



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 3 (2025) pp: 43-52

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

## Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Menular Tuberkulosis Dengan Metode *Fuzzy Tsukamoto* Berbasis *Web Mobile*

Yohanes Bolo Buto Koten<sup>1\*</sup>, Bernadete Deta<sup>2</sup>, Alfian Nara Weking<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Informatika, Institut Keguruan dan Teknologi Larantuka, Indonesia

Email: [jhokoten@gmail.com](mailto:jhokoten@gmail.com)

### Abstrak

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan menjadi salah satu masalah kesehatan global (Global Tuberculosis Report 2021 Supplementary Material, 2022). Di Indonesia, TB menjadi salah satu penyakit menular utama yang perlu ditangani secara serius. Puskesmas Nagi, salah satu Puskesmas di Kabupaten Flores Timur, tercatat sebagai fasilitas dengan jumlah penemuan kasus TB terbanyak dalam beberapa tahun terakhir. TB umumnya menyerang paru-paru, namun dapat juga menyebar ke organ lain seperti ginjal, tulang belakang, otak, dan organ tubuh lainnya. Gejala umum TB meliputi batuk berdarah, demam, keringat malam, penurunan berat badan, dan kelelahan. Penanganan TB memerlukan pengobatan antibiotik selama 6–8 bulan untuk membunuh bakteri penyebab dan mencegah perkembangan penyakit lebih lanjut. Kendati pengobatan tersedia, berbagai kendala masih dihadapi, seperti kurangnya kesadaran masyarakat, penolakan pengobatan karena efek samping, serta resistensi terhadap antibiotik. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan edukasi, kualitas layanan kesehatan, dan program pencegahan yang efektif. Sebagai solusi, penelitian ini merancang sistem pakar berbasis web menggunakan logika Fuzzy. Sistem ini bertujuan membantu tenaga kesehatan dalam mendiagnosis TB berdasarkan gejala pasien, memberikan informasi pengobatan yang sesuai, serta edukasi mengenai pencegahan. Diharapkan, sistem pakar ini dapat menjadi alat bantu yang efektif dalam penanganan TB, khususnya di wilayah kerja Puskesmas Nagi.

Kata kunci: Tuberkulosis, Sistem Pakar, Website, Logika Fuzzy

### 1. Latar Belakang

Sistem pakar merupakan cabang dari kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang dirancang untuk meniru proses berpikir seorang ahli atau pakar dalam suatu bidang tertentu. Sistem ini bekerja dengan mengintegrasikan basis pengetahuan (knowledge base) dan mesin inferensi (inference engine) guna melakukan penalaran dan pengambilan keputusan seperti halnya yang dilakukan oleh manusia ahli (Durkin, 1994). Dalam perkembangannya, sistem pakar telah digunakan secara luas di berbagai sektor, mulai dari industri manufaktur, keuangan, hingga kesehatan. Khusus dalam bidang medis, sistem pakar menunjukkan potensi besar untuk membantu proses diagnosis penyakit, memberikan rekomendasi pengobatan, serta mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih objektif dan efisien. Hal ini menjadi sangat penting dalam konteks dunia medis modern yang dituntut untuk bekerja cepat, akurat, dan berbasis data. Di samping itu, keberadaan sistem pakar juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada tenaga medis yang terbatas, terutama di daerah terpencil atau wilayah dengan sumber daya kesehatan yang minim.

Salah satu permasalahan kesehatan yang masih menjadi perhatian global hingga saat ini adalah penyakit tuberkulosis (TB). TB merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, yang umumnya menyerang paru-paru, namun juga dapat menginfeksi organ lain seperti tulang, kelenjar getah bening, dan otak. Penularan TB terjadi melalui udara, khususnya dari droplet yang dikeluarkan saat penderita batuk, bersin, atau berbicara. Berdasarkan laporan World Health Organization (WHO), Indonesia merupakan salah satu dari tiga negara dengan beban TB tertinggi di dunia, bersama dengan India dan China. Pada tahun 2017 saja, tercatat 420.994 kasus TB di Indonesia (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, n.d.), yang menunjukkan bahwa penyakit ini masih menjadi tantangan besar dalam sistem kesehatan nasional.

Kondisi di lapangan juga mencerminkan tingginya beban penyakit TB, terutama di wilayah dengan akses kesehatan yang terbatas. Di Kabupaten Flores Timur, Nusa Tenggara Timur, data Dinas Kesehatan menunjukkan

bahwa selama periode 2021 hingga 2023, terdapat 665 kasus TB yang tersebar di 21 Puskesmas di 20 kecamatan. Puskesmas Nagi di Kecamatan Larantuka mencatat jumlah kasus terbanyak, yakni 68 kasus, dengan rincian 18 kasus pada tahun 2020, 16 kasus (2021), 34 kasus (2022), 17 kasus (2023), dan kembali naik menjadi 34 kasus pada tahun 2024. Data ini menegaskan pentingnya inovasi sistematis dan berbasis teknologi dalam upaya penanggulangan TB, terutama dalam tahap awal diagnosis yang masih menjadi titik lemah pelayanan kesehatan di daerah tersebut.

Salah satu tantangan utama dalam penanganan TB adalah proses diagnosis yang lambat dan sering kali terlambat karena gejalanya yang tidak spesifik. Gejala seperti batuk berdahak lebih dari dua minggu, demam, keringat malam, dan penurunan berat badan sering kali dianggap sepele atau disalahartikan sebagai penyakit ringan lainnya. Akibatnya, banyak penderita baru menyadari infeksi TB setelah kondisinya memburuk dan telah menularkan bakteri ke orang-orang di sekitarnya. Penelitian oleh Budi et al. (2018) menunjukkan bahwa individu dengan sistem imun rendah seperti penderita HIV/AIDS, lansia, dan balita memiliki risiko lebih tinggi terkena TB dan mengalami komplikasi serius. Oleh karena itu, diagnosis dini dan akurat menjadi faktor krusial dalam memutus rantai penularan TB sekaligus meningkatkan efektivitas pengobatan.

Dalam konteks inilah, pendekatan teknologi berbasis sistem pakar menjadi sangat relevan untuk diterapkan. Salah satu metode unggulan dalam pengembangan sistem pakar adalah logika Fuzzy, yang pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965 (Zadeh, 1965). Logika Fuzzy merupakan metode yang dirancang untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam data, yang sering ditemukan dalam bidang medis. Metode ini memungkinkan sistem untuk bekerja secara lebih fleksibel dan menyerupai cara berpikir manusia, sehingga mampu memberikan hasil diagnosis yang lebih realistis dan adaptif terhadap variasi gejala yang dialami pasien.

Salah satu bentuk implementasi logika Fuzzy dalam sistem pakar adalah metode Fuzzy Tsukamoto. Metode ini bekerja dengan mengubah input berupa nilai-nilai gejala ke dalam bentuk fungsi keanggotaan, kemudian dilakukan proses inferensi yang menghasilkan output diagnosis. Keunggulan Fuzzy Tsukamoto terletak pada kemampuannya dalam memberikan keluaran secara gradual (gradasi nilai), bukan dalam bentuk keputusan biner ya/tidak. Dengan demikian, sistem ini lebih sesuai untuk kasus medis seperti TB, yang gejalanya bersifat kompleks dan seringkali tidak muncul secara bersamaan. Selain itu, metode ini juga memberikan transparansi logika pengambilan keputusan, sehingga dapat meningkatkan kepercayaan pengguna, baik tenaga medis maupun pasien.

Melalui penelitian ini, penulis mengembangkan sebuah sistem pakar diagnosis penyakit TB berbasis web mobile dengan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Sistem ini dirancang untuk menjadi alat bantu diagnosis yang cepat, akurat, dan mudah diakses, terutama oleh masyarakat di daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses ke layanan medis profesional. Sistem bekerja dengan cara menerima input berupa gejala-gejala yang dialami pengguna, kemudian memberikan hasil diagnosis awal dan rekomendasi tindak lanjut, seperti saran pemeriksaan lanjutan atau rujukan ke fasilitas kesehatan terdekat. Keunggulan platform berbasis web mobile juga memungkinkan sistem ini diakses secara fleksibel melalui berbagai perangkat digital, sehingga memperluas jangkauan dan dampaknya terhadap masyarakat.

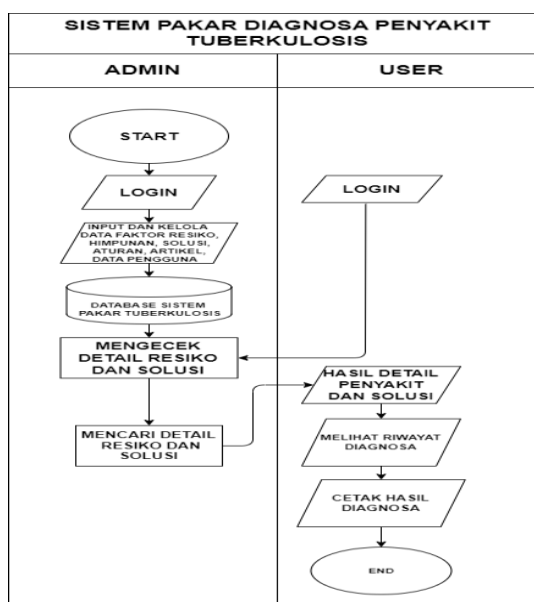
Namun demikian, perlu disadari bahwa keberhasilan sistem ini tetap sangat bergantung pada kualitas dan kelengkapan data gejala yang dimasukkan oleh pengguna. Selain itu, validasi klinis secara menyeluruh tetap diperlukan agar sistem dapat digunakan secara resmi dalam praktik medis. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya menitikberatkan pada aspek teknis pengembangan sistem, tetapi juga mempertimbangkan aspek validitas medis, kemudahan penggunaan (*user friendly*), serta relevansi sosial dari sistem yang dibangun.

Dengan demikian, pengembangan sistem pakar diagnosis TB berbasis Fuzzy Tsukamoto ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam mendukung program nasional penanggulangan TB dan mempercepat deteksi dini di tingkat masyarakat, sekaligus menjadi solusi inovatif dalam pemanfaatan teknologi untuk layanan kesehatan yang lebih merata dan responsif.

## 2. Metode Penelitian

### 1. Sistem pakar

Sistem pakar atau *Expert System* yaitu suatu aplikasi komputer yang ditujukan untuk membantu pengambilan keputusan atau pemecahan persoalan dalam bidang yang spesifik (Soge, Deta, and Watomakin 2024). Sistem ini bekerja dengan menggunakan pengetahuan dan metode analisis yang telah didefinisikan terlebih dahulu oleh pakar yang sesuai dengan bidang keahliannya. (Ramadhani, Fitri, and Handayani 2020). Berikut tahapan proses sistem pakar:



Gambar 1. Arsitektur sistem pakar

## 2. Metode Fuzzy Tsukamoto

Metode *Fuzzy Tsukamoto* adalah salah satu metode dalam sistem logika fuzzy yang digunakan untuk menangani data yang bersifat samar atau tidak pasti. Dalam metode ini, setiap aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk implikasi *IF-THEN*, dan bagian konsekuensinya (THEN) harus berbentuk fungsi keanggotaan monoton (baik naik maupun turun). Proses inferensi dilakukan dengan menghitung derajat kebenaran (*firing strength*) dari setiap aturan fuzzy, kemudian digunakan untuk menghitung nilai *crisp* (tepat) sebagai output melalui proses defuzzifikasi berbasis rata-rata tertimbang (*weighted average*) (Widodo & Mustofa, 2017; Ramadhan et al., 2021).

Dalam konteks medis, seperti pada sistem pakar untuk diagnosis penyakit Tuberkulosis (TB), metode Fuzzy Tsukamoto sangat cocok digunakan karena mampu mengolah data gejala yang cenderung subjektif dan tidak pasti. Misalnya, intensitas batuk pasien bisa dikategorikan dalam nilai linguistik seperti *ringan*, *sedang*, atau *berat*, demikian juga dengan suhu tubuh dan frekuensi keringat malam. Semua data ini diubah menjadi bentuk fuzzy, lalu diproses menggunakan aturan-aturan yang telah ditetapkan. Metode ini memungkinkan sistem untuk memberikan hasil diagnosis akhir yang lebih fleksibel, realistis, dan adaptif terhadap kondisi sebenarnya, dibandingkan metode logika biner yang hanya mengenal nilai ya atau tidak. Dengan demikian, Fuzzy Tsukamoto menjadi pendekatan yang sangat berguna dalam menghasilkan keputusan medis yang lebih tepat dan akurat (Yusnita et al., 2020; Rachmawati & Wulandari, 2019).

## 3. Metode Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan suatu informasi yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian. Pada metode pengambilan data penelitian ini meliputi:

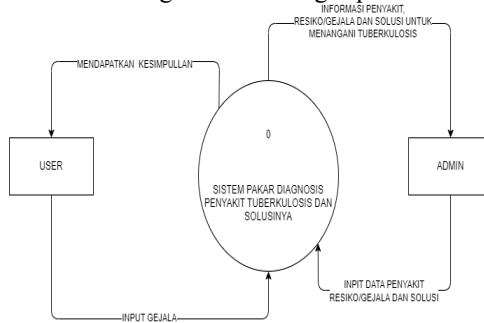
- a. Wawancara (*interview*), Penulis akan melakukan wawancara dengan Dokter. Dimana Dokter merupakan narasumber utama terkait dalam pembuatan Aplikasi Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Tuberkulosis Menggunakan Metode *Fuzzy Logic Tsukamoto*. Wawancara yang dilakukan dengan sistem tanya jawab terkait penyakit Tuberkulosis. Bagaimana cara penanggulangan yang dapat dilakukan untuk mencegah penyakit Tuberkulosis.
- b. Studi Pustaka, Dalam melakukan studi kepustakaan, pengumpulan bahan yang berkaitan dengan studi kasus perancangan sistem tersebut dilakukan dengan menggunakan bahan dari jurnal ilmiah, artikel, dan situs-situs resmi yang membahas mengenai penyakit Tuberkulosis. Hal ini akan menjadi panduan dalam penulisan skripsi untuk merancang sistem sebagai referensi informasi terkait dengan penyakit Tuberkulosis.
- c. Observasi atau melakukan pengamatan terkait kebutuhan pengguna agar menghasilkan system yang efektif dan efisien.

4. Metode Perancangan

a. Rancangan alur data sistem dalam bentuk DFD (Data Flow Diagram)

1) DFD level 0/ Diagram konteks

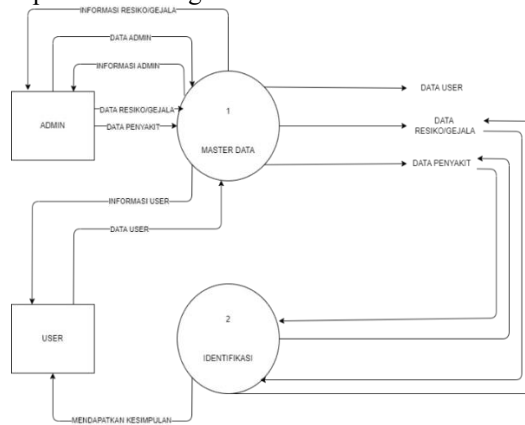
DFD level 0 dijelaskan proses utama yang ada pada sistem pakar berbasis Web dimana user dapat menginputkan faktor/gejala lalu mendapatkan informasi yang ingin dicari, sedangkan admin bertugas untuk menginputkan informasi.



Gambar 2. DFD level 0

2) DFD level 1

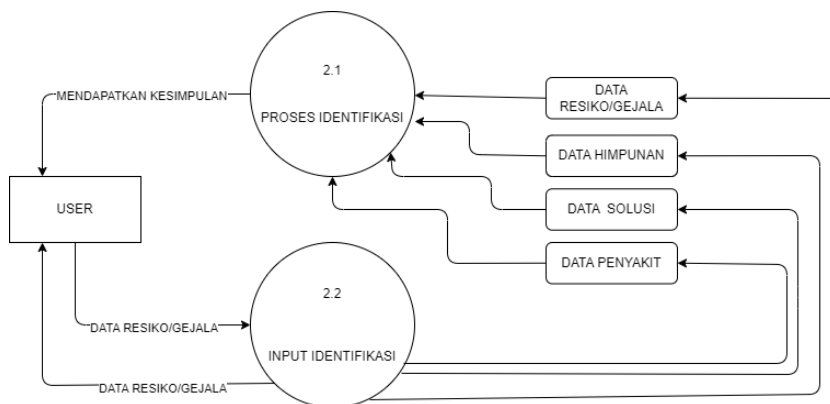
Dalam DFD level 1 dijelaskan proses pengolahan data oleh admin, user mendapatkan informasi berupa kesimpulan hasil diagnosa.



Gambar 3. DFD level 1

3) DFD level 2

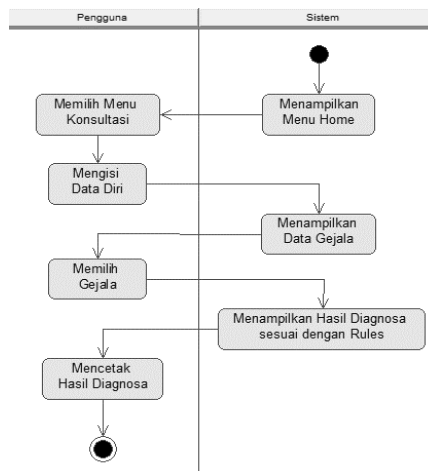
Pada DFD level 2 dijelaskan bahwa admin menginputkan data resiko/gejala, data penyakit, data solusi, data himpunan, data aturan/*rule* yang disimpan kedalam database.



Gambar 4. DFD level 2

**b. Activity Diagram**

Pada tahap ini menggambarkan *activity diagram* dari sistem pakar pada proses diagnosa yang menjelaskan aktivitas antara pengguna dengan sistem. Berikut ini gambar *activity diagram* sistem:



Gambar 5. Activity diagram

**c. Implementasi**

Tahap implementasi dilakukan pengolahan data dan fakta atau kondisi (rule) yang sudah diperoleh. Pengolahan akan diproses melalui sistem yang sudah dibuat sehingga dapat menghasilkan informasi dan persentase kepastiannya.(Suryana, Fauziah, and Sari 2020).

**d. Pengujian Akurasi**

Pengujian sistem yaitu tahap terakhir yang terdiri dari pelatihan dan pengujian dengan bertujuan mengetahui apakah sistem yang dirancang sesuai dengan harapan.(Mandiri, Hartanti, and Sari 2024)

**3. Hasil dan Diskusi**

Penerapan metode Fuzzy Tsukamoto dalam sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit Tuberkulosis dilakukan dengan menganalisis enam parameter gejala utama yang sering muncul pada penderita TB, antara lain batuk berdahak lebih dari dua minggu, demam, penurunan berat badan, keringat malam, nyeri dada, dan sesak napas. Masing-masing gejala dikonversi ke dalam nilai linguistik melalui fungsi keanggotaan fuzzy untuk menangkap ketidakpastian atau ambiguitas dalam tingkat keparahan gejala yang dirasakan pasien. Proses inferensi dilakukan berdasarkan aturan-aturan fuzzy yang telah ditentukan sebelumnya oleh pakar medis, sehingga memungkinkan sistem memberikan diagnosis secara bertingkat. Hasil keluaran dari sistem ini tidak bersifat biner, melainkan berupa tingkat kemungkinan yang terbagi ke dalam empat kategori, yaitu: (1) Tidak Terdeteksi Tuberkulosis, bagi pengguna dengan gejala ringan atau tidak relevan; (2) Terdeteksi Rendah, yang menunjukkan adanya indikasi awal atau gejala lemah; (3) Terdeteksi Tinggi, bagi pengguna dengan kombinasi gejala yang kuat dan konsisten dengan TB paru aktif; serta (4) Tuberkulosis Ekstra Paru, jika terdapat gejala spesifik yang mengarah pada infeksi TB di luar sistem pernapasan. Pendekatan ini memungkinkan sistem memberikan diagnosis yang lebih presisi dan adaptif terhadap variasi gejala antarindividu, sehingga meningkatkan akurasi serta kegunaan sistem dalam praktik diagnosis awal di lapangan.

**Variabel dan Himpunan Fuzzy**

Tabel 1. Gejala dan himpunan fuzzy

Gejala	Kategori Fuzzy
Batuk	Tidak (0–40)
	Sering (20–60)
	Parah (50–100)
Demam	Tidak (0–40)
	Tinggi (40–80)
	Sangat Tinggi (70–100)
Keringat Malam	Tidak (0–40)

	Sering (30–70)
	Sangat Berkeringat (70–100)
Penurunan BB	Tidak (0–40)
	Menurun (30–70)
	Sangat Menurun (70–100)
Kelelahan	Ya / Tidak
Nyeri Dada	Ya / Tidak

Tabel 2. Contoh rules dan hasil outputnya

No	Aturan (IF... THEN...)	Output	Range Output z
1	IF Batuk Parah AND Demam Sangat Tinggi AND Berat Badan Sangat Menurun AND Keringat Malam Sangat Berkeringat AND Kelelahan YA AND Nyeri Dada YA	TB Ekstra Paru	80 – 100
2	IF Batuk Sering AND Demam Tinggi AND Berat Badan Menurun AND Keringat Malam Sering	TB Tinggi	60 – 79
3	IF Batuk Tidak AND Demam Tidak	Tidak Terdeteksi TB	0 – 30
4	IF Batuk Tidak AND Demam Tinggi AND Keringat Malam Sering	TB Rendah	31 – 59

#### Contoh Kasus

Gejala Pasien:

- Batuk: 90 (Parah)
- Demam: 85 (Sangat Tinggi)
- Keringat Malam: 95 (Sangat Berkeringat)
- Berat Badan: 90 (Sangat Menurun)
- Kelelahan: Ya
- Nyeri Dada: Ya

#### Fuzzifikasi:

- $\mu_{\text{batuk\_parah}} = (90 - 50)/50 = 0.8$
- $\mu_{\text{demam\_sangat\_tinggi}} = (85 - 70)/30 = 0.5$
- $\mu_{\text{berat\_sangat\_menurun}} = (90 - 70)/30 = 0.67$
- $\mu_{\text{keringat\_sangat}} = (95 - 70)/30 = 0.83$
- $\mu_{\text{kelelahan\_ya}} = 1$
- $\mu_{\text{nyeri\_ya}} = 1$

Aturan R1:

- $\alpha_1 = \min(0.8, 0.5, 0.67, 0.83, 1, 1) = 0.5$
- $z_1$  (TB Ekstra Paru, dalam range 80–100):  $z_1 = 90$

Asumsikan:

- R2:  $\alpha_2 = 0.3, z_2 = 70$
- R3:  $\alpha_3 = 0.1, z_3 = 20$

### DEFUZZIFIKASI

$$Z = ((0.5 * 90) + (0.3 * 70) + (0.1 * 20)) / (0.5 + 0.3 + 0.1) \\ = (45 + 21 + 2) / 0.9 \\ = 68 / 0.9 = 75.56$$

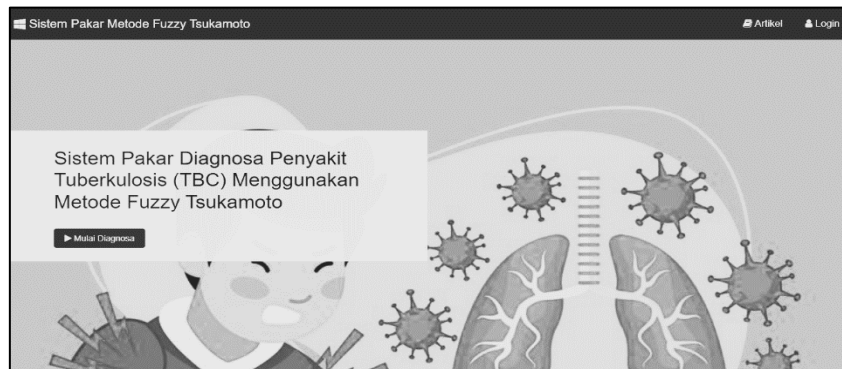
### HASIL DIAGNOSA

Nilai akhir  $Z = 75.56$ , maka sistem mendiagnosis pasien dengan kemungkinan Terdeteksi Tuberkulosis Tinggi.

#### *User interface*

Pengguna dapat berinteraksi dengan aplikasi sistem pakar dengan mengakses melalui web. Dengan aplikasi ini, pengguna dapat berkonsultasi layaknya konsultasi dengan pakar/dokter secara langsung dan mendapatkan informasi tentang penyakit menular.

Pada gambar 6 merupakan menu home yaitu menu utama dalam sistem. Didalam menu ini terdapat menu diagnosa, menu artikel dan menu login.

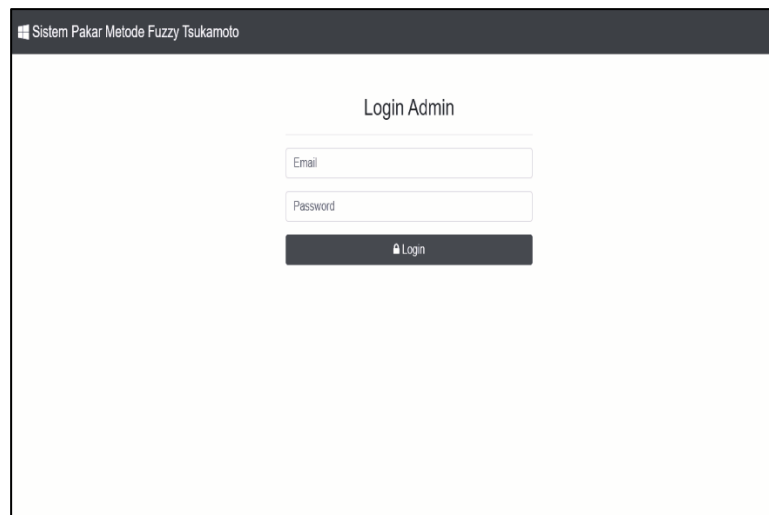


Gambar 6. Menu *home*

Pada gambar 7 merupakan menu untuk para pengguna yang belum memiliki akun, pengguna harus mengisi data diri dan membuat akun baru terlebih dahulu.

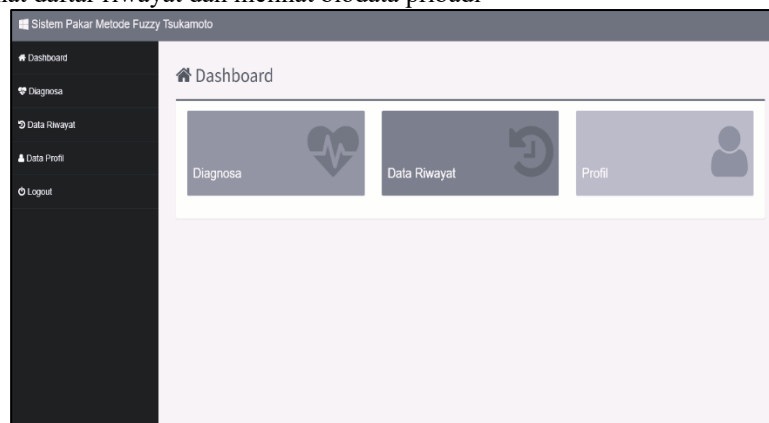
Gambar 7. Menu isi data diri

Pada gambar 8, setelah pengguna mendaftarkan akun baru, pengguna harus melakukan login untuk dapat masuk ke tampilan halaman pengguna



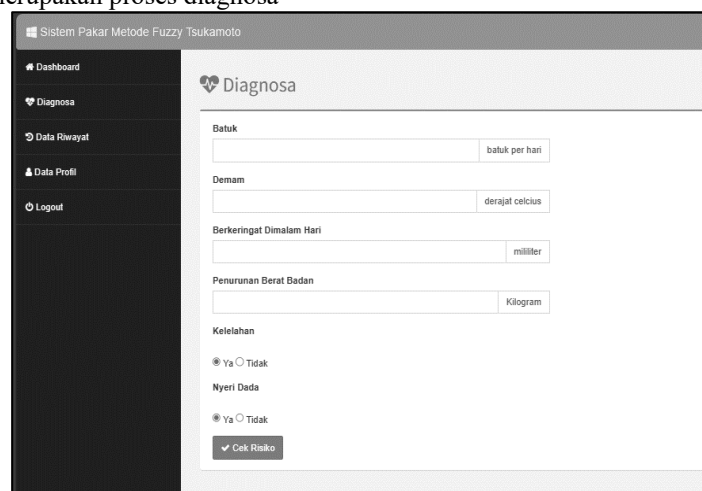
Gambar 8. Proses login

Pada Gambar 9 pengguna akan memasukan halaman tampilan pengguna dan pengguna dapat melakukan diagnosa, melihat daftar riwayat dan melihat biodata pribadi



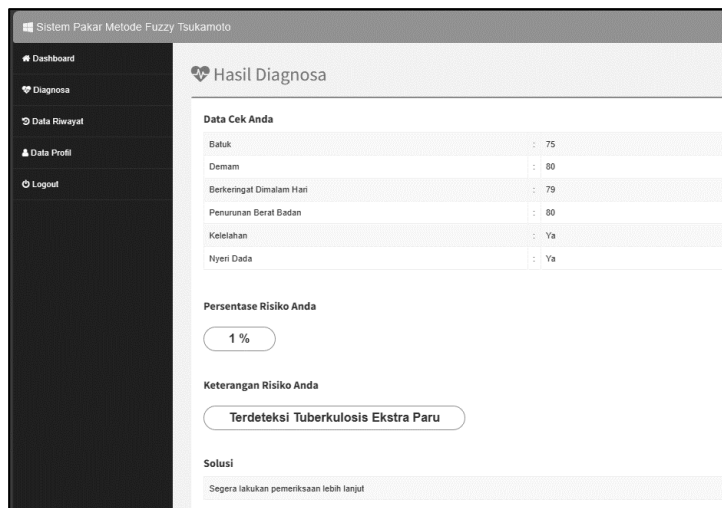
Gambar 9. Tampilan menu pengguna

Pada gambar 10 merupakan proses diagnosa



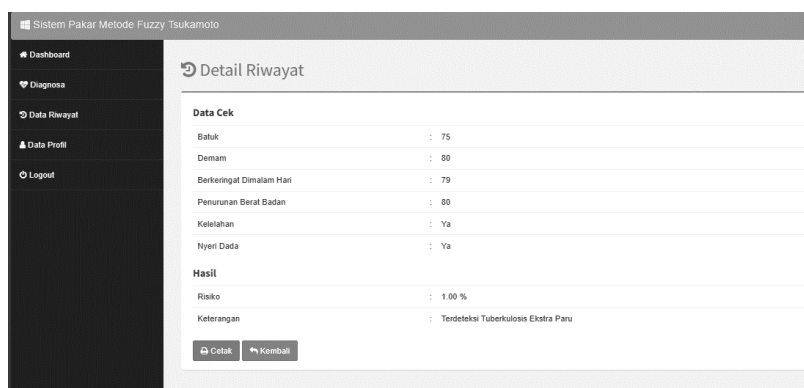
Gambar 10. Proses diagnosa

Pada gambar 11 merupakan hasil diagnosa, yaitu hasil dari proses diagnosa akan ditampilkan ketika sistem telah selesai melakukan perhitungan berdasarkan gejala yang dimasukkan.



Gambar 11. Hasil diagnosa

Pada gambar 12 menampilkan rekaman dan catatan hasil diagnosa.



Gambar 12. Riwayat diagnosa

### Hasil Pengujian

Berikut adalah hasil pengujian sistem pakar diagnosis Tuberkulosis menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto dibandingkan dengan hasil diagnosa oleh pakar medis (dokter):

Tabel 3. Hasil pengujian sistem

No	Nama Pasien	Hasil Diagnosa Sistem	Hasil Diagnosa Pakar	Kesesuaian
1	Pasien A	TB Tinggi	TB Tinggi	Cocok
2	Pasien B	TB Ekstra Paru	TB Ekstra Paru	Cocok
3	Pasien C	TB Rendah	TB Rendah	Cocok
4	Pasien D	TB Tinggi	TB Ekstra Paru	Tidak Cocok
5	Pasien E	TB Tidak Terdeteksi	TB Tidak Terdeteksi	Cocok
6	Pasien F	TB Rendah	TB Rendah	Cocok
7	Pasien G	TB Tinggi	TB Tinggi	Cocok
8	Pasien H	TB Ekstra Paru	TB Tinggi	Tidak Cocok
9	Pasien I	TB Tinggi	TB Tinggi	Cocok
10	Pasien J	TB Tidak Terdeteksi	TB Tidak Terdeteksi	Cocok

Dari 10 data pasien yang diuji, terdapat 8 hasil diagnosa sistem yang sesuai dengan hasil diagnosa pakar, dan 2 kasus yang tidak cocok. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kecocokan sebesar 80%.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem pakar untuk diagnosis penyakit Tuberkulosis menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang mampu mendiagnosis penyakit TB secara efektif berdasarkan enam gejala utama, yaitu batuk, demam, keringat malam hari, penurunan berat badan, kelelahan, dan nyeri dada. Sistem ini menggabungkan tahapan fuzzifikasi, inferensi berbasis aturan, dan defuzzifikasi untuk mengolah data input yang bersifat samar (tidak pasti) menjadi hasil diagnosis yang bersifat lebih realistis. Dengan tingkat output yang dibagi dalam kategori Tidak Terdeteksi, TB Rendah, TB Tinggi, dan TB Ekstra Paru, sistem menunjukkan performa yang cukup akurat dalam memberikan hasil diagnosis. Hasil pengujian terhadap 10 kasus pasien menunjukkan bahwa 8 hasil diagnosis sistem sesuai dengan diagnosis dari pakar medis, dengan tingkat kecocokan sebesar 80%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi sebagai alat bantu diagnosis awal yang dapat diterapkan di fasilitas pelayanan kesehatan dasar seperti Puskesmas, khususnya untuk membantu tenaga medis dalam pengambilan keputusan awal. Namun demikian, sistem ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, seperti validasi data klinis yang lebih luas, penyempurnaan aturan fuzzy berdasarkan karakteristik pasien lokal, serta peningkatan antarmuka pengguna agar lebih mudah digunakan oleh petugas kesehatan dan masyarakat. Dengan pengembangan lanjutan tersebut, diharapkan sistem pakar ini dapat berkontribusi dalam upaya penanggulangan penyakit Tuberkulosis secara lebih efektif dan efisien.

#### Referensi

1. Alimuddin, M., & Zakaria, M. (2021). Studi Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani dan Tsukamoto dalam Diagnosa Penyakit. *Jurnal Teknologi Informasi*, 13(1), 20–27.
2. Andriani, R., & Yanto, A. (2022). Validasi Sistem Pakar Diagnosis Penyakit. *Jurnal Riset Komputer*, 5(2), 61–67.
3. Anwar, M., & Harahap, R. (2023). Sistem Pakar Diagnosis Berbasis Web: Studi Kasus Tuberkulosis. *Jurnal Teknologi Informasi dan Sains*, 7(1), 76–85.
4. Astuti, R., & Nugroho, Y. (2021). Diagnosa Penyakit Menggunakan Metode Fuzzy. *Jurnal Informatika*, 8(2), 34–40.
5. Budi, Y., Indrawati, S., & Wibowo, S. (2018). Pemanfaatan Sistem Pakar Dalam Diagnosis Penyakit Tuberkulosis. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(2), 112–118.
6. Soge, Fransiskus Pati, Bernadete Deta, and Dominikus Boli Watomakin. 2024. "Penerapan Logika Fuzzy Dalam Sistem Pakar Deteksi Hama Dan Penyakit Tanaman Kakao Kecamatan Wulanggitang Flores Timur." *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi* 6(01):212–34. doi: 10.53863/kst.v6i01.1115.
7. Suryana, Muhamad Fajar, Fauziah Fauziah, and Ratih Titi Komala Sari. 2020. "Implementasi Sistem Pakar Menggunakan Metode Certainty Factor Untuk Mendiagnosa Dini Corona Virus Desease (COVID-19)." *Jurnal Media Informatika Budidarma* 4(3):559. doi: 10.30865/mib.v4i3.2132.
8. Fitriana, N. (2020). Desain Sistem Pakar Diagnosis TB Ekstra Paru. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 6(2), 100–106.
9. Global Tuberculosis Report 2021 Supplementary Material. (2022). World Health Organization.
10. Hakim, F. (2021). Implementasi Logika Fuzzy Untuk Diagnosa Penyakit. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, 9(2), 40–47.
11. Handayani, T. (2022). Penerapan Logika Fuzzy dalam Dunia Medis. *Jurnal Kesehatan dan Teknologi*, 9(1), 23–29.
12. Hasan, R. (2022). Peran Sistem Pakar dalam Dunia Kesehatan. *Jurnal Teknologi Terapan*, 10(1), 101–108.
13. Junaidi, A. (2020). Sistem Pakar Untuk Diagnosis Penyakit Tuberkulosis Menggunakan Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 4(2), 67–73.
14. *Jurnal WHO*. (2021). World TB Burden and Strategic Response.
15. Kemenkes RI. (2023). Data dan Informasi Profil Kesehatan Indonesia.
16. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2017). Laporan Tahunan Kesehatan Indonesia.
17. Kusuma, A. (2020). Pemanfaatan Sistem Pakar Dalam Deteksi Dini Penyakit. *Jurnal Sistem Cerdas*, 4(2), 89–97.
18. Putra, R., & Nuraini, M. (2021). Web-Based Expert System with Fuzzy Logic for Diagnosing Respiratory Diseases. *Journal of Computer Applications*, 7(1), 55–63.
19. Rachmawati, R., & Wulandari, D. (2019). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Sistem Pakar Diagnosa Penyakit. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 25(3), 104–112.
20. Rahman, A., & Dewi, K. (2021). Fuzzy Systems in Medical Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 9(2), 44–50.
21. Ramadhani, D., Fitri, R., & Handayani, T. (2020). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Menular Berbasis Web Menggunakan Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(1), 45–53.
22. Rosyid, A., & Fitri, E. (2019). Pengembangan Sistem Pakar Berbasis Web Dengan Fuzzy. *Jurnal Teknologi dan Informatika*, 5(3), 78–86.
23. Saputra, D. (2023). Sistem Pakar Berbasis Web Untuk Diagnosa Penyakit TB. *Jurnal Sistem Informasi dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 11(3), 95–101.
24. Sari, M., & Hakim, T. (2020). Penyakit Menular dan Penanggulangannya. Jakarta: Bumi Aksara.
25. Suryana, D., Fauziah, L., & Sari, W. (2020). Implementasi Sistem Pakar dalam Dunia Medis. *Jurnal Sains dan Informatika*, 6(2), 77–84.
26. UNICEF. (2022). Tuberculosis: Situation and Response Analysis.
27. Widodo, A., & Mustofa, A. (2017). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Informatika*, 11(1), 14–22.
28. Widya, F. (2022). Sistem Pakar Diagnosa Berbasis Android Menggunakan Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Informatika Modern*, 10(1), 20–29.
29. World Health Organization. (2020). Global Tuberculosis Report.
30. Yuliana, S. (2021). Sistem Pakar: Teori dan Aplikasi. Bandung: Informatika.
31. Yusnita, N., Fadillah, R., & Ramadhani, S. (2020). Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Gigi Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 1(1), 32–41.
32. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.