

PERANCANGAN SISTEM PAKAR DIAGNOSIS DINI TUBERKULOSIS PARU MENGGUNAKAN METODE FORWARD CHAINING DAN CERTAINTY FACTOR

I Gusti Ngurah Abi Praja Andika, Adie Wahyudi Oktavia Gama

Teknologi Informasi, Universitas Pendidikan Nasional

Jalan Bedugul No.39, Denpasar Indonesia

gustiabi97@gmail.com

ABSTRAK

Tuberkulosis (TBC) masih menjadi ancaman kesehatan global yang serius. Indonesia menempati peringkat kedua dunia dengan sekitar 1.090.000 kasus dan 125.000 kematian per tahun, sementara Provinsi Bali mencatat 3.043 kasus TBC paru pada tahun 2022 dengan Denpasar sebagai daerah tertinggi. Keterbatasan pengetahuan masyarakat, akses fasilitas kesehatan, dan kelemahan sistem pakar tradisional yang hanya mengandalkan logika *boolean* menyebabkan sistem tidak mampu merepresentasikan tingkat keyakinan diagnosis secara kuantitatif, sehingga hasilnya kurang informatif bagi masyarakat awam. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pakar diagnosis dini TBC paru berbasis *website* yang dapat diakses secara mandiri tanpa batasan waktu dan lokasi, mampu melakukan penalaran gejala secara sistematis sekaligus menangani ketidakpastian secara terukur. Sistem dirancang mengintegrasikan *Forward Chaining* sebagai mekanisme inferensi berbasis data *driven* dengan 7 aturan (*R1-R7*) dan 10 gejala klinis, serta *Certainty Factor* untuk mengukur tingkat keyakinan melalui pemetaan nilai *CF User* berbasis pilihan jawaban kontekstual. Basis pengetahuan disimpan dalam struktur *database* relasional yang terdiri dari 5 tabel. Hasil simulasi menunjukkan sistem mampu menghasilkan diagnosis Terindikasi Tuberkulosis Paru dengan tingkat keyakinan terukur sebesar 98% berdasarkan 8 gejala yang dilaporkan, dilengkapi fitur cetak hasil dalam format *PDF*, riwayat konsultasi, serta antarmuka *website* yang dirancang ramah pengguna awam.

Kata kunci : *Certainty Factor, Diagnosis Dini, Forward Chaining, Sistem Pakar, Tuberkulosis Paru, Website*

1. PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium Tuberculosis* dan hingga kini masih menjadi ancaman kesehatan global yang serius. Menurut *World Health Organization (WHO)*, pada tahun 2024 diperkirakan sebanyak 10,7 juta orang terkena TBC di seluruh dunia dengan 1,23 juta jiwa meninggal dunia [1]. Di tingkat nasional, Indonesia menduduki peringkat kedua di dunia setelah India dengan sekitar 1.090.000 kasus TBC dan angka kematian mencapai 125.000 jiwa setiap tahunnya, berdasarkan Kementerian Kesehatan dan *Global TB Report 2024* [2].

Kondisi serupa juga terjadi di Bali, menurut data dari Satu Data Indonesia Provinsi Bali tahun 2022, terdapat 3.043 kasus TBC paru, dengan kota Denpasar sebagai daerah tertinggi yaitu 1.064 kasus [3]. Tingginya angka ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kurangnya pengetahuan masyarakat mengenai gejala awal TBC [4], keterbatasan biaya kesehatan yang mendorong masyarakat menunda pemeriksaan, serta keterbatasan tenaga medis dan jangkauan fasilitas kesehatan di daerah tertentu. Kondisi ini menyebabkan penanganan sering baru dilakukan ketika kondisi sudah memburuk, sehingga dibutuhkan suatu pendekatan yang mampu memberikan penilaian awal secara mandiri, cepat, dan informatif sebelum masyarakat melakukan pemeriksaan medis lebih lanjut.

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana membangun sebuah sistem yang mampu melakukan penalaran gejala secara sistematis sekaligus

menangani ketidakpastian yang muncul akibat gejala TBC yang tidak spesifik dan sering memiliki kemiripan dengan penyakit pernapasan lain, serta menghasilkan *output* diagnosis yang terukur dan disertai tingkat kepastian yang dapat dipertanggungjawabkan. Selain itu, sistem pakar tradisional umumnya hanya menggunakan logika *boolean* (benar atau salah) dalam mengevaluasi aturan sehingga tidak dapat merepresentasikan tingkat keyakinan terhadap gejala maupun hasil diagnosis, yang menjadikan hasilnya kurang informatif bagi masyarakat yang memiliki ketidakpastian dalam menilai keluhan yang dirasakan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem pakar diagnosis dini tuberkulosis paru berbasis *website* yang mampu melakukan penalaran gejala secara sistematis dan menangani ketidakpastian secara kuantitatif. Untuk mencapai tujuan tersebut, diterapkan metode *Forward Chaining* sebagai mekanisme inferensi yang bekerja secara data *driven*, yaitu penelusuran dimulai dari fakta-fakta klinis berupa gejala yang dirasakan pengguna, kemudian mencocokkannya terhadap aturan (*rules*) dalam basis pengetahuan hingga mendapatkan kesimpulan diagnosis [5]. Untuk menangani ketidakpastian gejala awal TBC, digunakan metode *Certainty Factor* yang merepresentasikan tingkat keyakinan pakar dan pengguna secara kuantitatif, sehingga sistem tidak hanya menghasilkan keputusan diagnosis tetapi juga menyertakan persentase tingkat kepastian yang lebih mencerminkan kondisi klinis pengguna [5]. Sistem

dirancang berbasis *website* agar nantinya dapat diakses masyarakat secara mandiri tanpa batasan waktu dan lokasi melalui berbagai perangkat tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sebelum memulai penelitian ini, penulis melakukan studi literatur dengan menelaah berbagai sumber yang relevan terkait topik yang diteliti. Kajian ini dilakukan untuk memperoleh pemahaman dasar yang memadai, sehingga dapat mendukung proses perancangan dan pengembangan sistem pakar yang sesuai dengan penelitian.

Penelitian yang dilakukan oleh Sidqiyah et al. mengembangkan sistem pakar berbasis *web* untuk skrining TBC menggunakan *Forward Chaining* dengan 9 aturan *IF-THEN*. Sistem ini mampu menganalisis kombinasi gejala dan menghasilkan tiga kategori keluaran dengan kinerja yang cepat dan tepat. Namun, sistem tidak memperhitungkan tingkat keyakinan maupun bobot gejala, sehingga seluruh gejala diperlakukan setara tanpa mempertimbangkan perbedaan nilai diagnostiknya [6].

Penelitian Hidayat dan Wiguna menghasilkan aplikasi diagnosis Tuberkulosis berbasis *Android* dengan metode *Certainty Factor*. Aplikasi ini dapat menghitung nilai kepastian dari gejala pengguna dan menentukan diagnosis berbagai jenis TBC. Metode tersebut terbukti efektif untuk diagnosis dini. Namun, tidak adanya inferensi berbasis aturan seperti *Forward Chaining* menyebabkan proses pencocokan gejala tidak sistematis, sehingga berpotensi mengurangi akurasi ketika data gejala tidak lengkap [7].

Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat dua keterbatasan yang saling melengkapi. *Forward Chaining* mampu menelusuri gejala yang sistematis, tetapi belum mampu menangani ketidakpastian. Sebaliknya metode *Certainty Factor* dapat mengukur tingkat keyakinan, namun tidak memiliki alur inferensi yang terstruktur. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan kedua metode tersebut untuk menghasilkan diagnosis yang lebih sistematis dan memiliki tingkat keyakinan yang lebih realistis.

2.1. Tuberkulosis Paru

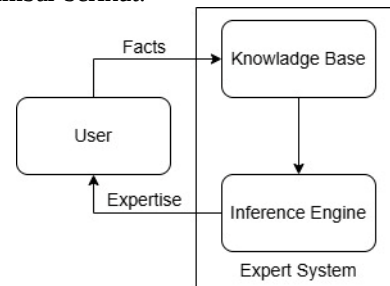
Tuberkulosis paru merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh infeksi bakteri *Mycobacterium Tuberculosis*. Penyakit ini mudah menyebar melalui udara, terutama saat penderita batuk, bersin, atau berbicara [8]. Mengingat kompleksitas dan variasi gejala TBC, penyusunan daftar gejala yang sistematis menjadi langkah penting dalam mendukung proses penilaian awal berbasis gejala. Gejala-gejala klinis TBC paru yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 1, terdapat sepuluh gejala klinis TBC paru yang menjadi dasar dalam sistem diagnosis. Dalam penelitian ini, sistem tidak mendiagnosis berdasarkan satu gejala tunggal, melainkan mengevaluasi kombinasi gejala secara menyeluruh.

Tabel 1 Daftar Gejala Klinis Tuberkulosis Paru

Kode	Nama Gejala
G1	Batuk lebih dari 2 minggu
G2	Batuk berdarah
G3	Batuk berdarah
G4	Terasa nyeri di bagian dada
G5	Sesak napas
G6	Malaise
G7	Penurunan berat badan
G8	Nafsu makan menurun
G9	Demam
G10	Berkeringat di malam hari

2.2. Sistem Pakar

Sistem pakar merupakan salah satu cabang kecerdasan buatan yang dikembangkan untuk meniru pola penalaran seorang ahli, sehingga mampu membantu menyelesaikan permasalahan layaknya seorang pakar di bidang tertentu [9]. Secara konseptual, cara kerja sistem pakar dapat digambarkan melalui struktur dasarnya sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Struktur Dasar Sistem Pakar

Berdasarkan Gambar 1, pengguna berperan memberikan input berupa fakta (*facts*) atau gejala yang dirasakan, basis pengetahuan (*knowledge base*) berfungsi untuk menyimpan kumpulan data yang diperoleh dari pakar, kemudian mesin inferensi bertugas melakukan proses penalaran yang mencocokkan fakta yang diberikan terhadap aturan yang tersedia dalam basis pengetahuan [10]. Hasil dari proses penalaran dikembalikan kepada pengguna dalam bentuk keahlian (*expertise*) berupa kesimpulan diagnosis awal.

2.3. Forward Chaining

Forward Chaining merupakan metode inferensi dalam sistem pakar yang menggunakan pendekatan data *driven*, di mana proses penalaran dimulai dari fakta-fakta awal yang tersedia, kemudian dikembangkan secara bertahap hingga menghasilkan suatu kesimpulan hasil diagnosa [11]. Metode ini dijalankan dengan membandingkan fakta yang tersedia secara bertahap terhadap kondisi pada setiap aturan. Apabila suatu aturan memenuhi syarat, maka aturan tersebut diproses untuk menghasilkan fakta baru atau mengarah pada kesimpulan akhir. Pendekatan ini dianggap sesuai untuk sistem diagnosis berbasis gejala karena prosesnya mengikuti tahapan pengumpulan informasi dari pengguna secara berurutan.

2.4. Certainty Factor

Certainty Factor (CF) merupakan metode yang digunakan untuk menyatakan tingkat keyakinan dalam proses penalaran [12]. Secara teoritis, metode ini menjelaskan kondisi ketidakpastian dengan mengukur *Measure of Belief (MB)* yang mencerminkan seberapa kuat suatu gejala mendukung sebuah hipotesis diagnosis dan *Measure of Disbelief (MD)* yang mencerminkan seberapa kuat gejala tersebut justru menolaknya, sebagaimana diperlihatkan pada rumus berikut:

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E) \quad (1)$$

Keterangan:

H: Hipotesis (diagnosis penyakit yang diuji).

E: *Evidence* (bukti atau gejala yang berpengaruh dalam menentukan kemungkinan diagnosis).

CF(H, E): Nilai kepastian hipotesis *H* berdasarkan bukti *E*.

MB(H, E): Tingkat dukungan bukti *E* terhadap hipotesis *H*.

MD(H, E): Tingkat penolakan bukti *E* terhadap hipotesis *H*.

Nilai *CF* berada pada rentang -1 hingga 1, di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan keyakinan tinggi dan nilai mendekati -1 menunjukkan ketidakyakinan. Dalam sistem pakar berbasis aturan, nilai *MB* dan *MD* umumnya langsung diwakili oleh bobot keyakinan yang ditetapkan oleh pakar [13], sehingga nilai *CF* Pakar untuk setiap gejala dapat diperoleh langsung tanpa menghitung *MB* dan *MD* secara terpisah. Dalam penelitian ini nilai *CF* Pakar untuk masing-masing gejala diperoleh berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu yang relevan [5], [14].

Selanjutnya, untuk menghitung nilai *CF* dari setiap gejala secara individual, digunakan rumus yang mengkombinasikan nilai *CF* Pakar dengan nilai *CF* User, sebagaimana ditampilkan dalam rumus berikut:

$$CF(H, E) = CF_{User} \times CF_{Pakar} \quad (2)$$

Keterangan:

CF_{User}: Tingkat keyakinan yang dimasukkan oleh pengguna saat konsultasi.

CF_{Pakar}: Nilai kepastian yang diberikan oleh pakar medis untuk gejala tersebut.

Apabila terdapat dari satu gejala yang mengarah pada diagnosis yang sama, nilai *CF* dari masing-masing gejala tersebut dikombinasikan secara bertahap menggunakan rumus berikut:

$$CF_{combine} = CF_{old} + CF_{new} \times (1 - CF_{old}) \quad (3)$$

Keterangan:

CF_{combine}: Hasil penggabungan nilai kepastian dari dua gejala atau lebih

CF_{old}: Nilai *CF* dari perhitungan atau kombinasi gejala sebelumnya.

CF_{new}: Nilai *CF* dari gejala berikutnya yang akan dikombinasikan.

Proses kombinasi ini dilakukan secara berulang hingga seluruh gejala yang teridentifikasi telah

diperhitungkan. Nilai akhir yang diperoleh kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase agar lebih mudah dipahami oleh pengguna, dengan rumus:

$$CF_{persentase} = CF_{combine} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

CF_{persentase}: Nilai akhir diagnosis dalam bentuk satuan persen.

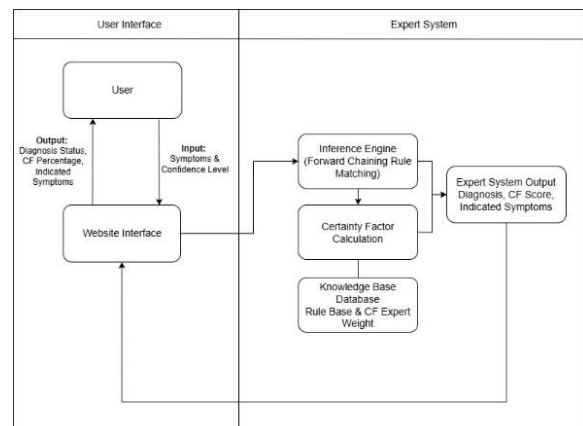
Nilai persentase inilah yang nantinya ditampilkan kepada pengguna sebagai representasi tingkat keyakinan sistem.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merancang sistem pakar diagnosis dini tuberkulosis paru berbasis *website* melalui beberapa tahapan perancangan yang terintegrasi, yaitu perancangan arsitektur sistem, perancangan basis pengetahuan meliputi penetapan bobot *Certainty Factor* Pakar dan penyusunan *rule base*, perancangan mekanisme inferensi *Forward Chaining*, serta pemetaan nilai *CF* User.

3.1. Arsitektur Sistem

Sistem pakar diagnosis dini TBC paru dalam penelitian ini dirancang dengan dua komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu antarmuka *website* sebagai media interaksi pengguna dan modul *expert system* sebagai inti proses diagnosis. Gambar arsitektur sistem secara keseluruhan ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Arsitektur Sistem Pakar Diagnosis Dini

Berdasarkan gambar 2, proses dimulai ketika pengguna memasukkan gejala yang dialami beserta tingkat keyakinannya melalui antarmuka *website*. Data tersebut kemudian diproses oleh modul *expert system* yang terdiri dari *inference engine* berbasis *Forward Chaining*, modul perhitungan *Certainty Factor*, serta *knowledge base database* yang menyimpan aturan dan bobot *CF* Pakar. Hasil akhir yang dikembalikan ke pengguna berupa status diagnosis (Terindikasi atau Tidak Terindikasi Tuberkulosis Paru), nilai persentase *Certainty Factor*, serta gejala-gejala yang mendukung hasil diagnosis tersebut.

3.2. Perancangan Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan merupakan komponen inti dari sistem pakar yang menyimpan fakta dan aturan sebagai rujukan mesin inferensi dalam menarik kesimpulan diagnosis. Dalam penelitian ini, basis pengetahuan dibangun melalui tinjauan literatur, di mana untuk *rule* dan nilai bobot *CF* Pakar diperoleh dari kajian literatur medis yang terverifikasi [5], [14].

Setiap gejala klinis TBC paru yang telah diidentifikasi pada Tabel 1, selanjutnya diberikan nilai bobot *CF* Pakar masing-masing, sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Nilai *CF* Pakar Setiap Gejala

Kode	Nilai <i>CF</i> Pakar
G1	0.8
G2	0.4
G3	0.8
G4	0.6
G5	0.4
G6	0.4
G7	0.8
G8	0.4
G9	0.8
G10	0.8

Berdasarkan nilai *CF* Pakar pada Tabel 2, menunjukkan tingkat signifikansi setiap gejala dalam mengindikasikan kemungkinan tuberkulosis paru menurut pengetahuan medis, dengan rentang nilai 0 hingga 1. Semakin tinggi nilai *CF* Pakar maka semakin kuat gejala tersebut mengindikasikan kemungkinan penyakit tuberkulosis paru.

3.3. Perancangan Rule Base

Tabel 3. Rule Base Diagnosis Dini TBC Paru

Kode Rule	Kondisi (<i>IF</i>)	Kesimpulan (<i>THEN</i>)
R1	<i>IF</i> Tidak ada G1	Tidak Terindikasi Tuberkulosis Paru
R2	<i>IF</i> G1	Tidak Terindikasi Tuberkulosis Paru
R3	<i>IF</i> G1 AND G3	Terindikasi Tuberkulosis Paru
R4	<i>IF</i> G1 AND G9 AND G10	Terindikasi Tuberkulosis Paru
R5	<i>IF</i> G1 AND G7 AND G9 AND G10	Terindikasi Tuberkulosis Paru
R6	<i>IF</i> G1 AND G2 AND G4 AND G5 AND G6 AND G7 AND G9 AND G10	Terindikasi Tuberkulosis Paru
R7	<i>IF</i> G1 AND G2 AND G3 AND G4 AND G5 AND G6 AND G7 AND G8 AND G9 AND G10	Terindikasi Tuberkulosis Paru

Pengetahuan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya direpresentasikan ke dalam bentuk aturan produksi (*production rules*) berbasis logika *IF-THEN*, sebagaimana yang telah dirancang pada tabel 3 dapat dilihat, *R1* dan *R2* merupakan aturan penolakan. *R1* berlaku ketika pengguna tidak melaporkan adanya batuk lebih dari 2 minggu, sedangkan *R2* berlaku ketika G1 hadir namun tidak disertai gejala pendukung lainnya. Sementara itu, *R3* hingga *R7* merupakan aturan penerimaan yang memerlukan kombinasi G1 dengan satu atau lebih gejala pendukung untuk menghasilkan kesimpulan terindikasi.

3.4. Perancangan Mekanisme Inferensi Forward Chaining

Pada sistem ini, *Forward Chaining* digunakan untuk menelusuri gejala hingga menghasilkan diagnosis. Proses dimulai dengan memasukkan gejala yang dipilih ke dalam *working memory* sebagai data awal. Sistem terlebih dahulu memeriksa G1 sebagai gejala kunci utama. Jika G1 tidak ada, aturan *R1* langsung aktif dan menghasilkan kesimpulan Tidak Terindikasi Tuberkulosis Paru. Jika G1 ada tanpa gejala lain, sistem mengaktifkan *R2* dengan kesimpulan yang sama.

Ketika G1 disertai minimal satu gejala pendukung, sistem akan mengevaluasi aturan *R3* hingga *R7* secara berurutan dengan mencocokkan setiap premis (bagian *IF*) dengan fakta yang ada dalam *working memory*. Jika seluruh premis pada suatu aturan terpenuhi, aturan tersebut diaktifkan (*fired*) dan menghasilkan diagnosis Terindikasi Tuberkulosis Paru. Sistem dirancang untuk terus mengevaluasi seluruh aturan yang ada, sehingga memungkinkan lebih dari satu aturan aktif sekaligus apabila kombinasi gejala pengguna memenuhi beberapa pola aturan secara bersamaan. Seluruh gejala yang terdapat pada aturan yang aktif tersebut kemudian diteruskan sebagai *input* dalam perhitungan *Certainty Factor*.

3.5. Pemetaan Nilai *CF* User

Pada sistem ini, pengguna tidak diminta memasukkan nilai keyakinan dalam bentuk angka, melainkan melalui pilihan jawaban kontekstual untuk setiap gejala. Setiap jawaban yang tersedia kemudian dipetakan ke nilai *CF* User dalam rentang 0 hingga 1 melalui mekanisme *input mapping* [15], di mana 0 menunjukkan tidak adanya gejala dan 1 menunjukkan gejala dirasakan secara penuh. Sedangkan, nilai di antara 0 hingga 1 merepresentasikan tingkat keparahan gejala yang bervariasi. Rancangan pemetaan pilihan jawaban ke nilai *CF* User untuk seluruh gejala G1 hingga G10 ditampilkan secara.

Tabel 4. Pemetaan Pilihan Jawaban Gejala ke Nilai *CF* User

Kode Gejala	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Nilai <i>CF</i> User
G1	Sudah berapa lama Anda mengalami batuk?	Sudah lebih dari 2 minggu dan masih berlanjut	1.0
		Sudah sekitar 2 minggu	0.8
		Kurang dari 2 minggu	0.4
		Tidak sedang batuk	0

Kode Gejala	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Nilai CF User
G2	Saat batuk, apakah disertai dahak?	Ya, selalu keluar dahak setiap batuk	1.0
		Kadang-kadang ada dahak, tidak setiap batuk	0.6
		Jarang, dahaknya sedikit	0.4
		Tidak ada dahak sama sekali	0
G3	Apakah Anda pernah batuk disertai darah?	Ya, darah keluar setiap kali batuk	1.0
		Ya, sudah beberapa kali terjadi	0.8
		Pernah sekali, dahak berwarna kemerahan	0.6
		Tidak pernah	0
G4	Apakah Anda merasakan nyeri atau ketidaknyamanan di area dada?	Ya, nyeri dada terasa terus-menerus bahkan saat istirahat	1.0
		Ya, nyeri muncul terutama saat batuk atau bernapas dalam	0.8
		Ada rasa tidak nyaman di dada, tapi tidak sampai nyeri	0.4
		Tidak ada nyeri dada sama sekali	0
G5	Apakah Anda mengalami sesak napas?	Ya, sesak napas bahkan saat istirahat	1.0
		Ya, sesak muncul saat aktivitas ringan	0.8
		Sesak hanya muncul saat aktivitas berat	0.4
		Tidak mengalami sesak napas	0
G6	Apakah Anda sering merasa lemas, lesu, atau tidak bertenaga tanpa sebab yang jelas?	Ya, hampir setiap hari terasa sangat lemas hingga sulit beraktivitas	1.0
		Ya, sering merasa lemas meski tidak banyak beraktivitas	0.8
		Kadang-kadang merasa lemas, tidak menentu	0.4
		Tidak, kondisi tubuh normal dan bertenaga	0
G7	Apakah berat badan Anda menurun dalam beberapa waktu terakhir tanpa alasan yang jelas?	Ya, berat badan turun cukup signifikan belakangan ini	1.0
		Sedikit berkurang, tapi tidak terlalu terasa	0.4
		Tidak ada penurunan berat badan	0
G8	Apakah nafsu makan Anda berkurang belakangan ini?	Ya, hampir tidak mau makan sama sekali	1.0
		Ya, porsi makan berkurang dari biasanya	0.8
		Kadang tidak nafsu makan, tidak setiap hari	0.4
		Nafsu makan normal seperti biasa	0
G9	Apakah Anda mengalami demam belakangan ini?	Ya, demam tinggi yang berlangsung terus-menerus	1.0
		Ya, demam ringan yang hilang timbul	0.8
		Kadang-kadang merasa hangat, tidak pasti demam	0.4
		Tidak ada demam	0
G10	Apakah Anda sering berkeringat di malam hari meski tidak kepanasan?	Ya, hampir setiap malam berkeringat banyak meski tidak kepanasan	1.0
		Ya, beberapa kali dalam seminggu	0.8
		Pernah terjadi, tapi jarang	0.4
		Tidak pernah	0

Berdasarkan Tabel 4, setiap gejala dirancang memiliki empat pilihan jawaban yang merepresentasikan tingkat kondisi dari tidak ada hingga paling parah. Khusus untuk G7 (penurunan berat badan), pilihan jawaban hanya terdiri dari tiga opsi karena sifatnya lebih sederhana. Pilihan jawaban dirancang secara deskriptif agar mudah dipahami oleh pengguna awam. Nilai *CF User* yang diperoleh kemudian dikombinasikan dengan *CF Pakar* dari Tabel 2 dalam perhitungan *Certainty Factor* menggunakan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas tentang hasil perancangan sistem pakar diagnosis dini tuberkulosis paru yang mencakup rancangan antarmuka *website*, perancangan *database*, simulasi perhitungan *Certainty Factor*, serta pembahasan keseluruhan terhadap rancangan yang telah dihasilkan.

4.1. Perancangan Antarmuka Website

Perancangan antarmuka *website* divisualisasikan dalam bentuk *wireframe low-fidelity* yang menggambarkan alur interaksi utama pengguna dengan sistem. Terdapat dua halaman inti yang dirancang, yaitu halaman *form* konsultasi dan halaman hasil diagnosis.

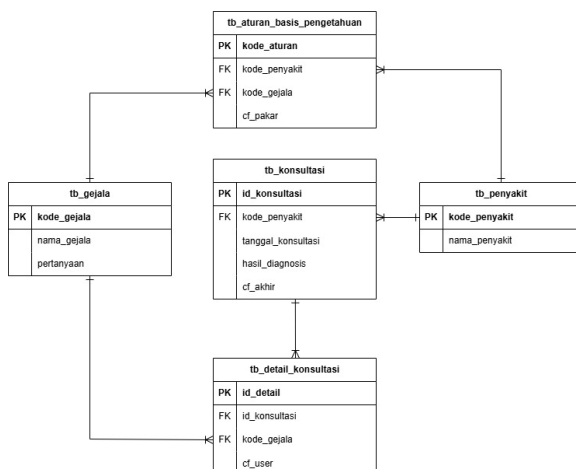
Gambar 3. Rancangan Halaman *Form* Konsultasi

Gambar 3 menampilkan rancangan halaman *form* konsultasi sebagai tempat pengguna memasukkan data gejalanya. Pada bagian atas terdapat *progress indicator* yang menunjukkan jumlah pertanyaan yang telah dijawab beserta persentase penyelesaiannya. Di bawahnya, pertanyaan gejala G1 hingga G10 ditampilkan berurutan dengan pilihan jawaban yang telah dipetakan ke nilai *CF User* sesuai Tabel 4. Setelah semua pertanyaan dijawab, pengguna dapat menekan tombol Mulai Diagnosis untuk menjalankan proses diagnosisnya.

Gambar 4. Rancangan Halaman Hasil Diagnosis

Gambar 4 menunjukkan rancangan halaman hasil diagnosis yang menampilkan *output* sistem secara lengkap. Halaman ini menampilkan status diagnosis (Terindikasi atau Tidak Terindikasi Tuberkulosis Paru) beserta persentase tingkat keyakinan dibagian atas. Di bawahnya, ditampilkan daftar gejala yang terdeteksi beserta jawaban yang dipilih pengguna. Terdapat juga catatan bahwa hasil ini merupakan penilaian awal bukan pengganti diagnosis medis resmi, serta fitur tambahan seperti, dapat mencetak hasil dalam format *PDF*, menyimpan ke riwayat konsultasi, dan melakukan konsultasi ulang.

4.2. Perancangan Database



Gambar 5. ERD Sistem Pakar Tuberkulosis Paru

Perancangan *database* pada sistem pakar ini direpresentasikan dalam bentuk *Entity Relationship Diagram (ERD)* yang menggambarkan struktur penyimpanan data serta hubungan antar tabel, sebagaimana ditampilkan pada gambar 5, *database* sistem pakar terdiri atas lima tabel yang saling terhubung. Tabel *tb_gejala* berfungsi untuk menyimpan data gejala TBC paru (G1-G10) beserta pertanyaan untuk pengguna, sedangkan *tb_penyakit* menyimpan identitas penyakit yang menjadi *output* diagnosis sistem. Tabel *tb_aturan_basis_pengetahuan* menghubungkan gejala dan penyakit sekaligus menyimpan nilai *cf_pakar* untuk proses perhitungan *Certainty Factor*. Selanjutnya, *tb_konsultasi* mencatat riwayat konsultasi berupa tanggal, hasil diagnosis, dan nilai *cf_akhir*. Terakhir, *tb_detail_konsultasi* digunakan untuk menyimpan detail gejala yang dipilih pengguna beserta nilai *cf_user* untuk setiap sesi konsultasi, sehingga riwayat konsultasi dapat ditampilkan kembali secara lengkap kepada pengguna.

4.3. Simulasi Penerapan Forward Chaining dan Certainty Factor

Sebagai bentuk validasi terhadap rancangan yang telah dirumuskan, berikut dilakukan simulasi dengan skenario kasus nyata. Sebagai contoh, seorang pengguna melaporkan 8 gejala dengan pilihan jawaban sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 5. Data Input Simulasi Pengguna

Kode	CF User	CF Pakar
G1	1.0	0.8
G2	0.6	0.4
G4	0.4	0.6
G5	0.8	0.4
G6	0.4	0.4
G7	0.4	0.8
G9	0.4	0.8
G10	0.4	0.8

Berdasarkan data pada Tabel 5, mesin inferensi *Forward Chaining* menelusuri aturan secara berurutan dimulai dari pemeriksaan G1 sebagai gejala kunci. Karena G1 hadir maka R1 tidak aktif, dan karena terdapat gejala pendukung lainnya maka R2 juga tidak aktif. Sistem kemudian mengevaluasi R3 hingga R7 secara bertahap. Pada evaluasi R6 ditemukan bahwa seluruh kondisi terpenuhi, sehingga R6 aktif dan menghasilkan kesimpulan Terindikasi Tuberkulosis Paru. Seluruh gejala yang terdapat pada R6 kemudian diteruskan sebagai dasar perhitungan *Certainty Factor*.

Perhitungan dimulai dengan menghitung nilai *CF* untuk setiap gejala secara individual menggunakan rumus berikut:

$$CF(H, E) = CF_{User} \times CF_{Pakar} \quad (2)$$

Hasil perhitungan *CF* masing-masing gejala ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan CF per Gejala

Kode	CF User	CF Pakar	CF(H,E)
G1	1.0	0.8	0.8
G2	0.6	0.4	0.24
G4	0.4	0.6	0.24
G5	0.8	0.4	0.32
G6	0.4	0.4	0.16
G7	0.4	0.8	0.32
G9	0.4	0.8	0.32
G10	0.4	0.8	0.32

Setelah nilai CF setiap gejala diperoleh, selanjutnya nilai-nilai tersebut dikombinasikan secara bertahap menggunakan rumus berikut:

$$CF_{combine} = CF_{old} + CF_{new} \times (1 - CF_{old})(3)$$

Sehingga seluruh gejala diperhitungkan, dengan hasil sebagai berikut:

$$CF_{combine_1} = 0.8 + 0.24 \times (1 - 0.8) = 0.848$$

$$CF_{combine_2} = 0.848 + 0.24 \times (1 - 0.848) = 0.88448$$

$$CF_{combine_3} = 0.88448 + 0.32 \times (1 - 0.88448) = 0.921446$$

$$CF_{combine_4} = 0.921446 + 0.16 \times (1 - 0.921446) = 0.934015$$

$$CF_{combine_5} = 0.934015 + 0.32 \times (1 - 0.934015) = 0.955130$$

$$CF_{combine_6} = 0.955130 + 0.32 \times (1 - 0.955130) = 0.969488$$

$$CF_{combine_7} = 0.969488 + 0.32 \times (1 - 0.969488) = 0.97952$$

Nilai $CF_{combine}$ akhir yang diperoleh kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase menggunakan rumus $CF_{persentase}$, sehingga:

$$CF_{persentase} = 0.97952 \times 100\% = 97,9\%$$

Hasil persentase tersebut kemudian dibulatkan menjadi 98%, sehingga hasil simulasi menunjukkan bahwa berdasarkan 8 gejala yang dilaporkan dengan tingkat keyakinan yang bervariasi, sistem menghasilkan diagnosis Terindikasi Tuberkulosis Paru dengan tingkat keyakinan sebesar 98%.

4.4. Pembahasan

Hasil perancangan sistem pakar diagnosis dini tuberkulosis paru menunjukkan bahwa integrasi *Forward Chaining* dan *Certainty Factor* mampu menghasilkan sistem yang tidak hanya menelusuri gejala secara sistematis, tetapi juga memberikan tingkat keyakinan diagnosis yang terukur. Dari sisi basis pengetahuan, penetapan G1 (batuk lebih dari 2 minggu) sebagai gejala kunci sesuai dengan standar klinis TBC paru. Selain itu, 7 aturan (*R1-R7*) yang dirancang mampu merepresentasikan berbagai kombinasi gejala, sehingga sistem adaptif terhadap variasi kondisi pengguna.

Dari sisi perhitungan, mekanisme *Certainty Factor* mampu menggabungkan tingkat keyakinan dari beberapa gejala menjadi satu nilai diagnosis yang komprehensif. Penggunaan pilihan jawaban kontekstual juga memudahkan pengguna awam dalam menyampaikan kondisi tanpa memahami skala numerik. Dibandingkan penelitian terdahulu, sistem ini memberikan keunggulan dengan menggabungkan

alur inferensi yang sistematis dan hasil diagnosis yang dilengkapi persentase keyakinan, sehingga lebih transparan dan informatif.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem pakar diagnosis dini tuberkulosis paru berbasis *website* dengan mengintegrasikan metode *Forward Chaining* sebagai mekanisme inferensi dan *Certainty Factor* sebagai penanganan ketidakpastian, yang diimplementasikan melalui 10 gejala klinis, 7 aturan produksi (*R1-R7*), pemetaan nilai CF_{User} berbasis pilihan jawaban kontekstual, serta antarmuka *website* yang dirancang agar mudah digunakan oleh masyarakat awam, di mana hasil simulasi menunjukkan sistem mampu menghasilkan diagnosis beserta persentase tingkat keyakinan yang terukur berdasarkan kombinasi gejala yang dilaporkan pengguna. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar basis pengetahuan dapat divalidasi secara langsung oleh pakar kesehatan, dilakukan pengujian akurasi menggunakan kasus klinis nyata, dan mempertimbangkan pengembangan fitur penjelasan hasil diagnosis yang lebih informatif bagi pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, "Tuberculosis (TB)." [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Gerakan Indonesia Akhiri TBC." [Online]. Available: <https://kemkes.go.id/id/indonesias-movement-to-end-tb>
- [3] Dinas Kesehatan Provinsi Bali, "Jumlah Penderita TBC Paru Per Kabupaten/Kota | Satu Data Indonesia Provinsi Bali." [Online]. Available: https://balisatudata.baliprov.go.id/laporan/jumlah-penderita-tbc-paru-per-kabupatenkota?district_id=&sub_district_id=&year=2022&month=&date=
- [4] R. A. Rahmadani, A. A. Sainal, and S. Suprpto, "Pemberdayaan Masyarakat Dalam Upaya Peningkatan Pengetahuan Tentang Tuberkulosis," *Abdimas Polsaka; J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 2, pp. 117–123, 2023, doi: <https://doi.org/10.35816/abdimaspolsaka.v2i2.50>.
- [5] U. Sutisna, A. Fiorenza, D. Sofia, and S. Fitri, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit TBC Menggunakan Algoritma Forward Chaining Dan Certainty Factor Berbasis Android Di Puskesmas Kedaung Barat," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 2621–4970, 2025, doi: <https://doi.org/10.47324/ilkominfo.v8i2.357>.
- [6] E. D. Sidqiyah, H. Mustafidah, M. A. Fitriani, and M. Hamka, "Pengembangan Sistem Pakar untuk Skrining Awal Penderita Penyakit Tuberkulosis Menggunakan Forward Chaining,"

- J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 10, no. 2, pp. 348–358, 2025, doi: 10.30591/jpit.v10i2.8621.
- [7] H. R. Hidayat and W. Wiguna, “Aplikasi Diagnosa Penyakit Tuberculosis Menggunakan Metode Certainty Factor Berbasis Android,” *J. Responsif*, vol. 3, no. 1, pp. 20–29, 2021, doi: <https://doi.org/10.51977/jti.v3i1.331>.
- [8] S. D. Pralambang and S. Setiawan, “Faktor Risiko Kejadian Tuberculosis di Indonesia,” *J. Biostat. Kependud. dan Inform. Kesehat.*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.7454/bikfokes.v2i1.1023.
- [9] C. R. P. Amalia and Mahyuddin, “Perancangan Sistem Pakar untuk Mendiagnosa Tingkat Stress Belajar pada Siswa SMA dengan Menggunakan Metode Forward Chaining,” *Des. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–54, 2023.
- [10] S. N. Yanti and E. Budiati, “Aplikasi Sistem Pakar untuk Mendiagnosa Virus Covid-19 pada Manusia Berbasis Web Menggunakan Metode Forward Chaining,” *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 5, no. 4, pp. 451–458, 2020, doi: <https://doi.org/10.32493/informatika.v5i4.4944>.
- [11] A. NurJumala, N. A. Prasetyo, and H. W. Utomo, “Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Rhinitis Menggunakan Metode Forward Chaining Berbasis Web,” *JURIKOM (Jurnal Ris. Komputer)*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.30865/jurikom.v9i1.3815>.
- [12] H. H. A. Rabbani, A. Jamaluddin, and A. Solehudin, “Sistem Pakar Diagnosa Awal Penyakit Jantung Menggunakan Metode Forward Chaining Dan Certainty Factor Berbasis Website,” *Infotech J.*, vol. 1861, no. 9, pp. 442–451, 2023, doi: 10.31949/infotech.v9i2.6401.
- [13] S. L. Mufreni and F. A. Priyanto, “Sistem Pakar Deteksi Dini Diabetes Mellitus Menggunakan Metode Certainty Factor (CF) Berbasis Laravel,” *J. Inform. Teknol. dan Sains*, vol. 7, no. 3, pp. 1492–1501, 2025, doi: 10.51401/jinteks.v7i3.6052.
- [14] W. Wirdawati, R. Sovia, and B. Hendrik, “Diagnosa Penyakit Tuberculosis Paru Menggunakan Metode Forward Chaining dan Certainty Factor,” *J. Pus. Akses Kaji. Teknol. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 2, pp. 5–8, 2025, doi: 10.55382/jurnalpustakaai.v5i2.1217.
- [15] I. P. D. Suarnatha and I. M. A. O. Gunawan, “Implementasi metode certainty factor dalam sistem pakar deteksi penyakit pencernaan pada manusia,” *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2022, doi: <https://doi.org/10.37859/coscitech.v3i2.3872>.