

SISTEM PAKAR DIAGNOSIS KONDISI KOLONI LEBAH MADU (*APIS CERANA*) MENGGUNAKAN METODE *CERTAINTY FACTOR*

*Expert System for Diagnosis of Honey Bee Colony Conditions (Apis Cerana) Using
Certainty Factor Method*

Ukhti Salsabila*¹, Agus Sidiq Purnomo²

^{1,2}Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Mercu Buana
Yogyakarta

E-mail: ¹221110006@student.mercubuana-yogya.ac.id, ²sidiq@mercubuana-yogya.ac.id

Abstrak

Budidaya lebah madu *Apis cerana* di Indonesia menghadapi kendala utama berupa keterbatasan akses peternak terhadap pakar perlebah untuk mendiagnosis kondisi koloni secara cepat dan tepat. Proses diagnosis manual yang dilakukan secara subjektif menimbulkan ketidakpastian karena satu gejala dapat mengarah pada beberapa kemungkinan kondisi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar berbasis web menggunakan metode *Certainty Factor* (CF) untuk mendiagnosis kondisi koloni lebah madu *Apis cerana*. Metodologi penelitian mengacu pada *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC) yang terdiri dari empat tahapan: intelegensi, desain, pemilihan, serta implementasi. Basis pengetahuan yang dihasilkan terdiri dari 15 gejala, 5 kondisi koloni, 5 aturan IF-THEN, dan matriks nilai CF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pakar yang dikembangkan memiliki akurasi 100% pada pengujian 20 sampel koloni dibandingkan dengan diagnosis pakar. Seluruh fungsi sistem berjalan sesuai spesifikasi berdasarkan pengujian black box terhadap sembilan skenario. Sistem menampilkan ranking diagnosis beserta tingkat keyakinan dalam bentuk persentase dan menyediakan fitur detail perhitungan CF Combine untuk transparansi proses diagnosis. Hasil validasi pakar menyatakan bahwa sistem layak digunakan sebagai alat bantu diagnosis. Sistem ini memberikan solusi praktis bagi peternak di berbagai lokasi untuk mendiagnosis kondisi koloni secara mandiri, cepat, dan terstandarisasi.

Kata kunci: Sistem Pakar, *Certainty Factor*, *Apis Cerana*, Sistem Berbasis Web, Diagnosis Kondisi Koloni

Abstract

Apis cerana honey bee cultivation in Indonesia faces a major constraint of limited access to expert apiculturists for fast and accurate colony condition diagnosis. The manual and subjective diagnostic process creates uncertainty because one symptom can indicate multiple possible conditions. This research aims to develop a web-based expert system using the *Certainty Factor* (CF) method to diagnose *Apis cerana* honey bee colony conditions. The research methodology follows the *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC) consisting of four stages: intelligence, design, selection, and implementation. The resulting knowledge base consists of 15 symptoms, 5 colony conditions, 5 IF-THEN rules, and a CF value matrix. The results show that the developed expert system achieved 100% accuracy when tested on 20 colony samples compared to expert diagnosis. All system functions performed according to specifications based on black box testing of nine scenarios. The system displays diagnostic ranking with confidence levels in percentages and provides a CF Combine calculation detail feature for diagnostic process transparency. Expert validation results state that the system is feasible for use as a diagnostic tool. This system provides a practical solution for farmers in

various locations to diagnose colony conditions independently, quickly, and in a standardized manner.

Keywords: Expert System, Certainty Factor, Apis cerana, Web-Based System, Colony Condition Diagnosis

1. PENDAHULUAN

Lebah madu *Apis cerana* merupakan spesies lebah asli Asia yang banyak dibudidayakan di Indonesia karena lebih adaptif terhadap kondisi tropis dan tahan terhadap serangan hama dan penyakit[1]. Keberhasilan budidaya lebah madu sangat dipengaruhi oleh kondisi koloni yang meliputi kesehatan ratu, keberadaan hama, kondisi cuaca, serta aktivitas lebah pekerja[2].

Terbatasnya akses terhadap pakar perlembahan menjadi kendala utama bagi peternak, terutama di daerah terpencil. Pakar yang memiliki pengetahuan mendalam tentang diagnosis kondisi koloni umumnya hanya terdapat di beberapa lokasi dengan jumlah terbatas[2]. Akibatnya, peternak kesulitan berkonsultasi ketika koloni mengalami masalah[3].

Selain akses terbatas, proses diagnosis yang masih manual dan subjektif menjadi masalah serius. Peternak mengandalkan pengalaman tanpa acuan sistematis, sehingga hasil diagnosis bervariasi dan sering tidak akurat. Ketidakpastian ini muncul karena satu gejala dapat mengarah pada beberapa kemungkinan kondisi, misalnya penurunan aktivitas lebah dapat disebabkan oleh hama, kekurangan pakan, atau pengaruh cuaca[4].

Faktanya, belum tersedianya sistem berbasis teknologi yang dapat membantu peternak dalam mendiagnosis kondisi koloni secara mandiri, cepat, dan terstandarisasi masih menjadi kendala besar. Saat ini, belum ada sistem terstruktur yang dapat diakses oleh peternak untuk melakukan diagnosis awal kondisi koloni tanpa harus menunggu kehadiran pakar[3]. Padahal, teknologi sistem pakar telah terbukti mampu menjadi solusi praktis dalam merawat dan memperbaiki kerusakan yang terjadi akibat hama dan penyakit pada budidaya lebah madu *Apis cerana* [1][3].

Perkembangan terkini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan dan sistem berbasis pengetahuan semakin banyak diterapkan dalam diagnosis kesehatan lebah madu. Tinjauan sistematis tentang teknologi smart beehive menganalisis 135 publikasi tentang integrasi IoT, sensor, dan machine learning untuk deteksi dini penyakit [5]. Sistem peringatan dini berbasis AI juga telah dikembangkan menggunakan integrasi sensor digital dan environmental DNA [6]. Selain itu, pendekatan multimodal untuk deteksi objek dan penilaian kesehatan lebah madu juga menunjukkan hasil yang menjanjikan [7].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang sistem pakar untuk mendiagnosis kondisi koloni lebah madu (*Apis cerana*) berdasarkan pengetahuan pakar, (2) menerapkan metode *Certainty Factor* dalam proses diagnosis untuk menangani ketidakpastian gejala, dan (3) membangun sistem berbasis *web* yang mampu memberikan hasil diagnosis kondisi koloni beserta tingkat keyakinannya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Bahan Penelitian

Objek penelitian adalah koloni lebah madu *Apis cerana* yang dibudidayakan di peternakan lebah. Unit analisis adalah satu kotak sarang yang berisi satu koloni lengkap, terdiri dari ratu lebah, lebah pekerja, dan lebah jantan[2]. Data penelitian

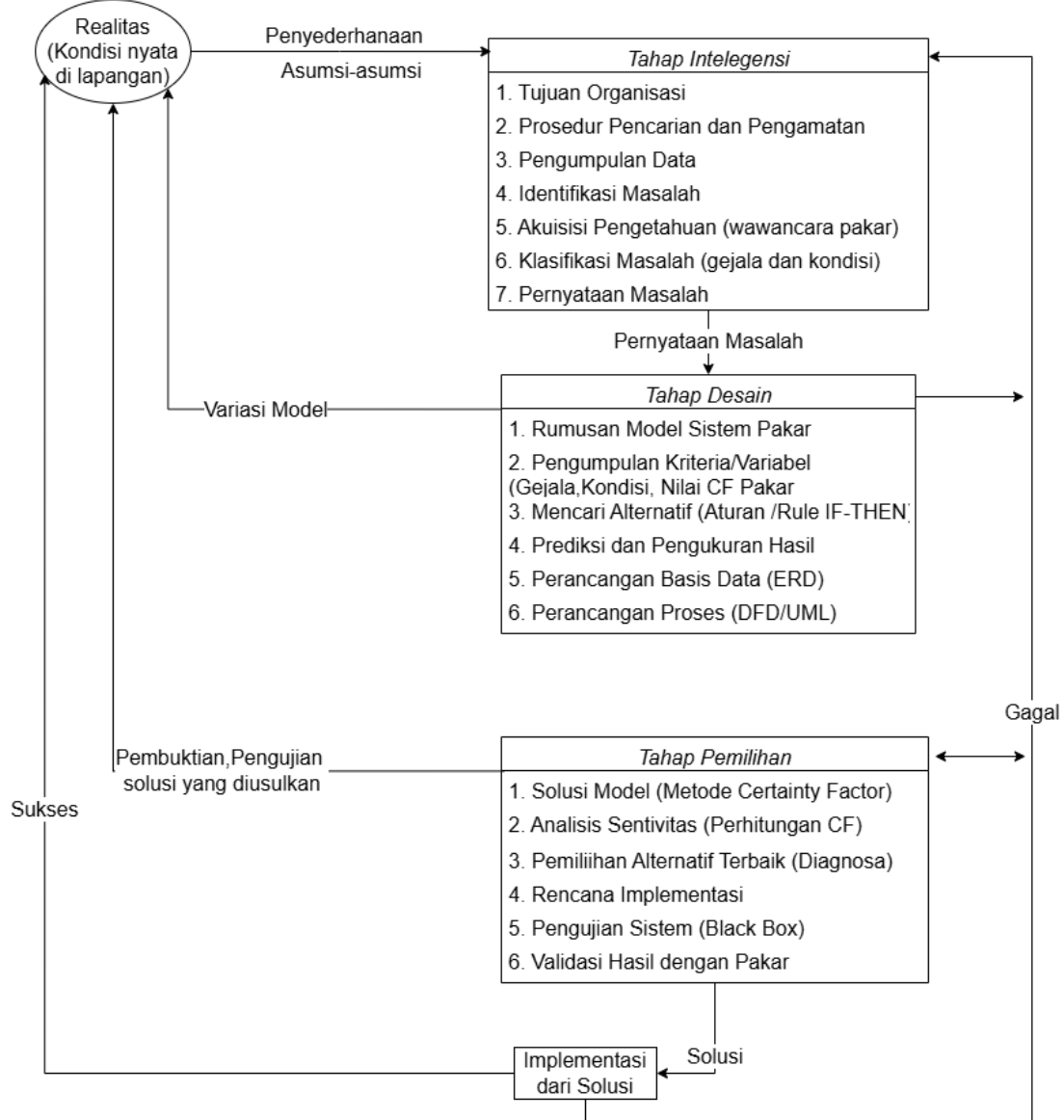
terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung pada 20 koloni lebah madu *Apis cerana*. Setiap koloni diamati secara visual dan dicatat keberadaan 15 gejala yang telah ditetapkan. Data sekunder diperoleh melalui wawancara dan konsultasi dengan pakar perlebah, observasi lapangan, serta studi kepustakaan dari jurnal dan buku terkait[8][9].

2.2. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat keras berupa laptop dengan spesifikasi yang memadai untuk menjalankan lingkungan pengembangan *web*. Perangkat lunak yang digunakan meliputi sistem operasi *Windows*, XAMPP (Apache, MySQL, PHP) sebagai *web server* dan *database server*, Visual Studio Code sebagai editor, serta Google Chrome sebagai browser pengujian.

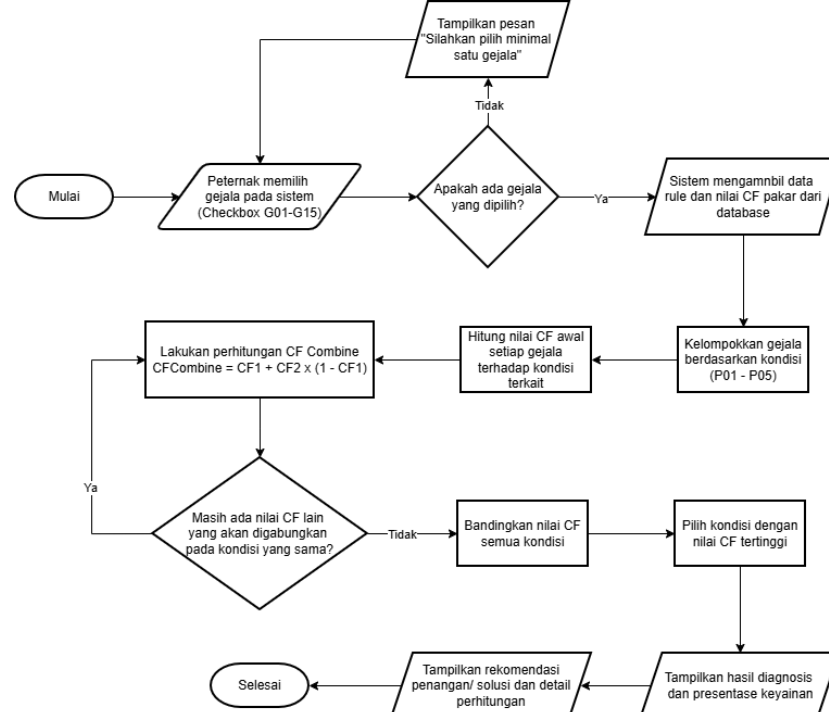
2.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengacu pada model *Expert System Development Life Cycle* (ESDLC) yang terdiri dari empat tahapan utama: intelegensi, desain, pemilihan, dan implementasi[10]:



Gambar 1. Tahapan Penelitian Menggunakan Metode ESDLC

1. Tahap Intelegensi: Observasi lapangan dilakukan pada peternakan lebah madu. Dari observasi ini ditemukan bahwa proses diagnosis kondisi koloni masih dilakukan secara manual, belum ada sistem terstruktur, dan peternak kesulitan ketika dihadapkan pada gejala yang tidak biasa. Akuisisi pengetahuan dilakukan melalui wawancara terstruktur dengan seorang pakar perlebah berpengalaman (>20 tahun) yang dipilih berdasarkan kriteria pengalaman praktis minimal 10 tahun dan pengetahuan mendalam tentang kondisi koloni. Wawancara dilakukan pada Maret 2026 dengan panduan pertanyaan terstruktur, menghasilkan 15 gejala, 5 kondisi, 5 aturan IF-THEN, dan nilai CF.
2. Tahap Desain: Perancangan sistem meliputi perumusan basis pengetahuan berupa 15 gejala (Tabel 1), 5 kondisi koloni (Tabel 2), 5 aturan IF-THEN, dan matriks nilai *Certainty Factor* (Tabel 3). Perancangan juga mencakup pembuatan *flowchart* dan struktur *database* [11].



Gambar 2. *Flowchart* Alur Proses Diagnosa Kondisi Koloni

Flowchart pada Gambar 2 menggambarkan alur proses diagnosa dari awal hingga akhir. Proses dimulai ketika peternak memilih gejala yang teramati pada koloni melalui *checkbox* (G01–G15). Sistem membaca gejala yang dipilih dan mencocokkannya dengan 5 aturan yang telah disusun berdasarkan pengetahuan pakar. Jika gejala tidak dapat diproses sesuai aturan, pengguna disarankan berkonsultasi dengan pakar. Namun jika gejala berhasil dikenali, sistem mengambil nilai *Certainty Factor* dari setiap aturan yang sesuai dan melakukan perhitungan *CF Combine*. Hasil akhir berupa tingkat keyakinan dalam persentase, yang kemudian ditampilkan kepada peternak.

Table 1. Daftar Gejala Kondisi Koloni

Kode	Gejala
G01	Terdapat hama pada sarang
G02	Sarang rusak
G03	Banyak lebah mati
G04	Ratu lebah mati
G05	Ratu jarang terlihat
G06	Warna ratu memudar
G07	Aktivitas lebah berkurang
G08	Lebah tidak aktif
G09	Jumlah lebah berkurang
G10	Produksi madu menurun
G11	Hujan berkepanjangan
G12	Cuaca mendung berkepanjangan
G13	Polen sulit diperoleh
G14	Larva banyak mati
G15	Lebah keluar sarang tidak normal

Table 2. Tabel Kondisi/Penyakit pada Koloni

Kode	Kondisi	Deskripsi
P01	Gangguan Hama	Hama (kecoa, semut, cicak, capung) merusak sarang
P02	Kekurangan Pakan	Sumber pakan/polen tidak mencukupi
P03	Gangguan Ratu Lebah	Ratu mati atau terganggu
P04	Pengaruh Cuaca	Hujan/cuaca buruk berkepanjangan
P05	Produksi Madu Menurun	Hasil madu rendah karena pakan, cuaca, atau kesehatan

Table 3. Nilai CF dari Pakar (Gejala vs Kondisi)

Gejala	P01	P02	P03	P04	P05
G01	0,9	-	-	-	-
G02	0,8	-	-	-	-
G03	0,7	-	0,8	-	-

G04	-	-	1	-	-
G05	-	-	0,8	-	-
G06	-	-	0,7	-	-
G07	0,6	0,7	-	0,6	0,8
G08	-	-	0,9	-	0,8
G09	0,7	0,7	0,8	-	-
G10	-	0,8	-	0,6	1
G11	-	0,8	-	0,9	0,8
G12	-	0,7	-	0,8	0,7
G13	-	0,9	-	-	0,8
G14	-	-	0,8	-	-
G15	0,6	-	0,7	0,7	-

3. Tahap Pemilihan: Metode *Certainty Factor* (CF) pertama kali dikembangkan oleh *Shortliffe* dan Buchanan dalam sistem pakar MYCIN untuk mengakomodasi ketidakpastian penalaran (*inexact reasoning*) seorang pakar[12]. Metode ini memberikan nilai numerik yang merepresentasikan tingkat keyakinan pakar terhadap hubungan antara gejala dan penyakit [13]. Nilai CF berkisar antara -1 hingga +1, di mana CF = +1 berarti pasti benar, CF = 0 berarti tidak yakin, dan CF = -1 berarti pasti salah. Rumus dasar CF adalah selisih antara *Measure of Belief* (MB) dan *Measure of Disbelief* (MD) [14]. Dalam penelitian ini, metode *Certainty Factor* diterapkan sebagai berikut. Setiap gejala yang dipilih oleh peternak diberi nilai CF_User = 1 (karena peternak yakin gejala tersebut ada). Nilai CF_User tersebut dikalikan dengan nilai CF dari pakar (CF_Pakar) yang telah tersimpan dalam basis pengetahuan untuk menghasilkan nilai CF awal untuk gejala tersebut sesuai dengan persamaan (1) [15]:

$$CF_{gejala} = CF_{User} \times CF_{Pakar} \quad (1)$$

Selanjutnya, nilai CF dari semua gejala yang mendukung suatu penyakit digabungkan menggunakan rumus *CF Combine*. Jika terdapat dua nilai CF (CF1 dan CF2) yang mendukung penyakit yang sama, maka nilai gabungannya dihitung dengan persamaan (2) [16]:

$$CF_{combine}(CF_1, CF_2) = CF_1 + CF_2 \times (1 - CF_1) \quad (2)$$

Proses penggabungan dilakukan secara berurutan: mulai dari nilai CF gejala pertama, kemudian dikombinasikan dengan nilai CF gejala kedua, hasilnya dikombinasikan dengan nilai CF gejala ketiga, dan seterusnya hingga semua gejala yang relevan tergabung. Hasil akhir ini merupakan tingkat keyakinan sistem terhadap penyakit tersebut. Hasil akhir kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase untuk memudahkan peternak dalam memahami tingkat keyakinan diagnosis, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3) [17]:

$$\text{Persentase Keyakinan} = CF_{akhir} \times 100\% \quad (3)$$

Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan metode *black box testing* terhadap empat skenario utama (TC-01 hingga TC-04). Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil diagnosis sistem dengan diagnosis pakar pada 20 sampel koloni.

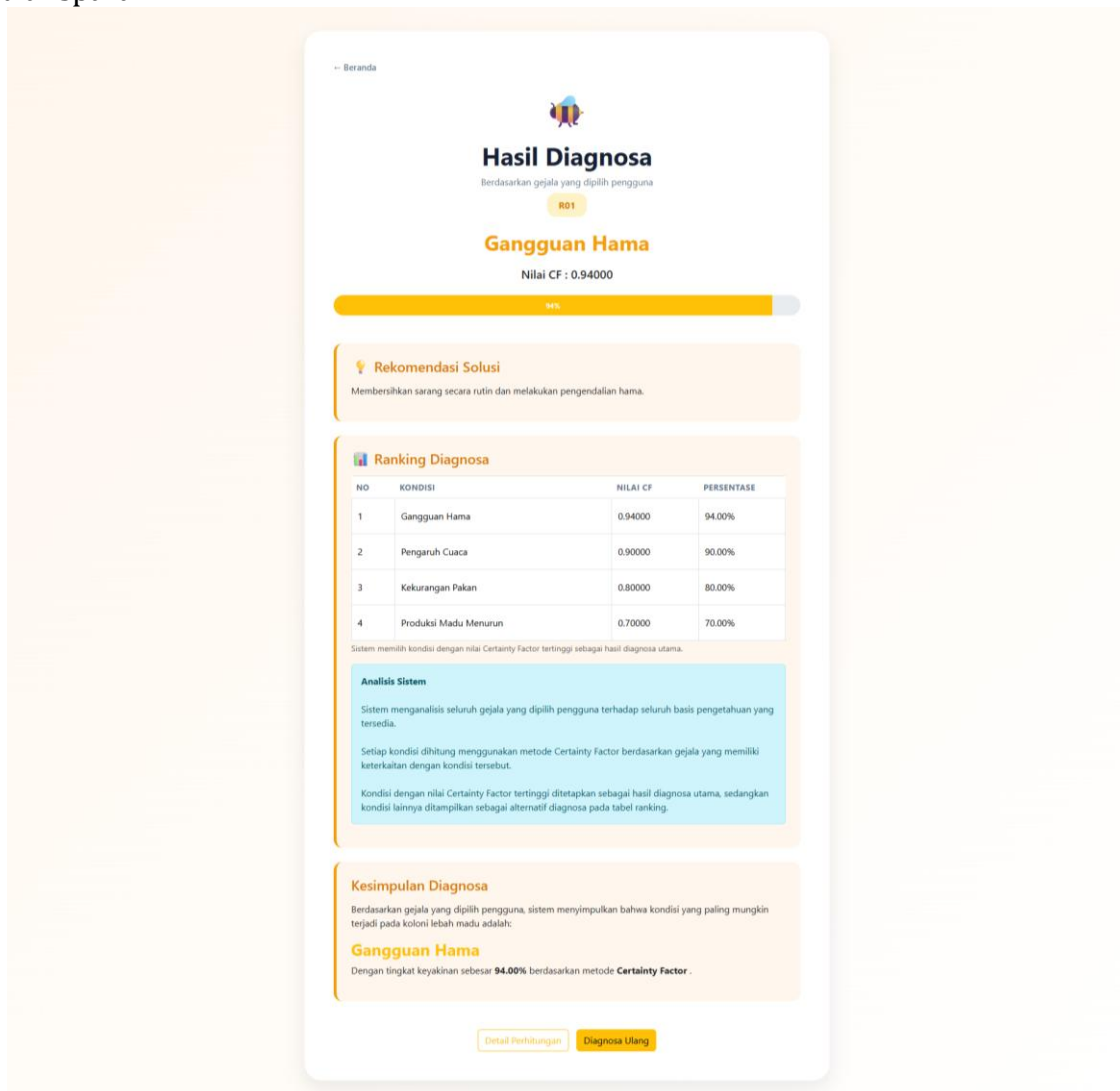
4. Tahap Implementasi: Sistem dibangun menggunakan PHP 8.2 sebagai *backend*, MySQL 8.0 sebagai *database*, dan Bootstrap 5 untuk

antarmuka responsif. Sistem diberi nama SIPAKAR LEBAH (Sistem Pakar Diagnosa Kondisi Koloni Lebah Madu).

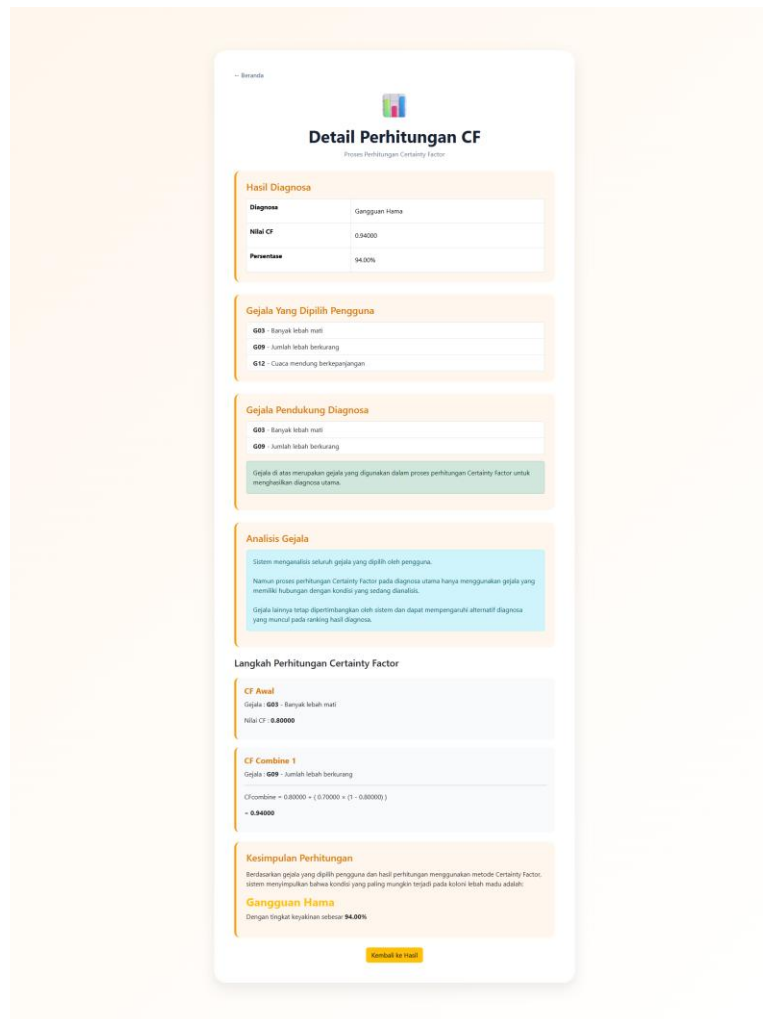
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

Sistem yang dikembangkan memiliki beberapa antarmuka utama. Halaman Beranda menampilkan informasi singkat tentang sistem dan tombol "Mulai Diagnosa". Halaman Diagnosa menampilkan 15 *checkbox* gejala (G01–G15) yang dapat dipilih oleh peternak. Halaman Hasil Diagnosa menampilkan diagnosis utama, *ranking* seluruh kondisi yang terdeteksi, serta rekomendasi solusi. Halaman Detail Perhitungan menampilkan langkah-langkah perhitungan CF *Combine* secara transparan.



Gambar 3. Tampilan Halaman Hasil Diagnosa



Gambar 4. Tampilan Halaman Detail Perhitungan

3.2. Contoh Proses Diagnosa

Kasus 1: Dua Gejala Dipilih (G01 dan G02)

Peternak memilih gejala G01 (hama pada sarang) dan G02 (sarang rusak). Sistem mengevaluasi aturan R01 yang memiliki sub-aturan (G01 AND G02) yang terpenuhi. Perhitungan berdasarkan persamaan (1) dan (2):

- $CF_User\ G01 = 1, G02 = 1$
- $CF_Pakar\ G01\ terhadap\ P01 = 0,9; G02\ terhadap\ P01 = 0,8$
- $CF_Combine = 0,9 + 0,8 \times (1 - 0,9) = 0,9 + 0,08 = 0,98$

Hasil: P01 (Gangguan Hama) dengan tingkat keyakinan 98%.

Kasus 2: Lima Gejala Dipilih (G01, G02, G07, G11, G12)

Skenario ini menggambarkan kondisi ketika peternak mengamati lima gejala sekaligus, yaitu adanya hama pada sarang (G01), sarang rusak (G02), aktivitas lebah berkurang (G07), hujan berkepanjangan (G11), dan cuaca mendung berkepanjangan (G12). Gejala-gejala ini mengarah ke beberapa kemungkinan kondisi, terutama gangguan hama (P01) dan pengaruh cuaca (P04). Sistem mengevaluasi semua aturan dan menghitung nilai *Certainty Factor* untuk kelima kondisi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perhitungan P04 (Pengaruh Cuaca)
Gejala yang mendukung P04 adalah G07, G11, dan G12 dengan nilai CF_Pakar berturut-turut 0,7; 0,9; dan 0,9 (mengacu pada Tabel 3.6). Proses penggabungan menggunakan persamaan (2):
 - Langkah 1 (kombinasi G07 dan G11):
$$CF_1 = 0,7 + 0,9 \times (1 - 0,7) = 0,7 + 0,27 = 0,97$$
 - Langkah 2 (kombinasi hasil dengan G12):
$$CF_{P04} = 0,97 + 0,9 \times (1 - 0,97) = 0,97 + 0,027 = 0,997$$Hasil: CF P04 = 0,997 atau 99,70%.
2. Perhitungan P01 (Gangguan Hama)
Gejala yang mendukung P01 adalah G01, G02, dan G07 dengan nilai CF_Pakar berturut-turut 0,9; 0,8; dan 0,6. Proses penggabungan:
 - Langkah 1 (kombinasi G01 dan G02):
$$CF_1 = 0,9 + 0,8 \times (1 - 0,9) = 0,9 + 0,08 = 0,98$$
 - Langkah 2 (kombinasi hasil dengan G07):
$$CF_{P01} = 0,98 + 0,6 \times (1 - 0,98) = 0,98 + 0,012 = 0,992$$Hasil: CF P01 = 0,992 atau 99,20%.
3. Perhitungan P02 (Kekurangan Pakan)
Aturan untuk P02 (R02) mensyaratkan adanya G13 (polen sulit diperoleh) sebagai syarat utama dalam semua sub-aturannya (misal *G13 AND G07*). Pada kasus ini, G13 tidak dipilih oleh peternak, sehingga aturan utama untuk P02 tidak terpenuhi. Meskipun demikian, karena gejala G07 (aktivitas lebah berkurang) memiliki nilai CF sebesar 0,7 terhadap P02, sistem tetap menampilkan tingkat keyakinan sebesar 0,7 atau 70,00% berdasarkan hubungan gejala tunggal tersebut.
4. Perhitungan P05 (Produksi Madu Menurun)
Aturan untuk P05 (R05) mensyaratkan adanya G10 (produksi madu menurun) sebagai syarat utama dalam semua sub-aturannya (misal *G10* atau *G10 AND G07*). Pada kasus ini, G10 tidak dipilih oleh peternak, sehingga aturan utama untuk P05 tidak terpenuhi. Meskipun demikian, karena gejala G12 (cuaca mendung berkepanjangan) memiliki nilai CF sebesar 0,7 terhadap P05, sistem tetap menampilkan tingkat keyakinan sebesar 0,7 atau 70,00% berdasarkan hubungan gejala tunggal tersebut.
5. Perhitungan P03 (Gangguan Ratu Lebah)
Tidak ada gejala yang mengarah ke P03 (seperti G04, G05, G06, G08, atau G14) yang dipilih oleh peternak. Dengan demikian, tidak ada aturan yang terpenuhi dan CF P03 = 0 atau 0,00%.
Berdasarkan seluruh perhitungan di atas, sistem kemudian mengurutkan kelima kondisi berdasarkan nilai CF tertinggi dan menghasilkan *ranking* diagnosis seperti pada Tabel 4.

Table 4. Hasil Ranking untuk Kasus Lima Gejala

Ranking	Kondisi	Nilai CF	Persentase
1	Pengaruh Cuaca (P04)	0,997	99,70%
2	Gangguan Hama (P01)	0,992	99,20%
3	Kekurangan Pakan (P02)	0,7	70,00%
4	Produksi Madu Menurun (P05)	0,7	70,00%

Pada kasus ini, sistem menetapkan P04 (Pengaruh Cuaca) sebagai diagnosis utama dengan tingkat keyakinan 99,70%, sementara P01 (Gangguan Hama) menjadi alternatif diagnosis dengan keyakinan 99,20%. Kedua kondisi ini memiliki nilai CF yang sangat tinggi karena seluruh gejala pendukungnya (G07, G11, G12 untuk P04; dan G01, G02, G07 untuk P01) terpenuhi sepenuhnya. Sementara itu, P02 dan P05 hanya mencapai 70,00% karena aturan spesifiknya (membutuhkan G13 dan G10) tidak terpenuhi, sehingga sistem hanya mengandalkan hubungan gejala tunggal yang tersisa. P03 tidak terdeteksi sama sekali karena tidak ada gejala yang mengarah ke kondisi tersebut.

3.3. Hasil Pengujian Fungsionalitas

Pengujian *black box* dilakukan terhadap seluruh fitur sistem. Skenario pengujian (TC-01 s.d. TC-04) telah dirancang pada Bab III. Hasil pelaksanaan pengujian disajikan pada Tabel 6.

Table 5. Hasil Pengujian Fungsionalitas (Black Box Testing)

Kode	Skenario	Input / Aksi	Output yang Diharapkan	Status
TC-01	Peternak memilih gejala yang memenuhi satu aturan	G01, G02	Sistem menampilkan P01 di urutan pertama, CF = 0,98	Sesuai
TC-02	Peternak memilih semua 15 gejala	G01-G15	Sistem menampilkan 5 penyakit dengan CF > 0,99	Sesuai
TC-03	Peternak tidak memilih gejala	(kosong)	Sistem menampilkan pesan peringatan	Sesuai
TC-04	Admin login dan mengelola data	login benar, tambah/edit gejala	Sistem menampilkan <i>dashboard</i> dan data tersimpan	Sesuai

Berdasarkan Tabel 6, seluruh skenario pengujian (TC-01 s.d. TC-04) menunjukkan hasil yang sesuai antara *output* yang diharapkan dengan *output* aktual yang dihasilkan oleh sistem. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh fungsi sistem telah berjalan sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Tidak ditemukan kegagalan atau *error* pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan.

3.4. Pengujian Akurasi

Sistem diuji dengan 20 data sampel koloni yang telah diketahui kondisi aktualnya berdasarkan diagnosis pakar. Tabel 7 menyajikan perbandingan hasil diagnosis sistem dengan diagnosis pakar.

Table 6. Perbandingan Hasil Diagnosa Sistem dengan Pakar

No	Kode Koloni	Gejala Dipilih	Diagnosis Sistem	Diagnosis Pakar	Status
1	K01	G01, G02, G07	P01	P01	Sesuai
2	K02	G01, G07, G09	P01	P01	Sesuai
3	K03	G13, G07, G10	P02	P02	Sesuai
4	K04	G04	P03	P03	Sesuai
5	K05	G04, G05	P03	P03	Sesuai
6	K06	G04, G08	P03	P03	Sesuai
7	K07	G11, G12	P04	P04	Sesuai
8	K08	G11, G07, G10	P04	P04	Sesuai
9	K09	G10	P05	P05	Sesuai
10	K10	G10, G13	P05	P05	Sesuai
11	K11	G10, G07	P05	P05	Sesuai
12	K12	G10, G11	P05	P05	Sesuai
13	K13	G01, G02, G07, G09	P01	P01	Sesuai
14	K14	G13, G07, G10, G09	P02	P02	Sesuai
15	K15	G04, G08, G14	P03	P03	Sesuai
16	K16	G11, G12, G07	P04	P04	Sesuai
17	K17	G10, G13, G07	P05	P05	Sesuai
18	K18	G01, G02, G03	P01	P01	Sesuai
19	K19	G07, G09, G10, G13	P05	P05	Sesuai
20	K20	G01, G02, G07, G10, G13	P01	P01	Sesuai

Berdasarkan Tabel 7, tingkat akurasi sistem dihitung dengan membagi jumlah diagnosis yang sesuai dengan total sampel:

$$\text{Akurasi} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mendiagnosis kondisi koloni lebah madu *Apis cerana*. Keseluruhan hasil diagnosis sistem tidak ada yang menyimpang dari diagnosis pakar. Hal ini menunjukkan bahwa basis pengetahuan (gejala, penyakit, nilai CF, dan aturan) yang diperoleh dari wawancara dengan pakar telah berhasil direpresentasikan dengan baik ke dalam sistem.

3.5. Analisa dan Pembahasan

3.5.1. Analisis *Ranking* Keyakinan

Sistem tidak hanya menampilkan diagnosis utama tetapi juga *ranking* seluruh penyakit yang terdeteksi. Informasi ini membantu peternak mengetahui kemungkinan kondisi lain yang juga terindikasi dari gejala yang sama. Sebagai contoh, pada kasus K01 (G01, G02, G07), sistem menghasilkan *ranking* seperti pada Tabel 8.

Table 7. Hasil *Ranking* Diagnosa K01

<i>Ranking</i>	Kondisi	Nilai CF	Persentase	Status
1	Gangguan Hama (P01)	0,992	99,20%	Diagnosis Utama
2	Kekurangan Pakan (P02)	0,7	70,00%	Diagnosis Pendukung
3	Pengaruh Cuaca (P04)	0,7	70,00%	Diagnosis Pendukung
4	Produksi Madu Menurun (P05)	0,7	70,00%	Diagnosis Pendukung

Dengan adanya *ranking* ini, peternak tidak hanya mengetahui satu diagnosis, tetapi juga memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang kemungkinan kondisi lain yang perlu diwaspadai.

3.5.2. Analisis Pengaruh Nilai CF Pakar terhadap Diagnosis

Nilai CF_Pakar pada matriks (Tabel 3.6) sangat mempengaruhi hasil diagnosis.

Beberapa temuan penting dari analisis nilai CF_Pakar adalah:

1. Dominasi Gejala dengan CF = 1,0

Gejala G04 (ratu mati) memiliki CF_Pakar = 1,0 terhadap P03 (Gangguan Ratu Lebah). Akibatnya, jika G04 dipilih, P03 akan mendominasi perhitungan dan menjadi diagnosis utama. Hal ini sesuai dengan pengetahuan pakar bahwa kematian ratu adalah kondisi paling kritis yang harus ditangani terlebih dahulu. Demikian pula, G10 (produksi madu menurun) dengan CF_Pakar = 1,0 terhadap P05 (Produksi Madu Menurun) juga sangat dominan dalam perhitungan.

2. Peran Gejala Pendukung

Gejala dengan CF_Pakar yang lebih rendah (0,6-0,8) tetap memberikan kontribusi yang signifikan ketika digabungkan dengan gejala lain. Misalnya, G07 (aktivitas lebah berkurang) memiliki CF_Pakar 0,6 terhadap P01, tetapi ketika dikombinasikan dengan G01 (0,9) dan G02 (0,8), nilai CF gabungan menjadi sangat tinggi (0,992) berdasarkan persamaan (2).

3. Keunggulan CF Combine tanpa Operator Minimum

Metode CF *Combine* tanpa operator minimum memungkinkan setiap gejala memberikan kontribusi proporsional. Hal ini menghindari masalah "gejala kuat menjadi tidak berguna" yang terjadi jika menggunakan operator minimum. Sebagai contoh, jika menggunakan operator minimum pada kasus G01 (0,9) dan G07 (0,6), nilai CF akan terpotong menjadi 0,6. Dengan CF *Combine*, nilai CF tetap 0,9 dan G07 memberikan kontribusi tambahan $0,6 \times (1 - 0,9) = 0,06$, sehingga total menjadi 0,96. Pendekatan ini lebih akurat dan sesuai dengan cara pakar dalam mendiagnosis [17][18].

3.5.3. Validasi Pakar

Hasil diagnosis sistem telah divalidasi oleh pakar perlebahan yang menjadi sumber pengetahuan. Pakar menyatakan bahwa:

1. Seluruh 20 hasil diagnosis sistem sesuai dengan pengetahuan dan pengalamannya.

2. Nilai CF yang dihasilkan mewakili tingkat keyakinan yang wajar dalam praktik (misal gejala hama + sarang rusak → keyakinan 98%).
3. Fitur *ranking* diagnosis dan detail perhitungan membantu peternak memahami proses pengambilan keputusan.
4. Sistem layak digunakan sebagai alat bantu diagnosis bagi peternak, terutama di daerah terpencil.

Validasi pakar merupakan langkah penting dalam pengembangan sistem pakar. Dengan adanya validasi ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Basis pengetahuan yang dibangun telah sesuai dengan pengetahuan dan pengalaman pakar.
2. Metode CF *Combine* yang digunakan telah berhasil meniru cara pakar dalam mempertimbangkan berbagai gejala secara bersamaan.
3. Sistem dapat diandalkan sebagai alat bantu diagnosis bagi peternak yang tidak memiliki akses langsung ke pakar [18].

3.5.4. Kelebihan dan Kekurangan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dan validasi, sistem ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut.

Kelebihan:

1. Akurasi tinggi mencapai 100% pada 20 data uji yang dibandingkan dengan diagnosis pakar.
2. Metode CF *Combine* menghasilkan perhitungan proporsional tanpa kehilangan informasi dari gejala dengan nilai CF tinggi.
3. *Ranking* diagnosis memberikan transparansi dan informasi tambahan kepada peternak tentang kemungkinan kondisi lain.
4. Fleksibilitas admin dapat mengelola basis pengetahuan (gejala, kondisi, aturan, nilai CF) dengan mudah.
5. Aksesibilitas sistem berbasis *web*, dapat diakses dari berbagai perangkat tanpa instalasi.
6. Detail perhitungan peternak dapat melihat langkah-langkah perhitungan CF *Combine* untuk memahami alasan diagnosis.

Kekurangan:

1. Ketergantungan pada pakar, nilai CF_Pakar bergantung pada subjektivitas pakar, jika nilai berubah, hasil diagnosis dapat berbeda.
2. Belum ada notifikasi, belum ada fitur notifikasi otomatis untuk kondisi fatal yang memerlukan penanganan segera.
3. Jumlah sampel terbatas, pengujian baru dilakukan pada 20 sampel, perlu diuji dengan lebih banyak kasus untuk memastikan konsistensi.
4. Terbatas pada 5 penyakit, sistem hanya dapat mendiagnosis 5 kondisi, perlu dikembangkan untuk mencakup lebih banyak penyakit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. Perancangan sistem pakar untuk diagnosis kondisi koloni lebah madu (*Apis cerana*) telah berhasil dilakukan melalui pendekatan ESDLC. Akuisisi pengetahuan dari pakar menghasilkan 15 gejala, 5 kondisi, 5 aturan *IF-THEN*,

- dan matriks nilai CF. Sistem dikembangkan berbasis *web* dengan antarmuka responsif menggunakan Bootstrap 5.
2. Penerapan metode *Certainty Factor* berhasil mengatasi ketidakpastian gejala. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan CF_User dengan CF_Pakar, kemudian menggabungkan menggunakan CF *Combine*. Pengujian pada 20 sampel koloni menunjukkan akurasi 100% dibandingkan diagnosis pakar.
 3. Sistem berbasis *web* terbukti memberikan hasil diagnosis dengan akurasi tinggi. Seluruh fungsi berjalan sesuai spesifikasi berdasarkan pengujian *black box*, menampilkan *ranking* diagnosis dan persentase keyakinan, serta fitur detail perhitungan CF *Combine*.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu basis pengetahuan hanya dari satu pakar, pengujian pada 20 sampel dari satu lokasi, dan hanya mencakup 5 kondisi koloni. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menguji metode hybrid CF-Forward Chaining atau CF-Bayesian untuk meningkatkan akurasi diagnosis, serta menambah jumlah pakar dan sampel uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I Made Subrata, I Dewa Putu Juwana, I Made Surat, and I Wayan Sumandya, "PKM KELOMPOK TERNAK LEBAH MADU (APIS CERANA) DALAM PENINGKATAN KESEJAHTERAAN KELOMPOK DI DESA BAHU," *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Widya Mahadi*, vol. 4, no. 1, pp. 112–121, Dec. 2023, doi: 10.59672/widyamahadi.v4i1.3392.
- [2] M. S. Purba, J. S. A. Lamerlabel, and J. A. Patty, "Karakter Morfologi dan Morfometrik Lebah Sosial (Aphidae) di Pertanian Organik BEEMA HONEY Bogor," *JURNAL PERTANIAN KEPULAUAN*, vol. 7, no. 2, pp. 97–103, Oct. 2023, doi: 10.30598/jpk.2023.7.2.97.
- [3] I. Panangian Sinaga, A. A. Soebroto, and I. Cholissodin, "Sistem Pakar untuk Diagnosis Penyakit Ayam menggunakan Metode Certainty Factor (Studi Kasus: Balai Besar Pelatihan Peternakan Batu)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 6, pp. 2704–2714, 2022, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [4] D. Alpiana and A. Pambudi, "DIAGNOSIS PENYAKIT HEWAN TERNAK DOMBA MENGGUNAKAN ALGORITMA CERTAINTY FACTOR," *Bit (Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur)*, vol. 20, no. 2, pp. 113–122, 2023.
- [5] P. K. Astuti, B. Hegedűs, A. Oleksa, Z. Bagi, and S. Kusza, "Buzzing with Intelligence: Current Issues in Apiculture and the Role of Artificial Intelligence (AI) to Tackle It," Jun. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/insects15060418.
- [6] Z. Ahsan, F. Haouala, and M. Rejili, "From Hive Sensors to Environmental DNA: Toward a Systems Biology Framework for Honeybee-Based Early Warning of Colony and Ecosystem Health," *Insects*, vol. 17, no. 7, p. 660, Jun. 2026, doi: 10.3390/insects17070660.
- [7] A. Liang, "Developing a Multimodal System for Bee Object Detection and Health Assessment," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 158703–158713, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3464559.
- [8] M. R. Setyawan, ; Fajar, R. B. Putra, and L. J. Fakhri, "Comparison of Accuracy Level of Certainty Factor Method and Bayes Theorem on Cattle Disease,"

- ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 16, no. 3, pp. 343–355, 2024, doi: 10.33096/ilkom.v16i3.2290.343-355.
- [9] I. Setiawan and Santoso, "PENGEMBANGAN SISTEM PAKAR BERBASIS CERTAINTY FACTOR UNTUK DIAGNOSIS HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN HORTIKULTURA: STUDI KASUS PADA TANAMAN CABAI DAN BAWANG MERAH," *Jurnal LOGITEC (Logistik, Teknologi, dan E-commerce)*, vol. 1, no. 1, pp. 34–40, 2025.
- [10] F. Suyantoputri, F. Suyantoputri, Y. Umaidah, and R. Mayasari, "SISTEM PAKAR MENDIAGNOSA PENYAKIT GIGI MENGGUNAKAN METODE FORWARD CHAINING BERBASIS WEBSITE," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5743.
- [11] H. Syahputra and D. Monica Syafindy, "SISTEM PAKAR DIAGNOSA PENYAKIT HEPATITIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR," *Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT) E-ISSN*, vol. 2, no. 1, pp. 45–50, 2023, Accessed: Jun. 03, 2026. [Online]. Available: <https://paperity.org/p/343071253/sistem-pakar-diagnosa-penyakit-hepatitis-dengan-menggunakan-metode-certainty-factor>
- [12] N. Kholilah, S. Rahman, and D. Prasetyo Utomo, "SISTEM PAKAR DIAGNOSA PENYAKIT PADA TANAMAN JAGUNG MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR," *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 1, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/biner>
- [13] M. Intan Pertiwi, M. Rifky Kholilurrohman, and N. Kyesa Tamarussal, "Expert System for Early Detection of Postpartum Complications Using Certainty Factor Method," 2025. [Online]. Available: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAIC>
- [14] L. Fauzyah and A. S. Purnomo, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Gigi Menggunakan Metode Naive Bayes," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 12, no. 3, pp. 116–128, 2025, [Online]. Available: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [15] B. Hendrik and Resnawita, "Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Demam Berdarah Menggunakan Metode Certainty Factor," *ournal of Information System and Education Development*, vol. 1, no. 3, pp. 26–30, 2023.
- [16] M. G. A. Awidani, E. Rianti, and S. N. Rahman, "Penerapan Metode Certainty dalam Deteksi Penyakit Sapi Potong," *Jurnal KomtekInfo*, pp. 47–55, Jun. 2023, doi: 10.35134/komtekinfo.v10i2.347.
- [17] S. Wahyuni and P. M. Hasugian, "Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Ayam Kampung Menggunakan Metode Certainty Factor," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 2, pp. 60–65, 2022, Accessed: May 31, 2026. [Online]. Available: <https://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/saintek/article/view/212/205>
- [18] S. Maryana and D. Suhartini, "Implementasi Certainty Factor Untuk Diagnosa Penyakit Sapi," *CHAIN : Journal of Computer Technology*, vol. 1, no. 1, 2023.