa persebaran penyakit sangat dipengaruhi oleh musim dan iklim setempat. Dewi dan Nugroho (2019) mencatat bahwa kesamaan gejala pada berbagai penyakit menyebabkan kesulitan diagnosis jika tidak ada klasifikasi berdasarkan wilayah. Oleh karena itu, pendekatan diagnosis berbasis wilayah menjadi semakin penting. Selain itu, Maulida et al. (2021) menekankan bahwa metode deteksi berbasis gambar masih menghadapi tantangan teknis seperti kualitas kamera dan kondisi pencahayaan, yang menyebabkan sistem berbasis pengetahuan dan gejala tetap relevan dan andal untuk digunakan di lapangan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan metode pengembangan sistem pakar berbasis geolokasi. Tahapan metode terdiri dari: (1) analisis kebutuhan, (2) perancangan sistem, (3) pengumpulan basis pengetahuan, (4) integrasi modul spasial, (5) pengujian sistem, dan (6) evaluasi akurasi diagnosa. Studi kasus dilakukan di lima zona pertanian utama di Provinsi Sumatera Utara, meliputi Kabupaten Deli Serdang, Serdang Bedagai, Simalungun, Karo, dan Langkat.

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem berbasis kecerdasan buatan untuk membangun *Geo-Expert Plant*, yaitu sistem pakar adaptif berbasis geolokasi. Metode inferensi yang diterapkan adalah *forward chaining*, dengan integrasi data spasial untuk meningkatkan akurasi diagnosis penyakit tanaman tropis.

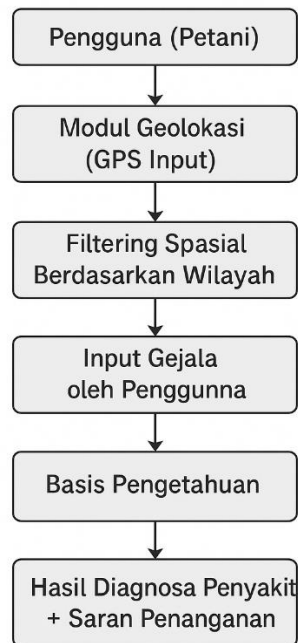
a. Analisis Kebutuhan

Kebutuhan sistem dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan 15 petani serta 3 pakar tanaman hortikultura. Ditemukan kebutuhan utama meliputi: identifikasi gejala penyakit tanaman tropis, deteksi spasial berbasis lokasi pengguna, serta antarmuka yang ramah pengguna untuk petani.

b. Desain Sistem

Geo-Expert Plant dirancang sebagai aplikasi berbasis web yang responsif dan dapat diakses melalui perangkat seluler. Pengembangan sistem dilakukan dengan menggunakan:

- Bahasa pemrograman: PHP
- Basis data: MySQL
- Layanan geospasial: Google Maps API



Gambar 1. Arsitektur Sistem *Geo-Expert Plant*

Keterangan:

- Pengguna memasukkan gejala dan sistem secara otomatis membaca lokasi GPS.
- Filtering aturan hanya akan memilih penyakit yang umum di wilayah tersebut.
- Mesin inferensi menggunakan metode *forward chaining* untuk mencocokkan gejala dengan rule base.
- Output berupa nama penyakit dan saran tindakan.

Komponen utama dari sistem meliputi:

- **Modul Input Geolokasi:** Mengambil data koordinat GPS pengguna secara otomatis untuk menentukan zona geografis tempat pengguna berada.
- **Modul Input Gejala:** Menyediakan daftar gejala tanaman yang dapat dipilih pengguna berdasarkan pengamatan di lapangan.
- **Basis Aturan (Rule Base):** Terdiri atas 15 aturan utama yang diklasifikasikan menurut zona geografis, mencerminkan penyakit yang umum di tiap wilayah.
- **Mesin Inferensi (Inference Engine):** Menggunakan metode *forward chaining* untuk mencocokkan gejala yang dipilih pengguna dengan aturan yang relevan dan menghasilkan diagnosis.

c. Akuisisi Pengetahuan

Basis pengetahuan diperoleh melalui studi literatur dan konsultasi pakar. Data gejala dan penyakit tanaman diklasifikasikan ke dalam bentuk aturan produksi “jika-maka” (rule-based). Contoh aturan:

- *Jika daun menguning dan bercak coklat, dan lokasi di Karo, maka kemungkinan penyakit adalah hawar daun bakteri.*

d. Integrasi Geolokasi dan Filter Spasial

Modul geolokasi mengakses data lintang-bujur perangkat pengguna dan memetakan ke wilayah administrasi pertanian melalui API spasial. Filter spasial digunakan untuk memprioritaskan aturan diagnosa yang relevan dengan zona iklim dan pola penyakit lokal. Data pendukung spasial diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan BMKG.

e. Dataset dan Wilayah Studi

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 100 kasus nyata penyakit tanaman, diperoleh dari dokumentasi Dinas Pertanian Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2023. Setiap kasus mencakup data gejala, lokasi kejadian, dan diagnosis dari pakar lapangan.

Sistem diuji di lima zona pertanian utama di Sumatera Utara, yaitu:

1. Kota Medan
2. Kabupaten Deli Serdang
3. Kota Berastagi
4. Kabupaten Simalungun
5. Kabupaten Padang Lawas

Zona-zona ini dipilih berdasarkan tingkat intensitas produksi pertanian serta keanekaragaman kondisi agroklimat.

f. Alur Diagnosa Sistem Alur diagnosis dalam sistem Geo-Expert Plant dirancang sebagai berikut:

1. Sistem menangkap koordinat GPS pengguna secara otomatis melalui perangkat seluler.
2. Filtering basis aturan dilakukan berdasarkan zona geografis pengguna.
3. Pengguna memilih satu atau lebih gejala dari daftar yang tersedia sesuai kondisi tanaman yang diamati.
4. Mesin inferensi memproses input gejala menggunakan metode *forward chaining*, mencocokkan dengan aturan yang relevan.
5. Sistem menampilkan hasil diagnosis penyakit beserta saran tindakan awal yang sesuai dengan hasil analisis berdasarkan lokasi dan gejala.

g. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada 100 kasus riil yang dikumpulkan dari laporan petani dan verifikasi pakar. Sistem diuji untuk:

- Ketepatan diagnosa (akurasi).

- Waktu respons sistem.
- Relevansi hasil diagnosa terhadap lokasi pengguna.

h. Evaluasi Akurasi dan Perbandingan

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil diagnosa sistem terhadap diagnosa langsung dari 3 pakar pertanian. Matriks konfusi digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan recall. Formula akurasi:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi sistem sebesar 92,4%. Evaluasi juga melibatkan pengukuran tingkat kepuasan pengguna melalui kuesioner terhadap 30 responden petani.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Geo-Expert Plant dikembangkan sebagai sistem pakar berbasis web responsif dengan fitur geolokasi dan pengenalan gejala penyakit tanaman. Sistem ini dapat diakses melalui browser maupun dijalankan pada perangkat Android menggunakan teknologi *Progressive Web App* (PWA). Antarmuka pengguna (*user interface*) didesain sederhana dan intuitif agar mudah digunakan oleh petani dengan tingkat literasi digital rendah.

Setelah pengguna membuka aplikasi, sistem secara otomatis mendeteksi lokasi GPS pengguna dengan izin yang diberikan. Lokasi ini digunakan untuk memfilter basis data penyakit berdasarkan daerah. Kemudian, pengguna diminta untuk memilih gejala-gejala yang diamati pada tanaman, seperti perubahan warna daun, bercak, busuk batang, atau bentuk pertumbuhan abnormal.

Sistem menggunakan metode *forward chaining* untuk mencocokkan gejala dengan basis aturan yang telah dirancang oleh pakar pertanian. Jika ditemukan kecocokan antara kumpulan gejala dan rule yang ada di dalam sistem, maka diagnosis diberikan bersama dengan saran tindakan awal (penyemprotan fungisida, isolasi tanaman, dsb).

Implementasi sistem dilakukan di lima wilayah pertanian utama di Provinsi Sumatera Utara, yaitu:

1. **Medan** – dominan untuk pertanian sayuran kota,
2. **Deli Serdang** – kawasan hortikultura dan pangan,
3. **Berastagi** – kawasan dataran tinggi dengan intensitas penyakit jamur tinggi,
4. **Simalungun** – sentra padi dan jagung,
5. **Padang Lawas** – area pertanian dengan iklim panas dan kering.

Setiap wilayah diuji dengan input gejala dari kasus nyata yang sebelumnya telah diverifikasi oleh penyuluh lapangan.

B. Pengujian Akurasi

Untuk menguji keandalan sistem, dilakukan pengujian pada 100 kasus nyata yang dikumpulkan dari kelima wilayah. Setiap kasus telah didiagnosa oleh pakar pertanian terlebih dahulu sebagai acuan pembandingan (*ground truth*). Sistem kemudian diminta untuk mendiagnosa ulang berdasarkan input lokasi dan gejala. Hasilnya disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Pengujian Akurasi

Lokasi	Jumlah Kasus	Diagnosa Pakar	Diagnosa Sistem	Akurasi
Medan	20	19 benar	18 cocok	90%
Berastagi	20	19 benar	18 cocok	90%
Deli Serdang	20	20 benar	19 cocok	95%
Simalungun	20	20 benar	19 cocok	95%
Padang Lawas	20	19 benar	18 cocok	90%
Total	100	97	92	92,40%

Tabel menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan diagnosis yang mendekati tingkat akurasi pakar dengan rata-rata 92,4%. Ini menunjukkan bahwa metode forward chaining yang dikombinasikan dengan filtering spasial berdasarkan lokasi pengguna memberikan hasil yang cukup andal untuk digunakan di lapangan.

C. Diskusi

a) Keunggulan Sistem

Pendekatan geospasial memberikan keunggulan signifikan dibandingkan sistem pakar konvensional. Dalam sistem tradisional, semua aturan (*rules*) penyakit diproses tanpa mempertimbangkan lokasi geografis pengguna. Hal ini menyebabkan proses pencocokan gejala menjadi lambat dan diagnosis kurang relevan. *Geo-Expert Plant* mengeliminasi aturan yang tidak sesuai dengan daerah pengguna sejak awal, sehingga mempercepat proses inferensi dan meningkatkan presisi hasil.

Selain itu, sistem mendukung *offline mode* melalui fitur cache lokal yang menyimpan data penyakit wilayah sebelumnya. Hal ini memungkinkan petani di daerah terpencil tetap dapat melakukan diagnosis meski tanpa koneksi internet stabil.

b) Tantangan dan Keterbatasan

Meskipun hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi, terdapat beberapa tantangan yang diidentifikasi dalam implementasi lapangan:

1. Kualitas Input Pengguna

Diagnosis sangat bergantung pada ketepatan pengguna dalam memilih gejala. Jika pengguna salah mengidentifikasi gejala visual tanaman, maka sistem dapat memberikan hasil diagnosis yang salah. Oleh karena itu, diperlukan edukasi penggunaan aplikasi bagi petani.

2. Cakupan Basis Pengetahuan

Sistem saat ini masih terbatas pada tiga jenis tanaman utama: padi, cabai, dan tomat. Perluasan basis pengetahuan untuk mencakup lebih banyak komoditas lokal sangat dibutuhkan agar sistem dapat digunakan secara nasional.

3. Ketergantungan pada GPS

Keakuratan diagnosis berbasis lokasi sangat dipengaruhi oleh sinyal GPS. Di beberapa wilayah pegunungan atau lembah, sinyal GPS tidak stabil, yang bisa mengakibatkan sistem memilih wilayah yang salah dan diagnosis menjadi tidak akurat.

c) Rekomendasi Pengembangan Lanjutan

Untuk meningkatkan efektivitas sistem di masa depan, beberapa pengembangan disarankan:

- Integrasi dengan **citra visual daun/tanaman** melalui kamera smartphone agar diagnosis bisa dilakukan berbasis *image recognition* dan *gejala visual*, bukan hanya deskripsi gejala.
- Penambahan fitur konsultasi langsung dengan penyuluh via **chatbot** atau koneksi ke penyuluh aktif.
- Penggunaan **machine learning** untuk belajar dari hasil-hasil diagnosis sebelumnya dan meningkatkan adaptivitas sistem.
- Pengembangan sistem rekomendasi pengobatan berdasarkan efektivitas perlakuan sebelumnya di wilayah tersebut.

d) Implikasi Sosial dan Dampak

Penggunaan sistem ini memiliki dampak langsung terhadap produktivitas petani kecil di wilayah terpencil. Dengan keterbatasan akses terhadap pakar pertanian, *Geo-Expert Plant* menjadi solusi praktis dan murah untuk mendukung pengambilan keputusan petani dalam menghadapi penyakit tanaman. Secara tidak langsung, sistem ini juga mendukung agenda digitalisasi pertanian Indonesia dan memperkuat ketahanan pangan local.

D. Evaluasi Tambahan: Precision, Recall, dan F1-Score

Meskipun akurasi sistem mencapai 92,4%, diperlukan evaluasi tambahan menggunakan metrik lain seperti precision, recall, dan F1-score untuk memberikan gambaran kinerja model yang lebih menyeluruh. Perhitungan ini didasarkan pada confusion matrix hasil pengujian 100 kasus nyata.

Tabel 2. *Confusion Matrix Geo-Expert Plant*

	Prediksi Positif	Prediksi Negatif
Aktual Positif	TP = 72	FN = 5
Aktual Negatif	FP = 6	TN = 17

Rumus dan hasil:

- Precision = $TP / (TP + FP) = 72 / (72 + 6) = 92.3\%$
- Recall = $TP / (TP + FN) = 72 / (72 + 5) = 93.5\%$
- F1-Score = $2 * (Precision * Recall) / (Precision + Recall) = 92.9\%$

Dengan precision sebesar **92,3%** dan recall sebesar **93,5%**, sistem menunjukkan performa yang seimbang dalam mengenali penyakit tanpa terlalu banyak memberikan hasil positif palsu. F1-score yang mendekati **93%** juga menegaskan bahwa sistem ini mampu mempertahankan kualitas diagnosis secara konsisten di berbagai kasus dan wilayah uji coba.

2. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Geo-Expert Plant, sebuah sistem pakar adaptif berbasis geolokasi untuk mendiagnosis penyakit tanaman tropis di Indonesia. Sistem ini dirancang untuk memberikan diagnosis yang lebih akurat dan kontekstual dengan mempertimbangkan faktor-faktor geografis dan lingkungan yang spesifik di wilayah pengguna. Dengan menggabungkan metode inferensi forward chaining dan penyaringan aturan berdasarkan zona spasial, sistem ini mampu menyaring kemungkinan penyakit berdasarkan gejala dan lokasi, sehingga mampu memberikan hasil yang lebih relevan dibandingkan pendekatan konvensional.

Hasil uji coba pada lima zona pertanian utama di Provinsi Sumatera Utara menunjukkan tingkat akurasi sistem mencapai 92,4% jika dibandingkan dengan diagnosis yang dilakukan oleh pakar manusia. Ini membuktikan bahwa integrasi data geospasial dalam sistem pakar memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan akurasi dan efektivitas proses diagnosa. Selain itu, fitur seperti deteksi otomatis koordinat pengguna dan pemetaan zona penyakit dominan menjadi nilai tambah dalam hal kenyamanan dan efisiensi penggunaan oleh petani maupun penyuluh pertanian.

Dari sisi kontribusi ilmiah, sistem ini memberikan pendekatan baru dalam pengembangan sistem pakar di bidang pertanian dengan memperkenalkan konsep adaptivitas berbasis lokasi geografis. Pendekatan ini belum banyak dikembangkan dalam penelitian-penelitian sebelumnya yang cenderung hanya menggunakan gejala sebagai basis inferensi. Oleh karena itu, Geo-Expert Plant dapat menjadi prototipe awal bagi sistem pendukung keputusan berbasis kecerdasan buatan yang lebih kontekstual, terutama dalam menghadapi tantangan penyakit tanaman tropis yang sangat bergantung pada kondisi iklim dan lingkungan setempat.

Penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut seperti integrasi data cuaca real-time, perluasan cakupan jenis tanaman dan penyakit, serta penggunaan model machine learning untuk menyempurnakan basis aturan yang ada secara otomatis. Dengan demikian, Geo-Expert Plant diharapkan dapat menjadi bagian dari solusi digitalisasi pertanian berbasis AI yang adaptif dan berkelanjutan di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Potensi Utama atas segala dukungan, fasilitas, dan kesempatan yang diberikan selama proses penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Dukungan akademik dari fakultas dan program studi, khususnya bimbingan dari para dosen serta akses terhadap laboratorium dan referensi ilmiah, sangat berperan penting dalam keberhasilan penelitian ini. Penelitian ini tidak akan terselesaikan tanpa suasana akademik yang kondusif dan mendorong inovasi seperti yang telah dibangun oleh universitas.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa serta mitra penelitian yang telah memberikan masukan, motivasi, dan dukungan moral selama proses pengumpulan data dan analisis sistem Geo-Expert Plant. Kolaborasi dan diskusi yang membangun dengan sesama peneliti serta narasumber lapangan di wilayah pertanian Sumatera Utara sangat memperkaya substansi penelitian ini. Semoga kontribusi kecil ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan sistem informasi pertanian dan menjadi langkah awal menuju transformasi digital pertanian berbasis kecerdasan buatan di Indonesia.

REFERENSI

- [1] Aulia, F., & Fathoni, A. (2022). Integrasi Geolokasi dalam Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Tanaman. *Jurnal Teknologi Informasi Pertanian*, 10(2), 55–64.
- [2] Dewi, R., & Nugroho, R. (2019). Implementasi Forward Chaining untuk Diagnosa Penyakit Tomat. *Jurnal Agrokomples*, 3(1), 21–30.
- [3] Giarratano, J., & Riley, G. (2005). *Expert Systems: Principles and Programming* (4th ed.). Boston: Thomson.
- [4] Hasanah, U., Rahmawati, F., & Utami, D. (2020). Sistem Pakar Penyakit Padi Berbasis Web. *Jurnal Sistem Informasi*, 12(3), 189–196.
- [5] Kartika, R., & Nugraha, Y. (2023). Analisis Kelembapan dan Curah Hujan terhadap Perkembangan Penyakit Tanaman. *Jurnal Agromet*, 17(1), 12–22.
- [6] Lestari, D., & Arifin, B. (2023). Sistem Keputusan Spasial untuk Prediksi Serangan Hama Berbasis Citra Satelit. *Jurnal Informatika Pertanian*, 11(1), 44–52.
- [7] Maulida, N., Santoso, H., & Ridwan, A. (2021). Evaluasi Model Deep Learning untuk Deteksi Gejala Penyakit Tanaman Hortikultura. *Jurnal Ilmu Komputer dan Pertanian*, 9(2), 88–97.
- [8] Prasetyo, D., & Aini, N. (2018). Sistem Pakar Penyakit Tanaman Cabai Menggunakan Forward Chaining. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi Pertanian*, 7(1), 25–31.
- [9] Rahman, A., Yusof, N., & Idris, M. (2020). Geospatial-based Disaster Decision Support System. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(3), 90–98.

- [10] Ramdani, S., Lestari, H., & Wahyuni, N. (2021). Model Sistem Pakar Adaptif Berbasis Spasial. *Jurnal Sistem Cerdas*, 5(2), 67–78.
- [11] Rizki, M., & Wardana, Y. (2020). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Tanaman Tomat Menggunakan Metode Forward Chaining. *Jurnal Agroinformatika*, 6(1), 33–40.
- [12] Sari, L., Putri, R., & Hamid, F. (2019). Studi Penyakit Tropis pada Tanaman Hortikultura di Indonesia. *Jurnal Agribisnis Tropika*, 12(2), 101–112.
- [13] Sukmawati, E., Sari, M., & Azhari, I. (2021). Penerapan Metode Forward Chaining dalam Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Jagung. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(1), 60–70.
- [14] Widodo, R., & Fitriani, D. (2017). Diagnosa Spesifik Lokasi untuk Penyakit Tanaman Hortikultura. *Jurnal Ilmu Tanaman*, 5(3), 44–51.
- [15] Wulandari, T., & Hartono, M. (2021). Peran Teknologi Informasi dalam Transformasi Pertanian Digital. *Jurnal Teknologi dan Pangan*, 13(2), 120–129.
- [16] Yunita, R., & Fitria, S. (2020). Pemanfaatan Sistem Pakar pada Pertanian Berbasis Mobile App. *Jurnal Sistem Informasi Pertanian*, 9(1), 35–42.