

KOMPARASI METODE INFERENSI FUZZY MAMDANI DAN SUGENO UNTUK PREDIKSI RISIKO GAGAL JANTUNG

Tiya Muthia, Sri Purwiyanti*, Dimas Bambang Permadi, Merdi Nuriantama, Rizki Alfajri

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung; Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandarlampung 35145, INDONESIA

Keywords:

Risiko Kardiovaskular;

Logika Fuzzy;

Gagal Jantung;

Mamdani; Sugeno

Correspondent Email:

sri.purwiyanti@eng.unila.ac.id

Abstrak. Gagal jantung menjadi salah satu penyebab utama kematian secara global, sehingga diperlukan prediksi risiko dini yang akurat berdasarkan data klinis. Parameter medis seperti usia, tekanan darah, dan kolesterol seringkali mengandung ketidakpastian yang sulit dimodelkan dengan logika tegas konvensional. Penelitian ini bertujuan menerapkan dan membandingkan secara komparatif dua metode inferensi fuzzy, yaitu Mamdani dan Sugeno orde-nol, untuk memprediksi risiko gagal jantung. Menggunakan data sekunder dari Kaggle Heart Failure Clinical Dataset, tiga variabel input difuzzifikasi: usia, tekanan darah sistolik, dan kolesterol serum, menghasilkan 27 aturan fuzzy berbasis heuristik medis. Metode Mamdani menghasilkan tingkat risiko dalam rentang persentase menggunakan defuzzifikasi Center of Area, sedangkan metode Sugeno menghasilkan skor risiko tegas menggunakan metode Weighted Average. Hasil simulasi pada 30 sampel uji pasien menunjukkan korelasi penalaran yang sangat konsisten dengan Mean Absolute Error sebesar 5,16% antara kedua model. Metode Mamdani menghasilkan transisi risiko yang konservatif dan halus (puncak sekitar 86,2%), yang secara linguistik lebih selaras dengan intuisi medis manusia sehingga sangat sesuai untuk sistem penunjang keputusan klinis yang interaktif. Sebaliknya, metode Sugeno menunjukkan rentang dinamis yang agresif (cepat mencapai skor konstanta maksimum 90) dan efisiensi komputasi yang lebih unggul, sehingga lebih sesuai untuk pemantauan medis real-time berbasis IoT.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Heart failure remains a leading cause of global mortality, necessitating accurate early risk prediction based on clinical data. Medical parameters such as age, blood pressure, and cholesterol often contain uncertainties that are difficult to model using conventional crisp logic. This study applies and comparatively analyzes two fuzzy inference methods, Mamdani and zero-order Sugeno, to predict heart failure risk. Using secondary data from the Kaggle Heart Failure Clinical Dataset, three input variables were fuzzified: age, systolic blood pressure, and serum cholesterol, generating 27 fuzzy rules based on medical heuristics. The Mamdani method produced risk levels in percentage ranges using Center of Area defuzzification, while the Sugeno method generated crisp risk scores using the Weighted Average method. Simulation on 30 patient test samples showed a highly consistent reasoning correlation, with a Mean Absolute Error of 5.16% between the two models. The Mamdani method produced conservative, smooth risk transitions (peaking around 86.2%), aligning well with human medical intuition and suiting interactive clinical decision support. Conversely, the Sugeno method showed an aggressive dynamic range (quickly reaching the maximum score of 90) and superior computational efficiency, suiting real-time IoT-based medical monitoring.

1. PENDAHULUAN

Penyakit jantung hingga saat ini masih menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia. Keterlambatan dalam diagnosis dini

sering kali berakibat fatal bagi pasien [1]. Data klinis pasien yang mencakup variabel fisik dan medis seperti usia, tekanan darah, dan kadar kolesterol merupakan parameter krusial yang

mempresentasikan tingkat risiko kesehatan kardiovaskular seseorang [2]. Namun, sifat dari data medis ini sering kali memiliki ketidakpastian (*uncertainty*) dan ambiguitas yang tinggi jika hanya diukur menggunakan batasan logika tegas (konvensional) [3]. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan komputasi cerdas yang mampu memodelkan ketidakpastian tersebut guna memberikan estimasi risiko yang lebih fleksibel dan mendekati penalaran intuisi medis [4].

Logika fuzzy (*fuzzy logic*) merupakan salah satu metode dalam kecerdasan buatan yang sangat efektif untuk menangani masalah penalaran berbasis linguistik dan ketidakpastian data medis [5]. Dalam perkembangannya, terdapat dua metode inferensi *fuzzy* yang paling populer dan sering diterapkan dalam sistem pakar, yaitu metode Mamdani dan metode Sugeno [6]. Metode Mamdani dikenal karena strukturnya yang intuitif dan menghasilkan output berupa himpunan *fuzzy* yang dinilai lebih cocok untuk merepresentasikan penalaran manusia secara alami [7]. Di sisi lain, metode Sugeno menggunakan nilai konstanta atau persamaan linear pada bagian konsekuennya (*output*), yang memberikan keunggulan dari segi efisiensi komputasi dan akurasi matematis yang sangat baik [8].

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan logika fuzzy untuk diagnosis penyakit. Sebagai contoh, penelitian oleh Ramadhan [9] menggunakan metode Mamdani untuk mendiagnosis tingkat risiko penyakit jantung koroner dan berhasil memetakan kondisi pasien secara visual. Sementara itu, penelitian oleh Saputra [10] menerapkan fuzzy Sugeno untuk mengklasifikasikan penyakit kardiovaskular dan menunjukkan performa komputasi yang cepat. Penelitian oleh Muhtadi dkk. [11] turut menunjukkan efektivitas metode Mamdani dalam memetakan tingkat risiko berbasis beberapa variabel input lingkungan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada implementasi salah satu metode inferensi saja tanpa melakukan komparasi langsung secara mendalam pada dataset klinis yang sama. Akibatnya, belum terdapat kejelasan empiris mengenai metode inferensi mana yang lebih optimal dalam hal akurasi prediksi risiko penyakit jantung ketika dihadapkan pada

parameter klinis yang spesifik seperti pada *Heart Failure Clinical Dataset* dari Kaggle.

Untuk mengisi celah penelitian tersebut (*gap analysis*), penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan membandingkan secara langsung kinerja metode inferensi *fuzzy* Mamdani dan Sugeno dalam memprediksi risiko penyakit jantung. Parameter *input* yang digunakan meliputi usia (kategori: muda, paruh baya, lanjut usia), tekanan darah (kategori: rendah, normal, tinggi), dan kadar kolesterol (kategori: rendah, sedang, tinggi). Hasil keluaran dari metode Mamdani akan direpresentasikan ke dalam tingkatan risiko linguistik (rendah, sedang, tinggi), sedangkan metode Sugeno akan menghasilkan skor risiko tegas berskala 0-100. Melalui evaluasi komparatif ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa rekomendasi model inferensi *fuzzy* yang paling presisi, adaptif, dan efisien untuk diintegrasikan ke dalam sistem penunjang keputusan medis di masa depan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gagal jantung kronis merupakan salah satu penyakit kardiovaskular dengan tingkat mortalitas tertinggi secara global yang membutuhkan penanganan preventif secara cepat dan akurat. Penilaian dan prediksi risiko klinis secara dini umumnya mengandalkan parameter dasar pasien seperti usia, tekanan darah sistolik, dan kadar kolesterol serum. Dalam praktiknya, klasifikasi parameter medis tersebut sering kali memiliki batasan yang bersifat ambigu dan tumpang tindih. Logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Zadeh [3] menyediakan kerangka kerja matematis untuk menangani ketidakpastian tersebut dengan memetakan nilai tegas (*crisp*) ke dalam derajat keanggotaan pada rentang nilai 0 hingga 1.

Penerapan Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*) dalam domain diagnostik mampu mengakomodasi penalaran heuristik pakar medis ke dalam model komputasi yang dapat diandalkan. Secara fundamental, terdapat dua arsitektur algoritma utama yang sering dikomparasikan, yaitu metode Mamdani dan metode Sugeno. Ramadhan dan Sinaga [9] membuktikan keandalan metode Mamdani dalam mendiagnosis penyakit jantung koroner berdasarkan parameter klinis pasien. Sementara

itu, Saputra dan Ningrum [10] berhasil mengklasifikasikan risiko kardiovaskular secara efisien menggunakan metode Sugeno. Studi komparasi lain yang membandingkan kedua metode ini pada kasus stroke [12] serta kelainan jantung [13], [14] turut memperkuat relevansi penerapan Mamdani dan Sugeno pada domain diagnosis medis, meskipun eksplorasi langsung pada dataset gagal jantung publik masih terbatas.

Metode Mamdani dirancang khusus untuk melakukan sintesis linguistik yang menyerupai pola pikir manusia. Pada arsitektur ini, tahap defuzzifikasi atau penarikan nilai tegas akhir dihitung menggunakan metode *Center of Area (CoA)*, yaitu dengan mencari titik berat dari integral luasan area kurva gabungan. Pendekatan geometris ini menghasilkan transisi nilai luaran yang halus, sehingga ideal diimplementasikan pada perangkat lunak Sistem Pendukung Keputusan (*Decision Support System/DSS*) interaktif bagi klinisi.

Sebaliknya, metode inferensi Sugeno dikembangkan untuk sistem yang membutuhkan respons cepat dengan kerumitan matematis yang lebih rendah. Berbeda dengan Mamdani, metode Sugeno orde nol tidak menggunakan kurva himpunan linguistik pada bagian konsekuen (luaran), melainkan menggunakan nilai konstanta tegas tunggal (*singleton*). Proses defuzzifikasinya diselesaikan dengan persamaan rata-rata terbobot (*Weighted Average*), yang secara efektif meniadakan kebutuhan untuk menghitung integral luasan area dua dimensi yang rumit. Karakteristik matematis dan mekanika defuzzifikasi dari kedua metode ini menjadi landasan penting dalam makalah ini untuk mengevaluasi arsitektur mana yang paling optimal dari segi akurasi penalaran diagnostik maupun efisiensi komputasi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan sistematis yang meliputi akuisisi data sekunder, perancangan fungsi keanggotaan (*fuzzifikasi*), pembentukan basis aturan inferensi klinis, serta komparasi metode defuzzifikasi antara Mamdani dan Sugeno untuk memperoleh nilai tegas risiko gagal jantung.

3.1 Akuisisi Data

Data eksperimental diperoleh dari repositori terbuka *Kaggle Heart Failure Clinical Dataset*.

Dari populasi data tersebut, diambil 30 sampel pasien secara acak untuk disimulasikan ke dalam model. Parameter klinis yang digunakan sebagai variabel masukan meliputi: Usia (x , dalam satuan tahun), Tekanan Darah Sistolik (y , dalam satuan mmHg), dan Kadar Kolesterol Serum (z , dalam satuan mg/dL).

3.2 Prosedur Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi memetakan variabel masukan tegas (*crisp*) ke dalam himpunan fuzzy menggunakan kombinasi kurva keanggotaan trapesium dan segitiga. Batasan linguistik untuk setiap variabel didefinisikan sebagai berikut:

- Usia: *Muda* (0-45 tahun), *Paruh Baya* (35-55 tahun), dan *Lanjut Usia* (45-100 tahun).
- Tekanan Darah: *Rendah* (50-100 mmHg), *Normal* (85-130 mmHg), dan *Tinggi* (120-200 mmHg).
- Kolesterol: *Rendah* (100-160 mg/dL), *Sedang* (140-220 mg/dL), dan *Tinggi* (200-300 mg/dL).

Variabel luaran dari sistem ini adalah tingkat risiko gagal jantung (r) berskala 0–100%. Pada metode Mamdani, luaran dibagi menjadi tiga kategori linguistik: Rendah, Sedang, dan Tinggi. Sementara pada metode Sugeno orde nol, luaran direpresentasikan sebagai konstanta tegas tunggal (*singleton*), dengan nilai $k=25$ (Rendah), $k=60$ (Sedang), dan $k=90$ (Tinggi).

3.2.1 Fungsi Keanggotaan Usia

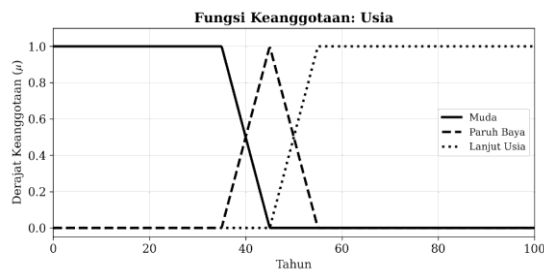
Derajat keanggotaan untuk variabel usia (x) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\mu_{Muda}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 35 \\ \frac{45-x}{10}, & 35 < x < 45 \\ 0, & x \geq 45 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{ParuhBaya}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \text{ atau } x \geq 55 \\ \frac{x-35}{10}, & 35 < x \leq 45 \\ \frac{55-x}{10}, & 45 < x < 55 \\ 0, & x \geq 55 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{LanjutUsia}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 45 \\ \frac{x-45}{10}, & 45 < x < 55 \\ 1, & x \geq 55 \end{cases} \quad (3)$$

Representasi dengan grafik untuk nilai *input* keanggotaan usia dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Representasi Grafik Fungsi Derajat Keanggotaan Usia

3.2.2 Fungsi Keanggotaan Tekanan Darah Sistolik

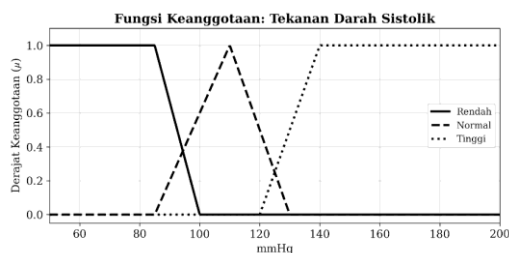
Derajat keanggotaan untuk variabel tekanan darah sistolik (y) ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\mu_{\text{Rendah}}(y) = \begin{cases} 1, & y \leq 85 \\ \frac{100-y}{15}, & 85 < y < 100 \\ 0, & y \geq 100 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Normal}}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 85 \text{ atau } y \geq 130 \\ \frac{y-85}{25}, & 85 < y \leq 110 \\ \frac{130-y}{20}, & 110 < y < 130 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Tinggi}}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 120 \\ \frac{y-120}{20}, & 120 < y < 140 \\ 1, & y \geq 140 \end{cases} \quad (6)$$

Representasi dengan grafik untuk nilai *input* keanggotaan tekanan darah sistolik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi Grafik Fungsi Derajat Keanggotaan Tekanan Darah Sistolik

3.2.3 Fungsi Keanggotaan Kadar Kolesterol Serum

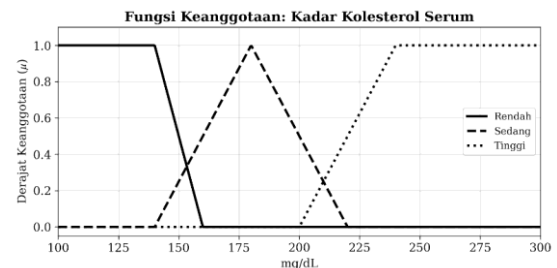
Derajat keanggotaan untuk variabel kadar kolesterol serum (z) sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Rendah}}(z) = \begin{cases} 1, & z \leq 140 \\ \frac{160-z}{20}, & 140 < z < 160 \\ 0, & z \geq 160 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 140 \text{ atau } z \geq 220 \\ \frac{z-140}{40}, & 140 < z \leq 180 \\ \frac{220-z}{40}, & 180 < z < 220 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{Tinggi}}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 200 \\ \frac{z-200}{40}, & 200 < z < 240 \\ 1, & z \geq 240 \end{cases} \quad (9)$$

Representasi dengan grafik untuk nilai *input* keanggotaan kadar kolesterol serum dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Representasi Grafik Fungsi Derajat Keanggotaan Kadar Kolesterol Serum

3.2.4 Fungsi Keanggotaan Tingkat Risiko (Mamdani)

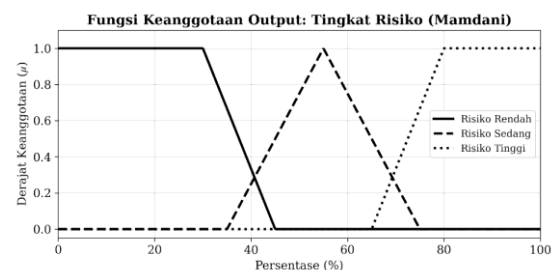
Output tingkat risiko pada model Mamdani (r) dipetakan dengan persamaan berikut:

$$\mu_{\text{RisikoRendah}}(r) = \begin{cases} 1, & r \leq 30 \\ \frac{45-r}{15}, & 30 < r < 45 \\ 0, & r \geq 45 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{RisikoSedang}}(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 35 \text{ atau } r \geq 75 \\ \frac{r-35}{20}, & 35 < r \leq 55 \\ \frac{75-r}{20}, & 55 < r < 75 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{RisikoTinggi}}(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 65 \\ \frac{r-65}{15}, & 65 < r < 80 \\ 1, & r \geq 80 \end{cases} \quad (12)$$

Representasi dengan grafik untuk nilai *output* keanggotaan tingkat risiko (Mamdani) dapat dilihat pada Gambar 4.



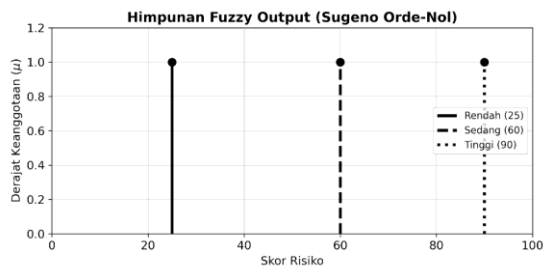
Gambar 4. Representasi Grafik Fungsi Derajat Keanggotaan Tingkat Risiko (Mamdani)

3.2.5 Fungsi Keanggotaan Tingkat Risiko (Sugeno)

Output tingkat risiko pada model Sugeno (k) dipetakan dengan persamaan berikut:

$$k = \begin{cases} 25, & \text{Risiko Rendah} \\ 60, & \text{Risiko Sedang} \\ 90, & \text{Risiko Tinggi} \end{cases} \quad (13)$$

Representasi dengan grafik untuk nilai output keanggotaan tingkat risiko (Sugeno) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Representasi Grafik Fungsi Derajat Keanggotaan Tingkat Risiko (Sugeno)

3.3 Perumusan Basis Aturan (Rule Base)

Mekanisme penalaran diagnosis dibangun menggunakan kombinasi dari ketiga variabel masukan tersebut. Proses pembentukan aturan menggunakan konektor logika *AND* dengan fungsi implikasi minimum (*min*). Evaluasi menyeluruh terhadap seluruh kemungkinan kondisi medis pasien menghasilkan 27 aturan implikasi heuristik (berformat *IF-THEN*). Tabel 1 menampilkan 27 aturan logika yang diimplementasikan untuk menentukan tingkat risiko.

Tabel 1. Fuzzy Rule Base

Aturan	Usia	Tekanan Darah	Kolesterol	Output Risiko
R1	Muda	Rendah	Rendah	Rendah
R2	Muda	Rendah	Sedang	Rendah
R3	Muda	Rendah	Tinggi	Sedang
R4	Muda	Normal	Rendah	Rendah
R5	Muda	Normal	Sedang	Rendah
R6	Muda	Normal	Tinggi	Sedang

Aturan	Usia	Tekanan Darah	Kolesterol	Output Risiko
R7	Muda	Tinggi	Rendah	Sedang
R8	Muda	Tinggi	Sedang	Sedang
R9	Muda	Tinggi	Tinggi	Tinggi
R10	Paruh Baya	Rendah	Rendah	Rendah
R11	Paruh Baya	Rendah	Sedang	Sedang
R12	Paruh Baya	Rendah	Tinggi	Sedang
R13	Paruh Baya	Normal	Rendah	Rendah
R14	Paruh Baya	Normal	Sedang	Sedang
R15	Paruh Baya	Normal	Tinggi	Tinggi
R16	Paruh Baya	Tinggi	Rendah	Sedang
R17	Paruh Baya	Tinggi	Sedang	Tinggi
R18	Paruh Baya	Tinggi	Tinggi	Tinggi
R19	Lanjut Usia	Rendah	Rendah	Sedang
R20	Lanjut Usia	Rendah	Sedang	Sedang
R21	Lanjut Usia	Rendah	Tinggi	Tinggi
R22	Lanjut Usia	Normal	Rendah	Sedang
R23	Lanjut Usia	Normal	Sedang	Tinggi
R24	Lanjut Usia	Normal	Tinggi	Tinggi
R25	Lanjut Usia	Tinggi	Rendah	Tinggi
R26	Lanjut Usia	Tinggi	Sedang	Tinggi
R27	Lanjut Usia	Tinggi	Tinggi	Tinggi

3.4 Metode Defuzzifikasi

Tahap akhir dari sistem ini adalah evaluasi aturan (inferensi) dan penarikan kesimpulan nilai tegas (defuzzifikasi), yang menjadi pembeda utama antara algoritma Mamdani dan Sugeno.

Pada metode Mamdani, komposisi antaraturan menggunakan metode *MAX-MIN*. Keluaran dari inferensi ini menghasilkan daerah *fuzzy* baru. Proses pengembalian ke nilai tegas menggunakan metode titik berat atau *Center of Area* (CoA), yang dihitung melalui formulasi integral pada Persamaan (14):

$$z^* = \frac{\int \mu_C(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_C(z) \, dz} \quad (14)$$

Sebaliknya, pada metode Sugeno orde-nol, proses inferensi langsung mengeksekusi konsekuen berupa konstanta matematis pada setiap aturan. Defuzzifikasi Sugeno tidak menggunakan perhitungan integral luasan, melainkan menggunakan metode Rata-rata Terbobot (*Weighted Average*) yang direpresentasikan pada Persamaan (15):

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (15)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan simulasi model dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB guna mengevaluasi kinerja Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) yang telah dirancang. Proses simulasi ini melibatkan konversi parameter klinis riil pasien ke dalam kurva fungsi keanggotaan linguistik, diikuti dengan eksekusi basis aturan inferensi.

4.1 Hasil Simulasi dan Pengujian Dataset Pasien

Model komputasi yang dirancang diuji secara langsung menggunakan 30 sampel data klinis sekunder. Nilai tegas akhir diperoleh melalui integrasi *Center of Area* (CoA) untuk metode Mamdani dan metode *Weighted Average* untuk metode Sugeno. Ringkasan hasil komparasi responsivitas luaran dari kedua arsitektur fuzzy tersebut disajikan pada Tabel 2.

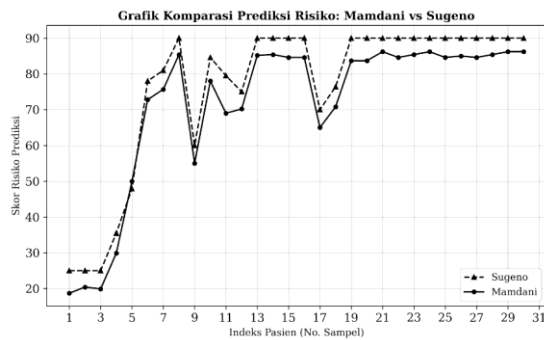
Tabel 2. Hasil Komparasi Prediksi Skor Risiko pada 30 Sampel Uji

No	Usia	Tekanan Darah	Kolesterol	Mamdani (%)	Sugeno (0-100)	Kategori
1	30	110	140	18.7	25	Rendah
2	32	115	160	20.4	25	Rendah
3	35	90	180	19.9	25	Rendah
4	38	100	195	29.9	35.5	Rendah
5	40	125	150	50	47.9	Sedang
6	41	110	225	72.8	78	Tinggi
7	42	145	180	75.7	81	Tinggi
8	44	135	240	85.4	90	Tinggi
9	45	120	175	55	60	Sedang
10	46	128	190	78	84.6	Tinggi
11	48	115	210	69	79.5	Sedang
12	50	110	165	70.2	75	Tinggi
13	52	140	185	85.2	90	Tinggi
14	54	145	230	85.4	90	Tinggi
15	55	120	200	84.6	90	Tinggi
16	58	130	220	84.6	90	Tinggi
17	60	110	150	65	70	Sedang
18	62	95	180	70.8	76.4	Tinggi
19	63	125	195	83.7	90	Tinggi
20	65	135	210	83.7	90	Tinggi
21	68	140	240	86.2	90	Tinggi
22	70	120	170	84.6	90	Tinggi
23	72	150	190	85.4	90	Tinggi
24	75	110	250	86.2	90	Tinggi
25	78	130	160	84.6	90	Tinggi
26	80	145	225	85	90	Tinggi
27	82	155	200	84.6	90	Tinggi
28	85	115	260	85.4	90	Tinggi
29	88	140	280	86.2	90	Tinggi
30	90	160	250	86.2	90	Tinggi

Sumber data: <https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/heart-failure-clinical-data> [16]

4.2 Analisis Komparasi Kinerja Mamdani dan Sugeno

Hasil pengujian dari Tabel 2 diekstraksi ke dalam bentuk visualisasi komparatif pada Gambar 6 untuk membandingkan perbedaan perilaku transisi penarikan kesimpulan dari kedua metode.



Gambar 6. Grafik Komparasi Prediksi Risiko antara Metode Mamdani dan Sugeno

Berdasarkan analisis grafis pada 30 sampel pengujian, metode Sugeno terbukti mengeksekusi parameter dengan fluktuasi (*dynamic range*) yang sangat tegas. Hal ini terlihat pada rentang pasien bernomor indeks 13 hingga 30, di mana *output* Sugeno secara konsisten dan agresif langsung mengunci pada nilai konstanta maksimalnya, yaitu 90, ketika ambang batas medis terlewati. Perilaku ketegasan ini terjadi karena Sugeno menggunakan metode rata-rata terbobot terhadap nilai pasti (*singleton*), sehingga mengabaikan proses kalkulasi luasan gabungan.

Sebaliknya, metode Mamdani menunjukkan pergerakan kurva luaran yang jauh lebih landai dan kontinu. Sebagaimana tercatat pada data uji Tabel 2 (khususnya pada sampel pasien nomor 21, 24, 29, dan 30), meskipun indikator klinis pasien berada pada nilai yang sangat ekstrem, nilai persentase risiko Mamdani tetap bergerak stabil dan tertahan pada angka maksimum di kisaran 85% hingga 86,2%. Hal ini disebabkan oleh sifat defuzzifikasi *Center of Area (CoA)* yang senantiasa memperhitungkan titik berat dari seluruh geometri kurva luaran, sehingga secara matematis sulit untuk menyentuh nilai mutlak 100%.

Untuk mengukur tingkat konsistensi penalaran antara kedua arsitektur ini, dilakukan perhitungan galat menggunakan metode *Mean*

Absolute Error (MAE) terhadap ke-30 sampel data tersebut dengan rumus:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n z_{mam}^i - z_{sug}^i \quad (16)$$

Berdasarkan kalkulasi selisih absolut dari data Tabel 2, nilai kesalahan mutlak rata-rata (MAE) yang dihasilkan terbukti sangat rendah, yaitu hanya sebesar 5,16%. Rendahnya nilai galat ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan pendekatan matematis yang mendasar pada proses defuzzifikasinya, kedua mesin inferensi fuzzy ini memiliki korelasi penalaran yang sangat presisi satu sama lain.

Dari perspektif urgensi klinis, kedua arsitektur ini mampu mengatasi ambiguitas diagnosis dengan keunggulannya masing-masing. Karakteristik luaran Mamdani yang moderat dan tidak reaktif sangat selaras dengan prinsip kehati-hatian (*prudence*) yang umum diterapkan oleh praktisi medis, menjadikannya sangat ideal sebagai sistem pakar penunjang keputusan interaktif di fasilitas kesehatan. Di sisi lain, efisiensi komputasi Sugeno yang meniadakan perhitungan integral luasan dua dimensi, dikombinasikan dengan kemampuannya memberikan respons angka risiko secara instan, menjadikan algoritma ini pilihan paling optimal untuk diintegrasikan pada perangkat keras tertanam (*embedded system*) untuk pemantauan pasien secara *real-time*.

5. KESIMPULAN

Penerapan logika fuzzy berbasis parameter usia, tekanan darah sistolik, dan kolesterol serum efektif memprediksi risiko gagal jantung. Hasil komparasi menunjukkan korelasi inferensi yang konsisten antara kedua model dengan nilai *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 5,16%. Perbedaan utama terletak pada karakteristik luarannya; metode Mamdani menghasilkan transisi risiko yang halus dengan nilai maksimum 86,2% akibat kalkulasi integral *centroid*. Karakteristik natural ini membuat Mamdani ideal untuk Sistem Penunjang Keputusan (SPK) interaktif. Sebaliknya, metode Sugeno memiliki karakteristik diskret yang reaktif dalam mencapai batas skor maksimal 90 secara instan. Didukung proses komputasi rata-rata terbobot yang lebih ringan, Sugeno sangat optimal untuk

pemantauan klinis berbasis *Internet of Things (IoT)* secara *real-time*

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung atas dukungan fasilitas selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHO, "Cardiovascular diseases (CVDs): Fact sheets," World Health Organization, 2021. [Online]. Available: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). [Accessed: 29-May-2026].
- [2] S. F. Weng, J. Reps, J. Kai, J. Garibaldi, and Q. Qureshi, "Can machine-learning improve cardiovascular risk prediction using routine clinical data?," PLoS ONE, vol. 12, no. 4, p. e0174944, Apr. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0174944.
- [3] L. A. Zadeh, "Is there a need for fuzzy logic?," Information Sciences, vol. 178, no. 13, pp. 2751-2779, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.ins.2008.02.012.
- [4] J. Schumann, P. S. S. R. Kumar, and D. L. Hudson, "Fuzzy logic in medical decision making," Artificial Intelligence in Medicine, vol. 72, pp. 1-12, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.artmed.2016.07.001.
- [5] T. J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, 4th ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2016.
- [6] J. M. Mendel, "Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial," Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 3, pp. 345-377, Mar. 1995, doi: 10.1109/5.364485.
- [7] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, Jan. 1975, doi: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
- [8] M. Sugeno, "Industrial applications of fuzzy control," Elsevier Science Inc., New York, NY, 1985.
- [9] T. Ramadhan and A. S. R. M. Sinaga, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Mendiagnosis Penyakit Jantung Koroner," Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer, vol. 2, no. 1, pp. 15-24, Jan. 2021.
- [10] E. Saputra and R. W. Ningrum, "Klasifikasi Risiko Penyakit Kardiovaskular Menggunakan Logika Fuzzy Metode Sugeno Berbasis Logika Klinis," Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 5, no. 2, pp. 112-121, Aug. 2023.
- [11] N. S. Muhtadi, D. M. Rahman, and D. F. Surianto, "Analisis Risiko Kebakaran Hutan dengan Logika Fuzzy Mamdani," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET), vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3902.
- [12] D. L. Rahakbauw, A. Afriananda, and H. W. M. Patty, "Perbandingan Logika Fuzzy Metode Sugeno dan Metode Mamdani Untuk Deteksi Dini Penyakit Stroke," Tensor: Pure and Applied Mathematics Journal, vol. 3, no. 1, pp. 11-22, 2022, doi: 10.30598/tensorvol3iss1pp11-22.
- [13] S. Sumiati, H. T. Sigit, A. Triayudi, and M. Theresia, "Diagnosa Kelainan Jantung dengan Pendekatan Fuzzy Logic Mamdani," TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol, vol. 8, no. 2, pp. 149-157, 2022, doi: 10.15575/telka.v8n2.149-157.
- [14] R. M. Simanjorang, A. Simangunsong, M. Arifin, and M. Yamin, "Penerapan Sistem Pakar Dalam Diagnosis Dini Penyakit Jantung Dengan Metode Sistem Inferensi Fuzzy," Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKOMSI), vol. 7, no. 1, pp. 131-142, 2024.
- [15] U. Athiyah, F. Citra, D. Putri, R. A. Saputra, H. D. Hekmatyar, T. A. Satrio, and A. I. Perdana, "Diagnosa Resiko Penyakit Jantung Menggunakan Logika Fuzzy Metode Tsukamoto," Jurnal Ilmiah Rekam Medis dan Informatika Kesehatan (Infokes), vol. 11, no. 1, pp. 31-40, 2021.
- [16] D. Chicco and G. Jurman, "Heart Failure Clinical Records Dataset," *Kaggle*, 2020. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/heart-failure-clinical-data>.