

Development of a Forward Chaining-Based Expert System for Recommendations on the Cultivation of Dragon Fruit, Avocado, Papaya, and Durian Based on Geographical Parameters

[Pengembangan Sistem Pakar Berbasis Forward Chaining untuk Rekomendasi Budidaya Buah Naga, Alpukat, Pepaya, dan Durian Berdasarkan Parameter Geografis]

Havi Ichsan Fadillah¹⁾, Suprianto ^{*,2)} Hamzah Setiawan³⁾, Sumarno ^{.4)}

¹⁾Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

* Email Penulis Korespondensi : suprianto@gmail.ac.id

Abstract. This study developed a forward chaining-based expert system to recommend the cultivation of tropical fruit plants—dragon fruit, avocado, papaya, and durian—based on geographical parameters such as altitude, temperature, soil pH, rainfall, and soil type. The research employed a System Development Life Cycle (SDLC) with the Waterfall model, including problem identification, knowledge acquisition, system design, implementation, and testing. The expert system was implemented as a web-based platform with a knowledge base formulated from agronomic literature and expert interviews. Functional testing using Black Box Testing with six scenarios demonstrated valid outcomes in all cases, confirming that the inference engine works effectively in providing accurate recommendations or withholding results when no match is found. The system offers practical support for farmers in making data-driven cultivation decisions. However, it remains limited to four commodities and five parameters, highlighting the need for further expansion and integration with IoT sensors for real-time recommendations.

Keywords - expert system, forward chaining, tropical fruit cultivation

Abstrak. Penelitian ini mengembangkan sistem pakar berbasis forward chaining untuk memberikan rekomendasi budidaya tanaman buah tropis—buah naga, alpukat, pepaya, dan durian—berdasarkan parameter geografis berupa ketinggian, suhu, pH tanah, curah hujan, dan jenis tanah. Penelitian menggunakan pendekatan System Development Life Cycle (SDLC) model Waterfall yang meliputi identifikasi masalah, akuisisi pengetahuan, perancangan, implementasi, dan pengujian. Sistem pakar diimplementasikan dalam platform berbasis web dengan basis pengetahuan yang disusun dari literatur agronomi dan wawancara pakar. Hasil pengujian fungsional menggunakan Black Box Testing dengan enam skenario menunjukkan keluaran valid pada seluruh kasus, membuktikan bahwa mesin inferensi bekerja efektif dalam memberikan rekomendasi yang akurat maupun menolak jika tidak ada kesesuaian. Sistem ini berpotensi menjadi alat bantu praktis bagi petani dalam pengambilan keputusan budidaya berbasis data. Meski demikian, cakupan masih terbatas pada empat komoditas dan lima parameter, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan integrasi sensor IoT untuk rekomendasi waktu nyata.

Kata Kunci - sistem pakar, forward chaining, budidaya buah tropis

I. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, baik dari sisi biodiversitas, iklim, maupun karakteristik tanah. Letak geografis di sepanjang garis khatulistiwa menjadikan Indonesia beriklim tropis dengan kondisi yang sangat mendukung bagi pengembangan sektor pertanian [1]. Salah satu subsektor yang memiliki potensi besar adalah budidaya buah tropis, yang tidak hanya menjadi sumber pangan dan gizi masyarakat, tetapi juga memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional [2]. Beberapa komoditas buah tropis yang sangat populer dan memiliki nilai ekonomi tinggi adalah buah naga, alpukat, pepaya, dan durian. Keempat jenis buah tersebut menunjukkan tren permintaan yang terus meningkat, baik di pasar domestik maupun internasional, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan secara berkelanjutan [3].

Meskipun demikian, potensi besar tersebut belum sepenuhnya diiringi dengan praktik budidaya yang tepat. Banyak petani menghadapi kendala dalam menentukan jenis tanaman buah tropis yang sesuai dengan kondisi lahannya [4].

Umumnya, keputusan budidaya masih didasarkan pada pengalaman pribadi, kebiasaan, atau sekadar meniru petani lain. Hal ini sering kali mengabaikan faktor-faktor ilmiah yang berpengaruh langsung terhadap kesesuaian tanaman, seperti ketinggian tempat, pH tanah, suhu udara, curah hujan, dan jenis tanah. Akibatnya, tidak jarang terjadi ketidaksesuaian antara tanaman dan kondisi lahan, yang berimbas pada pertumbuhan suboptimal, rendahnya produktivitas, bahkan kegagalan panen. Masalah ini mengindikasikan adanya kesenjangan informasi teknis yang masih cukup besar di kalangan petani [5].

Setiap tanaman buah tropis memiliki karakteristik tumbuh yang sangat spesifik. Misalnya, buah naga tumbuh optimal pada dataran rendah dengan pH tanah netral dan curah hujan sedang, sedangkan alpukat lebih cocok pada dataran tinggi dengan suhu sejuk dan tanah gembur kaya bahan organik [6]. Pepaya relatif fleksibel, tetapi sangat sensitif terhadap genangan air, sementara durian memerlukan curah hujan tinggi dengan drainase tanah yang baik. Keragaman kebutuhan lingkungan ini menunjukkan bahwa keberhasilan budidaya buah tropis sangat bergantung pada kesesuaian antara tanaman dan kondisi geografis lahan [7]. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah pendekatan ilmiah yang mampu membantu petani dalam menentukan jenis tanaman yang paling sesuai berdasarkan parameter lingkungan.

Salah satu solusi yang dinilai relevan untuk menjawab permasalahan tersebut adalah penerapan sistem pakar. Sistem pakar merupakan cabang dari kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang dirancang untuk meniru kemampuan seorang ahli dalam memecahkan masalah pada domain tertentu [8]. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan basis pengetahuan (knowledge base) yang berisi aturan-aturan IF-THEN, kemudian diproses melalui mesin inferensi untuk menghasilkan rekomendasi atau keputusan. Dalam konteks pertanian, sistem pakar dapat menjadi alternatif strategis untuk menjawab keterbatasan akses informasi teknis, sekaligus mendukung praktik pertanian presisi yang berbasis data [9].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas sistem pakar di bidang pertanian. Egasari, Puspitaningrum, dan Prawito (2019) mengembangkan sistem pakar berbasis metode Bayes dan forward chaining untuk mengidentifikasi kesesuaian lahan tanaman perkebunan di Bengkulu, dengan akurasi sekitar 75% [10]. Wahyuni (2019) menerapkan metode forward chaining untuk membantu budidaya padi teknologi Salibu, yang terbukti meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan petani [11]. Sementara itu, Manuhutu dan Uktolseja (2025) mengembangkan sistem pakar berbasis web khusus untuk mendukung budidaya buah naga dengan mempertimbangkan parameter geografis [12]. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem pakar dapat diimplementasikan secara nyata dalam bidang pertanian, meskipun masih terdapat keterbatasan dari sisi cakupan komoditas, parameter yang digunakan, maupun aksesibilitas sistem.

Berdasarkan kajian pustaka, terdapat sejumlah gap penelitian yang menjadi dasar penting dilakukannya penelitian ini. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu masih terbatas pada satu jenis tanaman atau hanya kelompok tanaman tertentu, sehingga belum banyak yang berfokus pada buah tropis bernilai ekonomi tinggi seperti buah naga, alpukat, pepaya, dan durian secara bersamaan. Kedua, parameter yang digunakan dalam sistem sebelumnya umumnya masih terbatas pada pH tanah dan curah hujan, sementara faktor penting lain seperti suhu, jenis tanah, dan ketinggian belum diintegrasikan secara menyeluruh. Ketiga, sebagian besar sistem terdahulu belum menyediakan antarmuka yang ramah pengguna bagi petani, sehingga kurang dapat diimplementasikan secara langsung di lapangan. Terakhir, masih jarang penelitian yang melakukan validasi sistem di berbagai wilayah dengan kondisi geografis berbeda untuk memastikan akurasi dan relevansi hasil rekomendasi [13].

Tujuan Penelitian

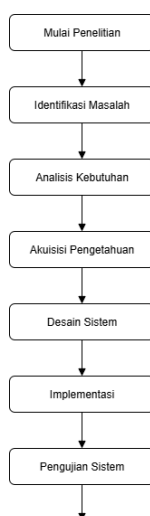
1. Penelitian ini bertujuan untuk:

2. Mengembangkan sistem pakar berbasis forward chaining yang mampu memberikan rekomendasi budidaya empat jenis tanaman buah tropis, yaitu buah naga, alpukat, pepaya, dan durian, berdasarkan parameter geografis lahan.
3. Mengintegrasikan lima parameter utama (ketinggian, suhu udara, pH tanah, curah hujan, dan jenis tanah) secara terpadu dalam pengambilan keputusan budidaya.
4. Menyediakan platform berbasis web yang mudah diakses dan ramah pengguna, sehingga dapat dimanfaatkan langsung oleh petani maupun penyuluh pertanian.
5. Melakukan validasi sistem melalui uji coba di dua wilayah dengan karakteristik berbeda, yaitu Sidoarjo (dataran rendah) dan Pacet (dataran tinggi), guna memastikan relevansi dan akurasi hasil rekomendasi.

Dengan adanya pengembangan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam bidang pertanian presisi, khususnya dalam membantu petani mengambil keputusan budidaya berbasis data yang lebih ilmiah. Selain memberikan manfaat praktis dalam mencegah risiko gagal panen dan meningkatkan produktivitas, penelitian ini juga berpotensi memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan sistem pakar multi-komoditas di sektor pertanian. Lebih jauh lagi, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi teknologi sensorik berbasis IoT dan pemetaan spasial, sehingga mendukung transformasi pertanian Indonesia menuju era digital yang lebih adaptif, cerdas, dan berkelanjutan.

II. METODE

Penelitian Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan metode System Development Life Cycle (SDLC) model Waterfall. Model ini dipilih karena sesuai untuk sistem dengan kebutuhan yang sudah jelas sejak awal. Tahapan model waterfall disajikan pada Gambar 1, yang menunjukkan alur kerja mulai dari identifikasi masalah, analisis kebutuhan, akuisisi pengetahuan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga pemeliharaan sistem.



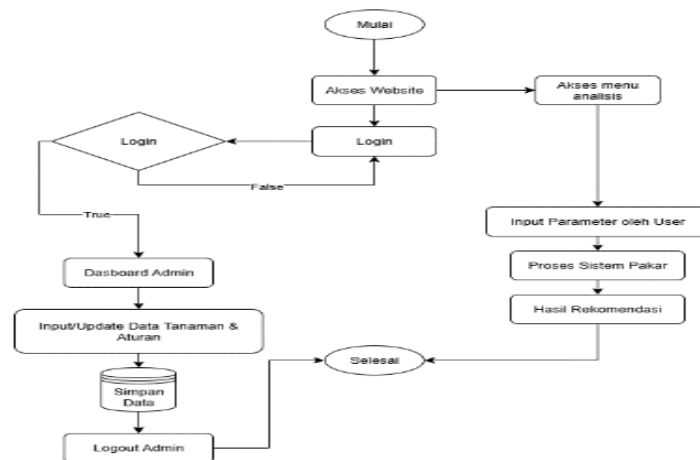
Gambar 1. Alur Pengembangan Sistem Model Waterfall

Gambar 1. Menunjukkan alur penelitian yang diawali dengan identifikasi masalah dan analisis kebutuhan, dilanjutkan dengan akuisisi pengetahuan sebagai dasar dalam merancang sistem. Setelah desain sistem dibuat, tahap berikutnya adalah implementasi dan diakhiri dengan pengujian untuk memastikan sistem berjalan sesuai tujuan penelitian.

Tahap awal penelitian adalah identifikasi masalah. Hasil observasi di lapangan menunjukkan bahwa petani di wilayah Sidoarjo (dataran rendah) dan Pacet (dataran tinggi) masih menggunakan cara tradisional dalam menentukan jenis tanaman yang akan dibudidayakan, tanpa memperhatikan parameter geografis yang memengaruhi kesesuaian lahan. Permasalahan ini menjadi dasar perlunya sistem pakar yang dapat membantu pengambilan keputusan berbasis data.

Tahap berikutnya adalah analisis kebutuhan, yang mencakup kebutuhan pengguna dan kebutuhan sistem. Dari sisi pengguna, sistem harus dapat menerima input berupa parameter lahan seperti ketinggian, suhu, pH tanah, curah hujan,

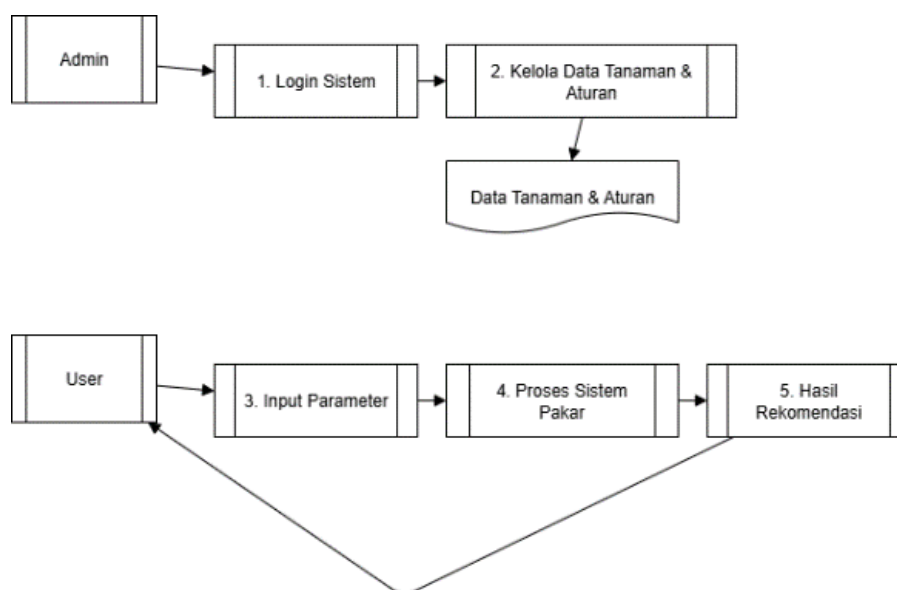
dan jenis tanah, kemudian menghasilkan output berupa rekomendasi tanaman buah tropis (buah naga, alpukat, pepaya, dan durian). Dari sisi sistem, rancangan harus mendukung platform berbasis web agar dapat diakses baik melalui komputer maupun perangkat seluler. Proses alur kerja sistem digambarkan dalam Flowchart Proses pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Proses Sistem

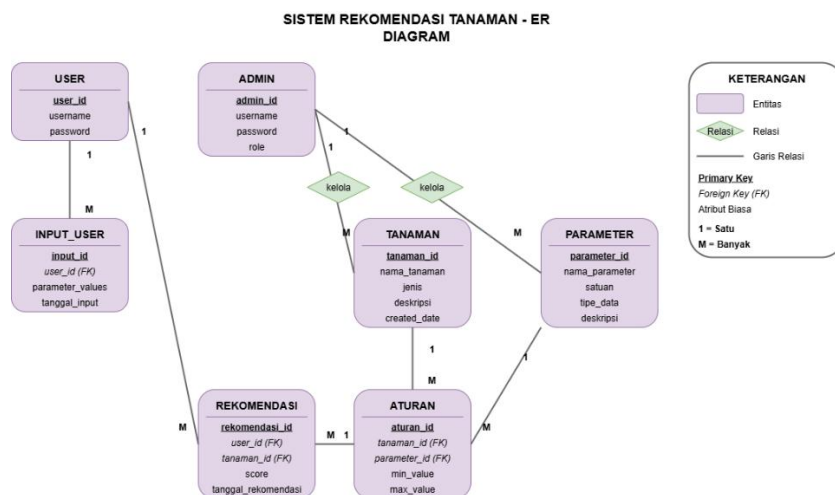
Gambar 2. Menunjukkan alur kerja sistem yang diawali dari akses website, di mana pengguna dapat melakukan login sebagai admin maupun langsung menuju menu analisis. Admin yang berhasil login diarahkan ke dashboard untuk menginput atau memperbarui data tanaman dan aturan, kemudian menyimpan data sebelum keluar melalui menu logout. Sementara itu, pengguna umum dapat langsung memasukkan parameter pada menu analisis, yang selanjutnya diproses oleh sistem pakar untuk menghasilkan rekomendasi. Seluruh rangkaian aktivitas baik dari sisi admin maupun pengguna berakhir pada tahap selesai.

Setelah itu dilakukan akuisisi pengetahuan untuk menyusun basis pengetahuan sistem. Pengetahuan diperoleh melalui wawancara dengan petani berpengalaman dan penyuluh pertanian, studi literatur dari jurnal dan buku agronomi, serta analisis dokumen teknis. Pengetahuan tersebut kemudian diformulasikan dalam bentuk aturan IF–THEN yang akan digunakan dalam proses inferensi. Struktur aliran data sistem divisualisasikan dalam Data Flow Diagram (DFD) pada Gambar 3, sedangkan hubungan antar entitas seperti pengguna, parameter, aturan, dan hasil rekomendasi dijelaskan dalam Entity Relationship Diagram (ERD) pada Gambar 4.



Gambar 3. Data Flow Diagram (DFD) Sistem Pakar

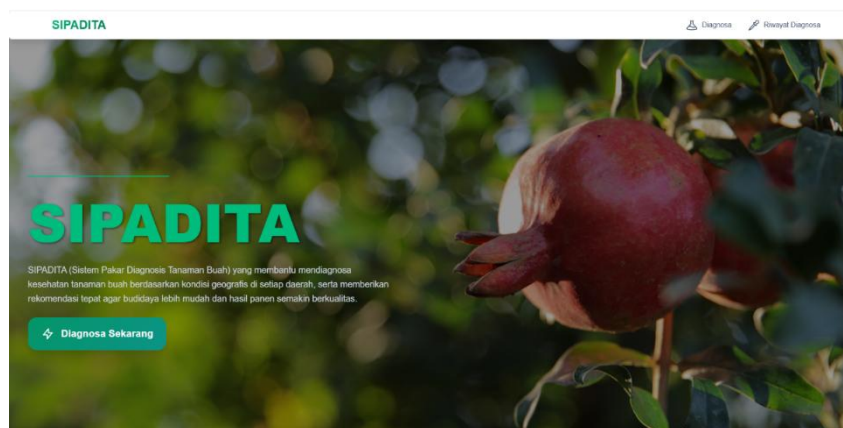
Gambar 3. Menggambarkan mekanisme kerja sistem pakar yang melibatkan dua aktor utama, yaitu admin dan user. Admin bertugas melakukan login untuk mengelola data tanaman serta aturan yang menjadi basis pengetahuan sistem, sedangkan user memasukkan parameter sesuai kebutuhan analisis. Data yang telah dikelola admin kemudian diproses oleh sistem pakar berdasarkan input dari user, sehingga menghasilkan rekomendasi yang relevan.)



Gambar 4. Entity Relationship Diagram (ERD) Sistem Pakar.

Gambar 4. Entity Relationship Diagram (ERD) pada Gambar di atas menggambarkan struktur basis data sistem rekomendasi tanaman yang terdiri dari beberapa entitas utama, yaitu User, Admin, Tanaman, Parameter, Aturan, Input User, dan Rekomendasi. Admin berperan dalam mengelola data tanaman dan parameter yang menjadi dasar pembentukan aturan, sedangkan user berinteraksi dengan sistem melalui input parameter. Data yang dimasukkan user diproses berdasarkan aturan yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan rekomendasi dalam bentuk skor. Relasi antar entitas ditunjukkan dengan kardinalitas satu ke banyak, yang merepresentasikan keterkaitan data secara logis dan terstruktur untuk mendukung kinerja system [14] .

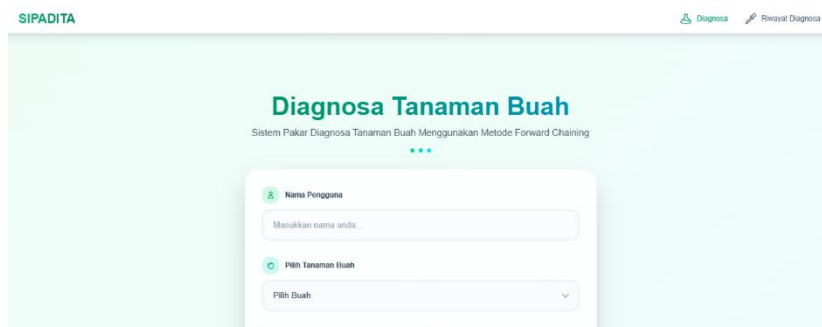
Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang meliputi desain arsitektur, basis data, serta antarmuka pengguna. Antarmuka dirancang agar intuitif dan mudah dipahami oleh petani maupun penyuluh pertanian. Gambar 5 menampilkan halaman awal (Landing Page) yang berfungsi sebagai pintu masuk system [15]. Gambar 6 memperlihatkan halaman login, yang memungkinkan pengguna maupun admin mengakses sistem sesuai hak akses masing-masing. Setelah masuk, pengguna diarahkan pada Dashboard Admin yang ditampilkan pada Gambar 7, yang berfungsi untuk mengelola data aturan dan tanaman. Selanjutnya, Gambar 8 menunjukkan Form Input Parameter Geografis, di mana pengguna dapat memasukkan kondisi lahan yang dimiliki. Berdasarkan data yang dimasukkan,



sistem akan melakukan proses inferensi dan menampilkan Halaman Hasil Rekomendasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9

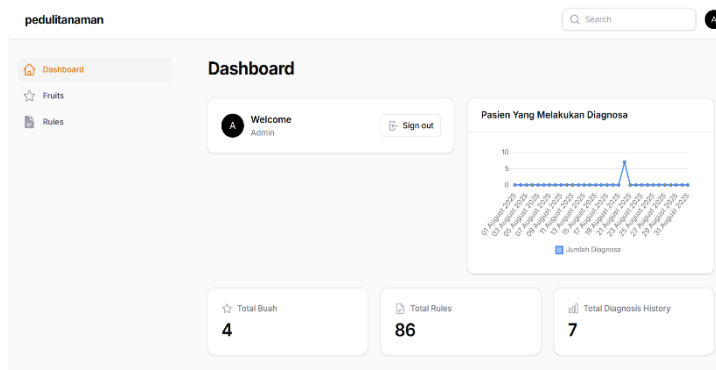
Gambar 5. Halaman Landing Page Sistem Pakar

Gambar 5. Merupakan tampilan awal sistem SIPADITA (Sistem Pakar Diagnosa Tanaman Buah) yang dirancang untuk membantu mendiagnosis kesehatan tanaman buah berdasarkan kondisi geografis di setiap daerah. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat langsung melakukan diagnosis maupun melihat riwayat diagnosis sebelumnya. Fitur yang disediakan bertujuan memberikan rekomendasi yang tepat sehingga proses budidaya menjadi lebih mudah dan hasil panen yang diperoleh dapat lebih optimal serta berkualitas.



Gambar 6. Halaman Login Sistem Pakar

Gambar 6. Memperlihatkan tampilan antarmuka fitur Diagnosa Tanaman Buah pada sistem SIPADITA yang menggunakan metode forward chaining. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk memasukkan nama serta memilih jenis tanaman buah yang akan dianalisis. Desain antarmuka yang sederhana dan interaktif ini memudahkan pengguna dalam melakukan input data sebagai langkah awal proses diagnosis untuk memperoleh rekomendasi terkait kondisi Kesehatan tanaman

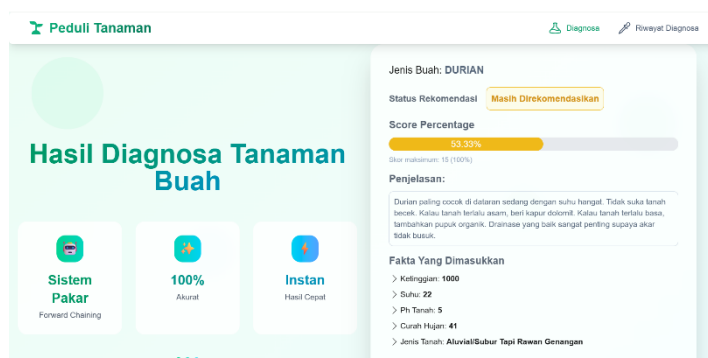


Gambar 7. Dashboard Admin Sistem Pakar

Gambar 7. Menunjukkan tampilan dashboard admin pada sistem SIPADITA yang berfungsi sebagai pusat kendali dalam pengelolaan data. Melalui dashboard ini, admin dapat memantau jumlah buah yang terdaftar, total aturan yang digunakan dalam sistem, serta riwayat diagnosis yang telah dilakukan. Selain itu, tersedia grafik yang menampilkan jumlah pengguna yang melakukan diagnosis dalam rentang waktu tertentu, sehingga memudahkan admin dalam memantau aktivitas sistem secara keseluruhan.

Gambar 8. Form Input Parameter Geografis

Gambar 8. Menunjukkan antarmuka dari sebuah sistem diagnosis yang dirancang untuk menentukan kecocokan tanaman buah berdasarkan parameter lingkungan dan kondisi tanah. Pengguna diminta untuk mengisi sejumlah data, seperti jenis tanaman buah yang akan ditanam, ketinggian tempat (mdpl), suhu udara (°C), pH tanah, curah hujan (mm), serta jenis tanah. Setelah semua parameter diisi, pengguna dapat menekan tombol "Diagnosa Sekarang" untuk memperoleh hasil analisis. Antarmuka ini dirancang secara intuitif untuk memudahkan pengguna dalam menginput data agronomis secara cepat dan akurat.



Gambar 9. Halaman Hasil Rekomendasi Tanaman

Gambar 9. Menampilkan hasil diagnosis dari sistem pakar "Peduli Tanaman" terhadap kecocokan tanaman buah durian berdasarkan data lingkungan dan tanah yang diinput. Sistem memberikan status "Masih Direkomendasikan" dengan skor kecocokan sebesar 53,33%, menunjukkan bahwa kondisi yang ada masih mendukung pertumbuhan durian meskipun tidak ideal. Penjelasan sistem menyebutkan bahwa durian cocok ditanam di suhu hangat, tanah yang tidak becek, dan memiliki drainase baik, serta menyarankan penggunaan pupuk organik. Informasi input meliputi ketinggian 1000 mdpl, suhu 22°C, pH tanah 5, curah hujan 41 mm, dan jenis tanah aluvial/subur namun rawan genangan.

Tahap implementasi sistem dilakukan dengan membangun aplikasi berbasis web menggunakan bahasa pemrograman Python dengan framework Flask sebagai backend, sedangkan frontend menggunakan HTML5, CSS3, dan JavaScript. Basis data dikelola menggunakan MySQL untuk menyimpan data aturan, parameter, dan hasil rekomendasi. Implementasi ini dirancang agar platform-independent, sehingga dapat diakses dari berbagai perangkat dengan mudah.

Selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk memastikan fungsionalitas berjalan sesuai yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan metode Black-Box Testing, yang berfokus pada input dan output sistem. Selain itu, dilakukan validasi pakar dengan membandingkan hasil rekomendasi sistem dengan pendapat penyuluh pertanian. Uji coba lapangan juga dilakukan di dua lokasi berbeda, yaitu Sidoarjo dan Pacet, untuk melihat kesesuaian hasil

rekomendasi dengan kondisi nyata. Evaluasi akurasi dihitung berdasarkan kesesuaian rekomendasi dengan data faktual, dengan target minimal 85%.

Tahap terakhir adalah pemeliharaan sistem, yang mencakup pembaruan basis pengetahuan, penyesuaian aturan, dan pengembangan fitur tambahan. Sistem dirancang fleksibel sehingga di masa mendatang dapat diperluas dengan menambahkan jenis tanaman baru atau diintegrasikan dengan teknologi pertanian presisi, seperti sensor IoT yang memungkinkan input data secara otomatis dan real-time.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pakar berbasis metode forward chaining yang dirancang untuk memberikan rekomendasi budidaya tanaman buah tropis, khususnya alpukat, buah naga, pepaya, dan durian. Sistem ini diimplementasikan dengan arsitektur client-server yang terdiri atas tiga komponen utama: antarmuka pengguna (user interface), mesin aplikasi (application engine), dan mesin inferensi beserta basis pengetahuan (inference engine & knowledge base).

Antarmuka pengguna dibangun menggunakan teknologi web modern (HTML, CSS, dan JavaScript) agar responsif dan mudah diakses baik melalui komputer maupun perangkat seluler. Fungsinya adalah sebagai jembatan antara pengguna dengan sistem, di mana petani atau penyuluh dapat memasukkan parameter kondisi lahan untuk kemudian diproses lebih lanjut. Mesin aplikasi berjalan di sisi server dengan framework Flask berbasis Python yang bertugas mengelola alur logika dan menghubungkan antarmuka dengan mesin inferensi. Adapun mesin inferensi adalah inti dari sistem yang bekerja menggunakan metode forward chaining untuk menalar data yang diberikan pengguna berdasarkan aturan produksi (production rules) yang tersimpan di dalam basis pengetahuan.

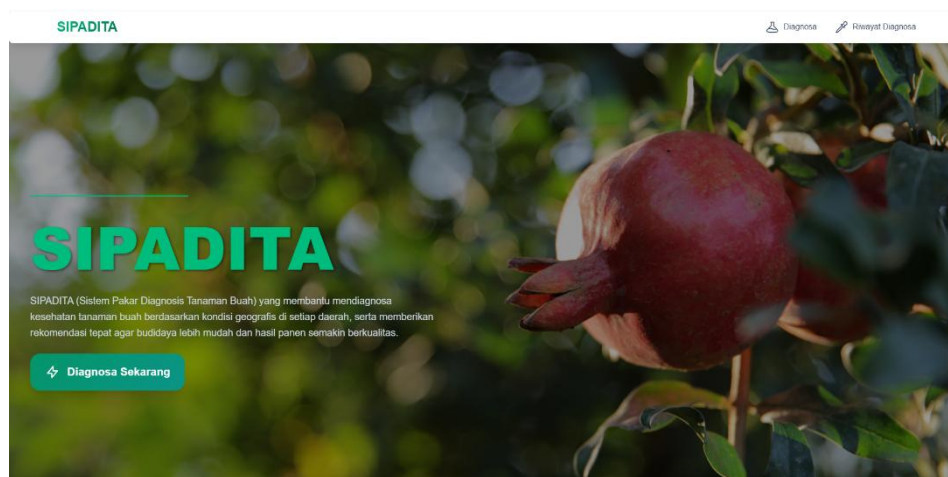
Basis pengetahuan berisi aturan IF-THEN yang diformulasikan dari literatur ilmiah dan hasil wawancara dengan pakar pertanian. Misalnya, aturan untuk alpukat dirumuskan sebagai berikut:

IF ketinggian 500–1500 mdpl, suhu 15–25°C, pH tanah 5,5–6,5, curah hujan 1000–2500 mm, dan jenis tanah gembur atau lempung berpasir

THEN rekomendasi tanaman = alpukat.

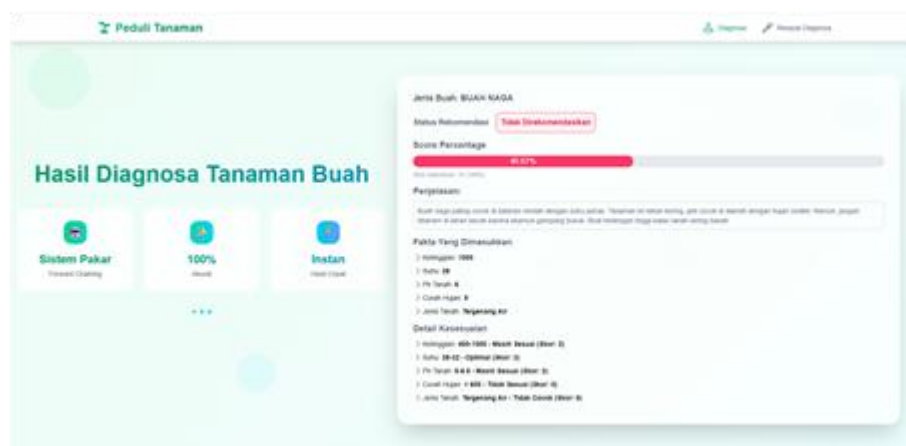
Aturan serupa juga dibuat untuk buah naga, pepaya, dan durian, sehingga setiap input pengguna dapat dipetakan ke dalam rekomendasi yang sesuai.

Implementasi sistem ini menghasilkan beberapa halaman penting, yaitu halaman input, halaman hasil rekomendasi, halaman riwayat diagnosa, serta dashboard admin. Halaman input memungkinkan pengguna memasukkan lima parameter geografis lahan (ketinggian, suhu, pH tanah, curah hujan, dan jenis tanah). Setelah itu, sistem akan memproses data dengan mesin inferensi dan memberikan hasil berupa rekomendasi tanaman.



Gambar 1. Halaman Input Parameter Geografis

Gambar 1. Menampilkan formulir input untuk memasukkan data ketinggian, suhu, pH tanah, curah hujan, dan jenis tanah.



Gambar 2. Halaman Hasil Rekomendasi

Gambar 2. Menampilkan contoh hasil diagnosa, misalnya rekomendasi buah naga, disertai skor kesesuaian masing-masing parameter dan penjelasan singkat mengenai kondisi yang mendukung maupun menghambat pertumbuhan tanaman.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan halaman riwayat diagnosa yang menyimpan semua hasil analisis pengguna. Riwayat ini penting untuk melakukan perbandingan kondisi lahan dari waktu ke waktu atau antar lokasi berbeda. Bagi admin, disediakan dashboard untuk menambah, memperbarui, atau menghapus data tanaman dan aturan.

Nama Pengguna	Buah	Ketinggian	Suhu	pH Tanah	Curah Hujan	Jenis Tanah	Skor Total	Status
Admin	Buah Naga	1000 Mpa	28 °C	5 pH	8 mm	Tergantung Air	40.00 %	Tidak Cocoknya
Ali	Apel	500 Mpa	22 °C	6.5 pH	200 mm	Lat Berpasir	40.00 %	Masih Cocoknya
Admin	Jeruk	1000 Mpa	32 °C	5 pH	80 mm	Musim/Tanah Tergantung	50.00 %	Masih Cocoknya
Lulu, Ben	Apel	300 Mpa	22 °C	4 pH	2000 mm	Lat Berpasir	40.00 %	Tidak Cocoknya
Baharudin Sudaryo Harnadhar	Buah Naga	200 Mpa	26 °C	12 pH	20 mm	Musim/Tanah Tergantung	40.00 %	Tidak Cocoknya
Abdulkadir	Buah Naga	1000 Mpa	14 °C	8 pH	1000 mm	Tergantung Air	40.00 %	Tidak Cocoknya
Ali	Pisang	1000 Mpa	11 °C	120 pH	80 mm	Tergantung Air	10.00 %	Tidak Cocoknya

Gambar 3. Halaman Riwayat Diagnosa

Gambar 3. Menampilkan tabel berisi nama pengguna, parameter yang dimasukkan, hasil rekomendasi, dan skor persentase kesesuaian.

Dengan demikian, tahap implementasi sistem menunjukkan bahwa rancangan yang telah dibuat pada metodologi benar-benar dapat diwujudkan dalam bentuk aplikasi web yang interaktif, fungsional, dan ramah pengguna. Selanjutnya, agar efektivitas sistem dapat terukur secara objektif, diperlukan proses pengujian yang menjadi fokus pada subbab berikutnya.

B. Pengujian dan Analisis Sistem

Setelah sistem berhasil diimplementasikan, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai fungsinya. Pengujian dilakukan dengan metode Black Box Testing, yang menekankan pada kesesuaian output terhadap input tanpa meninjau kode internal. Dengan pendekatan ini, sistem diuji layaknya digunakan langsung oleh petani atau penyuluh, sehingga hasil pengujian merefleksikan fungsi nyata di lapangan.

Enam skenario pengujian dirancang untuk mencakup kondisi ideal, kondisi tumpang tindih, hingga kondisi ekstrem di mana tidak ada satu pun aturan yang terpenuhi. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Fungsional Sistem Paka

ID Tes	Skenario Input	Hasil Diharapkan	Hasil Sistem	Status
TC-01	Ketinggian 1000, Suhu 22, pH 6.0, Curah Hujan 2000, Tanah Gembur	Alpukat	Alpukat	Valid
TC-02	Ketinggian 50, Suhu 30, pH 6.5, Curah Hujan 1500, Tanah Lempung Berpasir	Buah Naga	Buah Naga	Valid
TC-03	Ketinggian 600, Suhu 28, pH 6.2, Curah Hujan 1800, Tanah Lempung	Durian	Durian	Valid
TC-04	Ketinggian 400, Suhu 28, pH 6.0, Curah Hujan 1600, Tanah Gembur	Pepaya	Pepaya	Valid
TC-05	Ketinggian 450, Suhu 29, pH 6.5, Curah Hujan 1700, Tanah Lempung Berpasir	Buah Naga	Buah Naga	Valid
TC-06	Ketinggian 1600, Suhu 14, pH 5.0, Curah Hujan 3500, Tanah Pasir	Tidak Ada Rekomendasi	Tidak Ada Rekomendasi	Valid

. Analisis dari tabel menunjukkan bahwa seluruh skenario menghasilkan status valid. Pada kondisi ideal (TC-01 sampai TC-04), sistem dapat memberikan rekomendasi yang sesuai dengan parameter optimal masing-masing tanaman. Pada kondisi tumpang tindih (TC-05), sistem tetap mampu memberikan rekomendasi dominan sesuai aturan yang paling kuat. Sementara itu, pada kondisi ekstrem (TC-06), sistem tidak memberikan rekomendasi, sehingga mencegah kesalahan penentuan tanaman.

Hasil ini membuktikan bahwa metode forward chaining sangat efektif dalam mengolah data berbasis aturan. Proses penalaran yang dimulai dari fakta (input pengguna) menuju kesimpulan (rekomendasi tanaman) berjalan cepat dan akurat. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk bekerja dengan pendekatan data-driven, sehingga sangat sesuai untuk kasus rekomendasi berbasis parameter geografis.

Namun demikian, penelitian ini juga memiliki keterbatasan. Pertama, cakupan sistem masih terbatas pada empat jenis tanaman, padahal masih banyak buah tropis lain yang berpotensi dikembangkan. Kedua, parameter geografis yang digunakan hanya lima variabel, sementara faktor lain seperti kandungan hara tanah (N, P, K), riwayat hama, maupun aspek ekonomi belum dipertimbangkan. Ketiga, sistem masih bergantung pada input manual dari pengguna, sehingga akurasi sangat bergantung pada ketepatan pengukuran lapangan.

Meskipun terdapat keterbatasan tersebut, implikasi dari penelitian ini cukup signifikan. Sistem ini dapat menjadi alat bantu pengambilan keputusan yang praktis dan mudah digunakan oleh petani, sekaligus membuka peluang pengembangan ke arah pertanian presisi. Integrasi dengan sensor IoT di masa depan akan memungkinkan sistem bekerja dengan data real-time sehingga hasil rekomendasi semakin akurat.

Sebagai penutup, dapat ditegaskan bahwa pengujian sistem ini menunjukkan keberhasilan implementasi metode forward chaining dalam konteks pertanian tropis. Dengan dukungan basis pengetahuan yang terstruktur, sistem mampu menjadi jembatan antara ilmu agronomi dan kebutuhan praktis petani, sehingga berpotensi besar membantu meningkatkan efisiensi budidaya serta mengurangi risiko gagal panen.

VII. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pakar berbasis metode forward chaining untuk rekomendasi budidaya tanaman buah tropis (alpukat, buah naga, pepaya, dan durian) dengan memanfaatkan parameter geografis lahan berupa ketinggian, suhu, pH tanah, curah hujan, dan jenis tanah. Implementasi sistem berbasis web menunjukkan bahwa rancangan arsitektur, basis pengetahuan, serta antarmuka pengguna dapat diwujudkan secara fungsional dan mudah digunakan.

Hasil pengujian menggunakan metode Black Box Testing menunjukkan seluruh skenario uji (TC-01 hingga TC-06) memberikan keluaran valid sesuai aturan dalam basis pengetahuan. Hal ini membuktikan bahwa metode forward chaining mampu bekerja secara efektif untuk menarik kesimpulan berbasis data input yang dimasukkan pengguna.

Secara praktis, sistem ini berpotensi membantu petani maupun penyuluh pertanian dalam mengambil keputusan budidaya yang lebih tepat, ilmiah, dan efisien. Namun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan, yaitu lingkup tanaman dan parameter yang terbatas serta ketergantungan pada input manual. Oleh karena itu, pengembangan di masa depan perlu diarahkan pada perluasan cakupan komoditas, integrasi parameter tambahan, serta pemanfaatan teknologi sensor IoT agar sistem lebih adaptif dan akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas dukungan fasilitas dan bimbingan yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para peserta penelitian dan pakar pertanian yang telah meluangkan waktu serta berbagi pengetahuan berharga dalam proses pengumpulan data. Penulis menghargai masukan dan dorongan dari dosen pembimbing serta rekan sejawat yang turut membantu dalam penyempurnaan penelitian ini. Akhir kata, penulis menyampaikan penghargaan tulus kepada keluarga dan orang terdekat, dukungan, serta motivasi yang senantiasa diberikan hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] C. G. PPPK, “Letak Indonesia Pengaruhnya Terhadap Potensi Sumberdaya Alam,” pp. 1–46, 2019.
- [2] Prof. Dr. H. Zulkarnain, *TROPIS, BUDIDAYA BUAH-BUAHAN*, vol. 3, no. 1. 2015.
- [3] Badan Pusat Statistik, *POTENSI PERTANIAN INDONESIA*, vol. 3, no. 1. 2015.
- [4] B. 1: Purwanto *et al.*, *PERMODELAN LINGKUNGAN: TEORI DAN APLIKASI*, no. February. 2021.
- [5] M. A. Agmalaro, A. Kustiyo, A. Rahmad, and A. Abstrak, “Identifikasi Tanaman Buah Tropika Berdasarkan Tekstur Permukaan Daun Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan,” *Ilmu Komputer Agri-Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 73–82, 2014.
- [6] O. Klau, “Khasiat *Hylocereus Polyrhizus* atau Buah Naga Merah,” 2023.
- [7] B. PERMANA, “EVALUASI KESESUAIAN LAHAN UNTUK TANAMAN BUAH NAGA (*Hylocereus polyrhizus*) DI KECAMATAN BATANG KUIS KABUPATEN DELI SERDANG PROVINSI SUMATERA UTARA,” 2024.
- [8] Budidaya Pertanian: ALPUKAT / AVOKAD. Kantor Deputy Menegristek Bidang Pendayagunaan dan Pemasyarakatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, “SYARAT PERTUMBUHAN ALPUKAT / AVOKAD (*Persea americana* Mill / *Persea gratissima* Gaerth),” 2012.
- [9] R. Khasanah, B. F. Wahidah, N. Hayati, Miswari, and I. Kamal, “Etnobotani Tumbuhan Pepaya (*Carica papaya* L.) di Kecamatan Moga Kabupaten Pemalang,” *Jurnal Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar*, no. September, pp. 363–371, 2020.
- [10] A. Egasari, D. Puspitaningrum, and P. Prawito, “SISTEM PAKAR IDENTIFIKASI KESESUAIAN LAHAN UNTUK TANAMAN PERKEBUNAN DI PROVINSI BENGKULU DENGAN METODE BAYES DAN INFERENSI FORWARD CHAINING,” *Jurnal Rekursif*, vol. 5, no. 2, pp. 134–146, 2019.
- [11] Ullya Mega Wahyuni, “Penerapan Sistem Pakar Dalam Pengembangan Budidaya Padi Teknologi Salibu Dengan Metode Forward Chaining,” *Majalah Ilmiah UPI YPTK*, vol. 25, no. 1, pp. 88–98, 2019, doi: 10.35134/jmi.v25i1.35.
- [12] M. Manuhutu, A. Manuhutu, and L. J. Uktolseja, “Implementasi Metode Forward Chaining Pada Pengembangan Sistem Pakar Tani Tanaman Buah Naga,” *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 3, no. 4, pp. 1–9, 2025, doi: 10.31004/riggs.v3i4.363.
- [13] A. Mukminin, “ANALISIS DAN PERANCANGAN MODEL FUZZY UNTUK SISTEM PAKAR PENDETEKSI TINGKAT KESUBURAN TANAH DAN JENIS TANAMAN,” *Jurnal Teknologi Informasi*.
- [14] F. Dwi Saputra and H. Mustafidah, “Sistem Pakar Menentukan Tingkat Kecocokan Lahan Untuk Tanaman Jati Menggunakan Metode Forward Chaining (The Expert System Determine About Fitting Grade Of The Field For Tectonic Grandis By Forward Chaining Methode),” 2016.

- [15] M. I. Pati, S. Defit, and G. W. Nurcahyo, “Sistem Pakar dengan Metode Forward Chaining untuk Diagnosis Penyakit dan Hama Tanaman Semangka,” *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, pp. 102–107, Dec. 2020, doi: 10.37034/jsisfotek.v2i4.30.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.