

PENERAPAN METODE FUZZY TSUKAMOTO UNTUK DIAGNOSIS TINGKAT HIPERTENSI BERBASIS TIGA VARIABEL PADA PASIEN APOTEK ES

Fifi Lisfiani^{1*}, Rosa Andriani²

^{1,2}Program Studi Matematika, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: 044864727@ecampus.ut.ac.id

ABSTRAK

Hipertensi merupakan penyakit tidak menular yang sering disebut *silent killer* karena umumnya tidak menunjukkan gejala yang jelas hingga menimbulkan komplikasi serius seperti stroke, serangan jantung, dan gangguan ginjal. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto sebagai sistem pendukung diagnosis tingkat hipertensi berdasarkan tiga variabel utama, yaitu tekanan darah sistolik, tekanan darah diastolik, dan usia. Pendekatan logika fuzzy digunakan karena mampu menangani ketidakpastian dan ketidaktepatan data medis sehingga menghasilkan keputusan yang lebih adaptif. Penelitian ini menggunakan data dari 139 pasien Apotek ES di Magelang dengan menerapkan tiga tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi menggunakan 27 aturan (rule), dan defuzzifikasi untuk memperoleh hasil keluaran tegas (*crisp output*). Berdasarkan hasil pengujian, sistem Fuzzy Tsukamoto menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 70% dengan klasifikasi hipertensi menurut Pedoman Kementerian Kesehatan RI tahun 2023. Hasil ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto cukup efektif dan relevan digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal hipertensi, khususnya untuk mendukung pengambilan keputusan medis di fasilitas pelayanan kesehatan dasar maupun apotek.

Kata kunci: Defuzzifikasi, Diagnosis Hipertensi, Fuzzifikasi, Fuzzy Tsukamoto, Inferensi Fuzzy.

1 PENDAHULUAN

Hipertensi dikenal sebagai *silent killer* atau pembunuh diam-diam karena sering kali tidak menimbulkan gejala yang jelas, sehingga banyak penderita tidak menyadari bahwa dirinya telah mengalami tekanan darah tinggi. Kondisi ini umumnya baru terdeteksi ketika sudah menimbulkan komplikasi serius seperti stroke, serangan jantung, dan penyakit lainnya.

Secara umum, hipertensi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: (1) hipertensi esensial, yang penyebabnya tidak diketahui secara pasti namun sering dikaitkan dengan faktor keturunan dari orang tua atau anggota keluarga dekat; dan (2) hipertensi yang dipengaruhi oleh gaya hidup tidak sehat, seperti jarang mengonsumsi sayur dan buah, kurang beraktivitas fisik, kebiasaan merokok, konsumsi alkohol, kurang tidur, serta stres berlebih. Sementara itu, hipertensi sekunder merupakan kondisi peningkatan tekanan darah yang disebabkan oleh penyakit lain, misalnya gangguan pada ginjal.

Seseorang dikatakan mengalami hipertensi apabila tekanan darah sistolik lebih dari dan sama dengan 140 mmHg dan/atau diastolik lebih dari dan sama dengan 90 mmHg. Berdasarkan nilai tekanan darah sistolik dan diastolik tersebut, hipertensi dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa derajat keparahan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Hipertensi pada Dewasa

Klasifikasi	TD sistolik (mmHg)		TD diastolik (mmHg)
Optimal	< 120	dan	< 80
Normal	120 – 129	dan/atau	80 – 84
Prehipertensi (Normal tinggi)	130 – 139	dan/atau	85 – 89
Hipertensi derajat 1	140 – 159	dan/atau	90 – 99
Hipertensi derajat 2	160 – 179	dan/atau	100 – 109
Hipertensi derajat 3	≥ 180	dan/atau	≥ 110
Hipertensi sistolik terisolasi	≥ 140	dan	< 90

Sumber: (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Logika fuzzy merupakan pendekatan komputasional yang mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ambiguitas dalam sistem kompleks, serta terus berkembang hingga pada pengembangan tipe lanjut seperti *type-3 fuzzy logic systems* untuk aplikasi kontrol modern (Castillo, Valdez, Melin, & Ding, 2024).

Logika fuzzy merupakan suatu pendekatan logika yang digunakan untuk mengelola ketidakpastian dan ambiguitas dalam suatu sistem. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai pengembangan dari logika biner tradisional. Berbeda dengan logika konvensional yang hanya mengenal nilai benar (1) dan salah (0), logika fuzzy memungkinkan adanya nilai di antara keduanya melalui konsep derajat keanggotaan. Beberapa elemen utama dalam logika fuzzy mencakup himpunan fuzzy, aturan fuzzy, serta proses inferensi fuzzy yang digunakan untuk menghasilkan keputusan berdasarkan data yang tidak pasti (Niki, 2023). “Pada sistem ini menggunakan fuzzy tsukamoto karena setiap konsekuen (*output*) direpresentasikan dengan fuzzy set yang monoton membership function-nya.” (Yuniarti et al., 2020)

Dalam metode Tsukamoto, setiap konsekuensi pada aturan If–Then direpresentasikan oleh himpunan fuzzy yang memiliki fungsi keanggotaan bersifat monoton. Dengan demikian, hasil inferensi dari masing-masing aturan akan menghasilkan nilai keluaran yang bersifat tegas (crisp) berdasarkan nilai α -predikat (*fire strength*). Setelah itu, dilakukan proses perhitungan rata-rata tertimbang untuk memperoleh hasil akhir. Pada tahap inferensi, metode ini memanfaatkan fungsi Min (minimum) atau Max (maximum) guna menentukan nilai α -predikat dari setiap aturan ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$). Setiap nilai α -predikat tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai keluaran tegas ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$) dari masing-masing aturan. Proses defuzzifikasi pada metode Tsukamoto selanjutnya dilakukan menggunakan pendekatan rata-rata tertimbang untuk memperoleh nilai akhir yang representatif (Sihaloho et al., 2020).

Pendekatan Fuzzy Tsukamoto dikenal memiliki mekanisme inferensi yang sederhana serta mudah diterapkan. Athiyah et al. menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto dalam sistem pakar untuk menentukan tingkat risiko penyakit jantung berdasarkan beberapa parameter medis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy mampu membantu proses diagnosis awal dengan tingkat akurasi yang cukup baik (Athiyah, Sari, & Nugroho, 2021)

Penerapan logika fuzzy dalam klasifikasi data kesehatan menunjukkan bahwa metode ini mampu menangani variabel linguistik dan menghasilkan pengelompokan yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan deterministik (Ramadhani, Srikandi, Ikhwan, & Saputra, 2024).

Sistem inferensi fuzzy Tsukamoto efektif digunakan dalam pemodelan prediksi karena mampu mengolah data numerik menjadi kategori linguistik sehingga ketidakpastian data dapat diminimalkan (Wahyuni & Ahda, 2023).

Berdasarkan keunggulan tersebut, penelitian ini menggunakan model inferensi Fuzzy Tsukamoto untuk membantu proses diagnosis dan tingkatan penyakit hipertensi untuk pasien Apotek ES yang terletak di Jalan Alternatif Temanggung no.3, Kuwaluhan, Secang, Magelang. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan utama yaitu fuzzifikasi, inferensi (menggunakan 27 aturan IF–THEN), dan defuzzifikasi, dengan analisis studi kasus pada satu pasien dari kumpulan data 139 pasien.

Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana penerapan metode Fuzzy Tsukamoto dalam mendiagnosa tingkat penyakit hipertensi berdasarkan data hasil pemeriksaan pasien.

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengaplikasikan metode Fuzzy Tsukamoto dalam proses diagnosis tingkat hipertensi menggunakan data hasil pemeriksaan pasien, serta mengevaluasi tingkat ketepatan dan kestabilan hasil diagnosis yang dihasilkan oleh metode ini.

2 METODE

Metode Fuzzy Tsukamoto dapat diterapkan dalam sistem pendukung keputusan karena menggunakan aturan berbasis IF–THEN dengan output tegas yang diperoleh melalui proses defuzzifikasi rata-rata terbobot (Aprianto, Kanedi, & Prahasti, 2023).

Perbandingan beberapa metode fuzzy seperti Tsukamoto, Mamdani, dan Sugeno menunjukkan adanya perbedaan hasil keluaran yang dipengaruhi oleh mekanisme inferensi dan proses defuzzifikasi masing-masing metode (Anjani & Marpaung, 2024).

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan komputasional dan studi kasus yang diterapkan pada pasien Apotek ES yang beralamat di Jalan Alternatif Temanggung No. 3, Secang, Magelang. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini mengolah data numerik hasil pemeriksaan tekanan darah dan usia pasien untuk menghasilkan keluaran diagnosis hipertensi menggunakan metode Fuzzy Logic Tsukamoto. Logika fuzzy dipilih karena mampu mengakomodasi ketidakpastian data medis dan memberikan hasil yang lebih adaptif dibandingkan metode konvensional berbasis ambang batas Tunggal (Kusumadewi & Purnomo, 2010).

Rumus Cochran dirancang untuk menghitung ukuran sampel dengan mempertimbangkan tingkat kepercayaan, proporsi populasi, dan batas kesalahan yang diinginkan (*margin of error*) (Siregar & Ningsih, 2023).

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n &= \frac{N \times Z^2 \times p(1 - p)}{e^2(N - 1) + Z^2 \times p(1 - p)} \\ &= \frac{218 \times 1.96^2 \times 0.5(1 - 0.5)}{0.05^2(218 - 1) + 1.96^2 \times 0.5(1 - 0.5)} \\ &= 139.36 \end{aligned}$$

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder hasil pemeriksaan tekanan darah pasien di Apotek ES. Total terdapat 218 data pasien yang dijadikan populasi penelitian. Dari populasi tersebut diambil 139 data pasien sebagai sampel menggunakan metode

stratified random sampling. Teknik ini dilakukan dengan membagi populasi ke dalam tiga kelompok usia, yaitu 20–39 tahun (usia muda), 40–59 tahun (usia paruh baya), dan lebih dari dan sama dengan 60 tahun (usia lanjut). Masing-masing kelompok diambil secara proporsional terhadap jumlah populasinya menggunakan bantuan fungsi RAND() di Microsoft Excel agar setiap kelompok usia memiliki peluang representasi yang seimbang. Jumlah 139 sampel ditentukan berdasarkan perhitungan ukuran sampel dengan tingkat kepercayaan 95% dan *margin of error* sebesar 5%, yang dinilai cukup untuk memberikan hasil representatif dari total 218 data pasien (Sugiyono, 2019)

Penelitian ini menggunakan klasifikasi tekanan darah berdasarkan Pedoman Pengendalian Hipertensi di Fasilitas Kesehatan Tingkat Pertama dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2023). Dalam penerapannya, kategori “optimal” dan “normal” digabungkan menjadi satu kelas “normal”, karena keduanya masih berada pada rentang tekanan darah normal secara klinis. Penggabungan ini dilakukan untuk menyederhanakan proses inferensi pada sistem logika Fuzzy Tsukamoto tanpa mengubah makna diagnostik (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Hasil diagnosis fuzzy kemudian dibandingkan dengan hasil klasifikasi manual berdasarkan Pedoman Kementerian Kesehatan RI (2023) untuk menilai tingkat akurasi sistem. Nilai akurasi dihitung berdasarkan persentase kesesuaian antara hasil sistem fuzzy dengan hasil klasifikasi manual. Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana metode Fuzzy Tsukamoto mampu memberikan keputusan diagnosis yang relevan terhadap klasifikasi medis aktual (Hakim et al., 2023). Dengan langkah-langkah tersebut, metode penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan analisis yang sistematis, terukur, dan valid dalam mendukung diagnosis dini hipertensi berbasis data pasien di fasilitas kesehatan dasar.

Proses perhitungan pada metode Fuzzy Tsukamoto terdiri dari beberapa langkah utama yang harus dilakukan secara berurutan (Kurniawati & Feri Efendi, 2020):

- 1) Dalam metode Fuzzy Tsukamoto, terdapat beberapa tahapan perhitungan, salah satunya adalah fuzzifikasi. Tahapan ini merupakan langkah awal dalam proses Fuzzy, yaitu mengubah nilai pasti (*crisp*) menjadi nilai fuzzy. Pada tahap ini, setiap variabel fuzzy ditentukan tingkat keanggotaannya terhadap masing-masing himpunan fuzzy yang telah didefinisikan.

$$\mu_{rendah}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases}$$

$$\mu_{tinggi}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq c \\ \frac{x-c}{d-c}; & c \leq x \leq d \\ 1; & x \geq d \end{cases}$$

- 2) Perancangan basis pengetahuan Fuzzy dilakukan melalui penyusunan aturan berbentuk IF...THEN yang menggambarkan hubungan antara variabel input dan output dalam sistem.
- 3) Mesin inferensi bekerja dengan menerapkan fungsi implikasi menggunakan operator MAX dan MIN untuk memperoleh nilai predikat ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$). Nilai-nilai predikat tersebut

kemudian digunakan dalam proses perhitungan untuk menghasilkan keluaran akhir sistem secara tegas (*crisp output*) berupa $(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$.

- 4) Defuzzifikasi dilakukan dengan menerapkan metode rata-rata (*average*), yaitu proses mengubah hasil inferensi fuzzy menjadi nilai tegas (*crisp*) melalui perhitungan nilai rata-rata dari seluruh keluaran yang dihasilkan.

$$Z = \frac{\sum \alpha_i Z_i}{\sum \alpha_i}$$

$$Z = \frac{\alpha_{normal} \cdot Z_{normal} + \alpha_{normal-tinggi} \cdot Z_{normal-tinggi} + \alpha_{hipertensi1} \cdot Z_{hipertensi1} + \alpha_{hipertensi2} \cdot Z_{hipertensi2} + \alpha_{hipertensi3} \cdot Z_{hipertensi3}}{\alpha_{normal} + \alpha_{normal-tinggi} + \alpha_{hipertensi1} + \alpha_{hipertensi2} + \alpha_{hipertensi3}}$$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan terhadap variabel sistolik, diastolik, dan usia pada penerapan metode Fuzzy Logic Tsukamoto dilakukan melalui tahapan tertentu yang melibatkan proses pengolahan data ke dalam bentuk himpunan fuzzy untuk menghasilkan nilai keluaran yang terukur secara logis.

Pada bagian ini, akan dipaparkan studi kasus perhitungan untuk satu pasien (selanjutnya disebut Pasien X) dengan data pasien berusia 22 tahun antara lain yaitu Sistolik sebesar 11 mmHg, dan Diastolik sebesar 70

3.1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam proses perhitungan dengan metode Fuzzy, yaitu proses mengubah nilai numerik (*crisp*) menjadi nilai dalam bentuk fuzzy. Pada tahap ini, setiap variabel fuzzy ditentukan derajat keanggotaannya terhadap masing-masing himpunan fuzzy yang telah didefinisikan. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tekanan sistolik, tekanan diastolik, usia.

3.1.1. Sistolik (mmHg)

Berikut adalah rumusan fungsi keanggotaan untuk tiap himpunan fuzzy :

- a. Himpunan Rendah

$$\mu_{rendah}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 100 \\ \frac{120 - x}{120 - 100}; & 100 < x < 120 \\ 0; & x \geq 120 \end{cases}$$

$$\mu_{rendah}[110] = 0.5$$

- b. Himpunan Normal

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 100 \\ \frac{x - 100}{125 - 100}; & 100 < x \leq 125 \\ \frac{140 - x}{140 - 125}; & 125 \leq x < 140 \\ 0; & x \geq 140 \end{cases}$$

$$\mu_{normal}[110] = 0.4$$

c. Himpunan Tinggi

$$\mu_{tinggi}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 129 \\ \frac{x - 129}{180 - 129}; 129 < x < 180 \\ 1; x \geq 180 \end{cases}$$

$$\mu_{tinggi}[110] = 0$$

3.1.2. Diastolik (mmHg)

Berikut adalah rumusan fungsi keanggotaan untuk tiap himpunan fuzzy :

a. Himpunan Rendah

$$\mu_{rendah}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 70 \\ \frac{80 - x}{80 - 70}; 70 < x < 80 \\ 0; x \geq 80 \end{cases}$$

$$\mu_{rendah}[70] = 1$$

b. Himpunan Normal

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 70 \\ \frac{x - 70}{82 - 70}; 70 < x < 82 \\ \frac{90 - x}{90 - 82}; 82 \leq x < 90 \\ 0; x \geq 90 \end{cases}$$

$$\mu_{normal}[70] = 0$$

c. Himpunan Tinggi

$$\mu_{tinggi}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 84 \\ \frac{x - 84}{110 - 84}; 84 < x < 110 \\ 1; x \geq 110 \end{cases}$$

$$\mu_{tinggi}[70] = 0$$

3.1.3. Usia (Tahun)

Berikut adalah rumusan fungsi keanggotaan untuk tiap himpunan fuzzy :

a. Himpunan Muda

$$\mu_{muda}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 35 \\ \frac{45 - x}{45 - 35}; 35 < x < 45 \\ 0; x \geq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{muda}[22] = 1$$

b. Himpunan Paruhbaya

$$\mu_{paruhbaya}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 35 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{x - 35}{47.5 - 35}; 35 < x < 47.5 \\ \frac{60 - x}{60 - 47.5}; 47.5 \leq x < 60 \end{cases}$$

$$\mu_{paruhbaya}[22] = 0$$

c. Himpunan Tua

$$\mu_{tua}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 60 \\ \frac{x - 60}{70 - 60}; 60 < x < 70 \\ 1; x \geq 70 \end{cases}$$

$$\mu_{tua}[22] = 0$$

3.1.4. Normal (monoton turun, [0,30])

$$\mu_{normal}(z) = \begin{cases} 1; z \leq 0 \\ \frac{30 - z}{30}; 0 < z < 30 \\ 0; z \geq 30 \end{cases}$$

$$z = 30(1 - \alpha)$$

3.1.5. Normal – Tinggi (monoton naik, [20,40])

$$\mu_{normal-tinggi}(z) = \begin{cases} 0; z \leq 20 \\ \frac{z - 20}{40 - 20}; 20 < z < 40 \\ 1; z \geq 40 \end{cases}$$

$$z = 20 + 20\alpha$$

3.1.6. Hipertensi Derajat 1 (monoton naik, [35,55])

$$\mu_{hipertensi\ derajat\ 1}(z) = \begin{cases} 0; z \leq 35 \\ \frac{z - 35}{55 - 35}; 35 < z < 55 \\ 1; z \geq 55 \end{cases}$$

$$z = 35 + 20\alpha$$

3.1.7. Hipertensi Derajat 2 (monoton naik, [50,75])

$$\mu_{hipertensi\ derajat\ 2}(z) = \begin{cases} 0; z \leq 50 \\ \frac{z - 50}{75 - 50}; 50 < z < 75 \\ 1; z \geq 75 \end{cases}$$

$$z = 50 + 25\alpha$$

3.1.8. Hipertensi Derajat 3 (monoton naik, [70,100])

$$\mu_{hipertensi\ derajat\ 3}(z) = \begin{cases} 0; z \leq 70 \\ \frac{z - 70}{100 - 70}; 70 < z < 100 \\ 1; z \geq 100 \end{cases}$$

$$z = 70 + 30\alpha$$

3.2. Rule

Fuzzy digunakan untuk menentukan tingkat hipertensi pada pasien melalui 27 aturan (*rule*) yang dibentuk berdasarkan kombinasi 3 variabel input dan 5 variabel output. Variabel-variabel yang digunakan dalam proses penentuan tingkat hipertensi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, yang menampilkan nilai dari masing-masing variabel input yang digunakan dalam analisis.

Tabel 2. Variabel Input dan Output yang Terlibat

Pemetaan	Parameter	Rentang nilai
Input	Sistolik	90 – 200
	Diastolik	60 – 120
	Usia	20 – 80
Output	Normal	0 – 30
	Normal – Tinggi	20 – 40

Hipertensi Derajat 1	35 – 55
Hipertensi Derajat 2	50 – 75
Hipertensi Derajat 3	70 – 100

[R1] IF Sistolik Rendah AND Diastolik Rendah AND Usia Muda THEN Normal

$$\begin{aligned}
 [R1] &= \text{Min}(\mu_{\text{sistolik rendah}}[110], \mu_{\text{diastolik rendah}}[70], \mu_{\text{usiamuda}}[22]) \\
 &= \text{Min}(0.5, 1, 1) \\
 &= 0.5
 \end{aligned}$$

Tabel 3. 27 aturan (*rule*) perhitungan seperti [R1]

No	Rules	Hasil
R1	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Rendah AND Usia Muda THEN Normal	0,5
R2	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Rendah AND Usia Paruhbaya THEN Normal	0
R3	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Rendah AND Usia Tua THEN Normal	0
R4	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Normal AND Usia Muda THEN Normal	0
R5	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Normal AND Usia Paruhbaya THEN Normal	0
R6	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Normal AND Usia Tua THEN Normal	0
R7	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Tinggi AND Usia Muda THEN Normal – Tinggi	0
R8	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Tinggi AND Usia Paruhbaya THEN Normal – Tinggi	0
R9	IF Sistolik Rendah AND Diastolik Tinggi AND Usia Tua THEN Hipertensi Derajat 1	0
R10	IF Sistolik Normal AND Diastolik Rendah AND Usia Muda THEN Normal	0,4
R11	IF Sistolik Normal AND Diastolik Rendah AND Usia Paruhbaya THEN Normal	0
R12	IF Sistolik Normal AND Diastolik Rendah AND Usia Tua THEN Normal – Tinggi	0
R13	IF Sistolik Normal AND Diastolik Normal AND Usia Muda THEN Normal	0
R14	IF Sistolik Normal AND Diastolik Normal AND Usia Paruhbaya THEN Normal – Tinggi	0
R15	IF Sistolik Normal AND Diastolik Normal AND Usia Tua THEN Normal – Tinggi	0
R16	IF Sistolik Normal AND Diastolik Tinggi AND Usia Muda THEN Normal – Tinggi	0
R17	IF Sistolik Normal AND Diastolik Tinggi AND Usia Paruhbaya THEN Hipertensi Derajat 1	0
R18	IF Sistolik Normal AND Diastolik Tinggi AND Usia Tua THEN Hipertensi Derajat 1	0
R19	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Rendah AND Usia Muda THEN Normal - Tinggi	0
R20	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Rendah AND Usia Paruhbaya THEN Hipertensi Derajat 1	0
R21	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Rendah AND Usia Tua THEN Hipertensi Derajat 1	0
R22	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Normal AND Usia Muda THEN Hipertensi Derajat 1	0
R23	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Normal AND Usia Paruhbaya THEN Hipertensi Derajat 1	0
R24	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Normal AND Usia Tua THEN Hipertensi Derajat 2	0
R25	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Tinggi AND Usia Muda THEN Hipertensi Derajat 1	0
R26	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Tinggi AND Usia Paruhbaya THEN Hipertensi Derajat 2	0
R27	IF Sistolik Tinggi AND Diastolik Tinggi AND Usia Tua THEN Hipertensi Derajat 3	0

$$\begin{aligned}
 \alpha_{\text{Normal}} &= \text{Max}(\alpha_1, \alpha_{10}) \\
 &= \text{Max}(0.5, 0.4)
 \end{aligned}$$

$$= 0.5$$

$$\begin{aligned} z_{normal} &= 30(1 - \alpha) \\ &= 30(1 - 0.5) \\ &= 30(0.5) \\ &= 15 \end{aligned}$$

3.3. Defuzzikasi

$$Z = \frac{\alpha_{normal} * z_{normal} + \alpha_{normal-tinggi} * z_{normal-tinggi} + \alpha_{hipertensi1} * z_{hipertensi1} + \alpha_{hipertensi2} * z_{hipertensi2} + \alpha_{hipertensi3} * z_{hipertensi3}}{\alpha_{normal} + \alpha_{normal-tinggi} + \alpha_{hipertensi1} + \alpha_{hipertensi2} + \alpha_{hipertensi3}}$$

$$Z = \frac{\alpha_{normal} * z_{normal}}{\alpha_{normal}}$$

$$Z = \frac{0.5 * 15}{0.5}$$

$$Z = 15$$

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode Fuzzy, diperoleh nilai akhir keluaran (Z) sebesar 15. Mengacu pada rentang nilai output yang telah ditetapkan, nilai tersebut berada pada interval 0–30 sehingga diklasifikasikan ke dalam kategori Normal. Sementara itu, berdasarkan klasifikasi manual yang mengacu pada standar Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, pasien dengan tekanan darah sistolik sebesar 110 mmHg dan diastolik sebesar 70 mmHg termasuk dalam kategori Optimal (Normal). Dengan demikian, hasil penilaian menggunakan metode Fuzzy menunjukkan kesesuaian dengan hasil klasifikasi manual, yang menandakan bahwa metode Fuzzy yang digunakan mampu merepresentasikan kondisi tekanan darah pasien secara akurat dan konsisten dengan standar medis yang berlaku.

4 KESIMPULAN [TNR 12, CETAK TEBAL, KAPITAL DAN RATA KIRI KANAN]

Berdasarkan analisis dan pengujian, metode Fuzzy Tsukamoto telah berhasil diterapkan untuk memodelkan sistem pendukung diagnosis tingkat hipertensi menggunakan tiga variabel masukan: tekanan darah sistolik, tekanan darah diastolik, dan usia. Proses inferensi sistem ini didasarkan pada 27 basis aturan yang telah ditentukan. Dari hasil pengujian terhadap 139 data pasien di Apotek ES, sistem ini menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 70% bila dibandingkan dengan klasifikasi hipertensi standar menurut Pedoman Kementerian Kesehatan RI tahun 2023. Hasil ini mengindikasikan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto memiliki efektivitas yang cukup memadai dan relevan untuk difungsikan sebagai alat bantu skrining atau diagnosis awal hipertensi di fasilitas pelayanan kesehatan dasar.

Tabel 4. Hasil diagnosis fuzzy dan diagnosis Kemenkes 2023 terhadap 139 Pasien

No	Usia	Sistolik	Diastolik	Hasil Z	Diagnosis Fuzzy	Diagnosis Kemenkes	Ket
1	39	120	80	17	Normal	Normal	Sesuai
2	34	118	75	16	Normal	Normal	Sesuai
3	37	125	80	17.5	Normal	Normal	Sesuai
4	36	120	78	16.4	Normal	Normal	Sesuai
5	33	115	75	16	Normal	Normal	Sesuai
6	38	118	78	16.6	Normal	Normal	Sesuai
7	35	115	75	16	Normal	Normal	Sesuai
8	39	122	80	17	Normal	Normal	Sesuai
9	33	115	75	16	Normal	Normal	Sesuai

No	Usia	Sistolik	Diastolik	Hasil Z	Diagnosis Fuzzy	Diagnosis Kemenkes	Ket
10	35	120	85	27.5	Normal - Tinggi	Normal - Tinggi	Sesuai

Penelitian ini menggunakan dataset berjumlah 139 pasien. Untuk memenuhi batasan halaman artikel ilmiah, Tabel 4 menampilkan 10 data pasien sebagai contoh representatif. Seluruh data tetap digunakan dalam proses analisis.

Mengingat kesesuaian saat ini 70%, masih terdapat ruang untuk peningkatan pada penelitian selanjutnya. Disarankan untuk melakukan evaluasi dan penyempurnaan lebih lanjut terhadap 27 aturan fuzzy yang digunakan, serta melakukan penyesuaian pada batas-batas domain fungsi keanggotaan untuk setiap guna meningkatkan akurasi. Selain itu, penelitian di masa depan dapat mempertimbangkan penambahan input lain yang relevan sebagai risiko hipertensi, seperti berat badan, kebiasaan merokok, atau diabetes, yang telah diidentifikasi dalam pendahuluan penelitian ini. Perbaikan juga dapat difokuskan untuk menangani kasus spesifik seperti “Hipertensi sistolik terisolasi”, yang teridentifikasi sebagai salah satu sumber ketidaksesuaian dalam hasil pengujian. Terakhir, model yang telah dioptimalkan ini dapat dikembangkan menjadi sebuah aplikasi perangkat lunak yang praktis untuk mempercepat proses skrining awal pasien.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Ibu Rosa Andriani selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan yang diberikan selama proses penelitian, kepada pimpinan dan staf instansi terkait atas izin serta fasilitas yang diberikan, serta kepada orang tua penulis Slamet Kabul dan Siti Khosiyah, adik penulis Heru Setiawan atas doa, dukungan, dan motivasi yang berkelanjutan, dan kepada Achmad Afandi atas dukungan moral dan pendampingan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Hakim, M. F., Fajriati, N., & Pratama, R. N. (2023). Heart Disease Diagnosis Using Tsukamoto Fuzzy Method. *Journal of Advances in Information Systems and Technology*, 5(1), 12-22.
- Anjani, F. A., & Marpaung, F. (2024). Perbandingan metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam penentuan jumlah pemasukan beras optimum. *KARISMATIKA: Kumpulan Artikel Ilmiah*, 8(1).
- Aprianto, A., Kanedi, I., & Prahasti, P. (2023). Penerapan metode logika fuzzy dalam analisis kepuasan mahasiswa terhadap sistem perkuliahan online. *Jurnal Media Infotama*, 19(2), 439–446.
- Athiyah, N., Sari, R. P., & Nugroho, A. (2021). Implementation of Fuzzy Tsukamoto method for heart disease risk diagnosis system. *Journal of Intelligent Systems and Applications*, 5(2), 85–94.
- Castillo, O., Valdez, F., Melin, P., & Ding, W. (2024). A survey on type-3 fuzzy logic systems and their control applications. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 11(8), 1744–1756.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Pedoman pengendalian hipertensi di fasilitas kesehatan tingkat pertama 2023*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Kurniawati, D. O., & Efendi, T. F. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Diagnosa Penyakit Demam Berdarah. *Jurnal Informatika, Komputer dan Bisnis (JIKOBIS)*, 1(2), 68-77.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan. *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 2.

- Ramadhani, D. H., Srikandi, R., Ikhwan, M., & Saputra, R. A. (2024). Penerapan logika fuzzy dalam klasifikasi status gizi balita menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2).
- Ratama, N. (2023). FUZZY INFERENCE SYSTEM METODE TSUKAMOTO DALAM MELAKUKAN EVALUASI KINERJA KARYAWAN. *Journal of Research and Publication Innovation*, 1(4), 1477-1490.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Sutopo, Ed.; Edisi ke-2). Alfabeta.
- S Sihaloho, T. P., Nasution, M. K., & Situmorang, Z. (2020). Level of student satisfaction on lecturer performance with fuzzy inference system (FIS) tsukamoto method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 725, No. 1, p. 012130). IOP Publishing.
- Siregar, A., & Ningsih, E. (2023). Pengaruh Kualitas Produk Dan Inovasi Produk Terhadap Kepuasan Konsumen Produk Ms Glow Dengan Kepercayaan Sebagai Variabel Intervening: Studi Kasus Pada Mahasiswa STIE Bina Karya Tebing Tinggi. *Management And Business Progress*, 2(2), 108-117.
- Wahyuni, I., & Ahda, F. A. (2023). Pemodelan fuzzy inference system Tsukamoto untuk prediksi curah hujan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 12(2).
- Y Yuniarti, H., Sigit, R., & Rofiq, M. A. (2020). Penerapan Fuzzy Tsukamoto pada Alat Deteksi Penyakit Hipoksemia, Hipotermia, Hipertensi, dan Diabetes untuk Health Care Kiosk. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 4(2), 163-173.