



Article

Penerapan Logika Fuzzy dalam Penanganan Penyakit Diabetes: Sistematis Literatur Review

Dimas Febri Kuncoro¹, Purwono²

^{1,2} Informatika, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

*Koresponding Author: dimasfebry9@gmail.com

Abstract: This study presents an overview of the use of fuzzy methods in the diagnosis and prediction of diabetes mellitus. Fuzzy logic approaches have attracted attention in diabetes management due to their ability to overcome uncertainty and vagueness in medical data. Through the Literature Review research method, related articles selected from online databases have been systematically analyzed to evaluate the various approaches that have been developed. Findings from the literature review show that the use of fuzzy methods in diabetes diagnosis and prediction has resulted in significant progress, with some studies achieving high levels of accuracy. However, some challenges such as dataset limitations and dependency on certain features were also identified. In addition, the potential and challenges of fuzzy logic in diabetes diagnosis are discussed, including opportunities to improve diagnostic interpretation and comorbidity of medical data.

Keywords: Fuzzy logic; diabetes; medical data; classification; prediction

Received: 21 Agustus 2024

Revised: 1 September 2024

Accepted: 3 September 2024

Published: 9 September 2024



Copyright: © 2024 by the authors.

License Universitas Hrapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Pendahuluan

Kesehatan selalu dan akan selalu menjadi topik yang sangat penting untuk diperdebatkan. Baik melalui pencarian metode baru yang tak henti-hentinya untuk mengurangi risiko terkena penyakit, atau melalui pencarian strategi baru yang entah bagaimana dapat berkontribusi pada peningkatan sistem kesehatan (Pintanel et al. 2023). Diabetes mellitus adalah penyakit metabolik kronis yang ditandai oleh kadar glukosa darah yang tinggi (hiperglikemia) akibat kekurangan insulin, resistensi insulin, atau keduanya (Tao et al. 2024). Diabetes tipe 1

disebabkan oleh kerusakan sel beta dalam pankreas yang menghasilkan insulin, sedangkan diabetes tipe 2 terjadi ketika tubuh tidak merespons insulin dengan baik atau tidak menghasilkan cukup insulin (Madhu 2020), (Yuanyuan Li, Peng, and Gu 2023).

Penyakit diabetes mellitus merupakan salah satu penyakit kronis yang menjadi masalah kesehatan global yang serius. Secara global, diperkirakan lebih dari 537 juta orang dewasa (Antonio-Villa et al. 2024) berusia 20 hingga 79 tahun, yang merupakan 10,5% dari individu dalam rentang usia ini terkena diabetes (Mahat et al. 2024). Dengan meningkatnya jumlah pasien diabetes, deteksi dini menjadi sangat penting (Thakkar et al. 2021). Penyakit ini tidak hanya mempengaruhi kualitas hidup individu yang terkena, tetapi juga memiliki dampak ekonomi yang signifikan karena biaya perawatan yang tinggi dan produktivitas yang berkurang. Komplikasi jangka panjang dari diabetes meliputi penyakit jantung, stroke, gagal ginjal, kebutaan, dan amputasi anggota tubuh. Oleh karena itu, pengelolaan diabetes meliputi kontrol kadar glukosa darah, pengelolaan faktor risiko kardiovaskular, pengelolaan berat badan, dan pendidikan pasien tentang perubahan gaya hidup yang sehat (Y. Liu et al. 2022), (Idrees et al. 2022), (Harding et al. 2019).

Penanganan diabetes mellitus memerlukan pendekatan yang holistik dan terintegrasi, yang mencakup diagnosis yang tepat, pengelolaan risiko, dan pengobatan yang efektif. Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas perawatan bagi penderita diabetes, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengintegrasikan teknologi dan metodologi baru ke dalam praktik klinis (Hashim 2022), (Aloke et al. 2022). Salah satu pendekatan yang menarik perhatian dalam penanganan diabetes adalah penggunaan logika fuzzy. Logika fuzzy (Mosavi et al. 2022) adalah sebuah pendekatan dalam kecerdasan buatan yang memungkinkan pemrosesan data yang tidak tegas atau ambigu. Berbeda dengan logika klasik yang menggunakan nilai kebenaran biner (benar atau salah), logika fuzzy memungkinkan variabel untuk memiliki derajat keanggotaan di dalam sebuah himpunan. Konsep utama dalam logika fuzzy adalah himpunan fuzzy, yang memungkinkan penanganan ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam data (Mavani et al. 2024), (Chaki 2023), (Bansal et al. 2023). Penerapan logika fuzzy dalam penanganan diabetes berkaitan erat dengan kemampuannya untuk mengatasi ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam data medis. Dalam konteks diagnosis, logika fuzzy dapat membantu dalam memperhitungkan berbagai variabel yang mempengaruhi status kesehatan seseorang dan menyediakan kerangka kerja yang fleksibel untuk membuat keputusan (Aamir et al. 2021), (Aynur Jabiyeva and Mahabbat Khudaverdiyeva 2023).

Penerapan logika fuzzy juga diterapkan dalam pengaturan dosis obat, di mana faktor-faktor seperti respons individual terhadap obat, kondisi kesehatan yang bervariasi, dan toleransi terhadap efek samping dapat

diperhitungkan secara lebih holistik (Cleophas and Zwinderman 2020), (Jabiyeva 2022). Dalam himpunan fuzzy, setiap anggota memiliki tingkat keanggotaan yang berkisar dari 0 hingga 1, yang menunjukkan sejauh mana suatu elemen termasuk dalam himpunan tersebut. Operasi logika fuzzy, seperti operasi AND, OR, dan NOT, diterapkan pada tingkat keanggotaan ini untuk menghasilkan keluaran yang lebih halus dan lebih kontinu daripada logika klasik (J. Zhang, Wu, and Lu 2020), (P. Liu et al. 2020), (Baradaran and Ghorbani 2020), (S. Li and Wei 2020).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian Literature Review dengan cara pengumpulan informasi yang didapatkan dari studi terdahulu yang terkait dengan penggunaan metode fuzzy dalam diagnosis dan prediksi diabetes. Pencarian literatur dilakukan melalui database online seperti PubMed, IEEE Xplore, dan ScienceDirect dalam rentang waktu lima tahun terakhir.

Dari kumpulan literatur yang ditemukan, dilakukan filter dengan menggunakan kriteria tertentu. Proses seleksi dilakukan secara sistematis dengan mempertimbangkan relevansi dan kualitas setiap artikel. Kriteria tersebut mencakup aspek-aspek seperti penggunaan metode fuzzy dalam prediksi diabetes, akurasi klasifikasi, teknik pengolahan data yang digunakan, serta penelitian terbaru dalam domain ini.

Setelah proses seleksi, referensi yang sesuai dipilih untuk analisis lebih lanjut. Ini bertujuan untuk memahami berbagai pendekatan metode fuzzy dalam diagnosis dan prediksi diabetes, mengevaluasi kelebihan dan kekurangan masing-masing pendekatan, serta mengidentifikasi tren dan kesenjangan penelitian yang perlu dieksplorasi lebih lanjut. Langkah-langkah metodologi ini akan membantu dalam menyusun gambaran komprehensif tentang penggunaan metode fuzzy dalam bidang kesehatan, khususnya dalam konteks diagnosis dan prediksi diabetes, serta mengarahkan arah penelitian yang potensial untuk diteliti lebih lanjut.

Tabel 1. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan Penelitian	
RQ 1	Bagaimana penggunaan metode fuzzy dalam diagnosis dan prediksi diabetes meningkatkan akurasi dibandingkan dengan metode diagnostik tradisional?
RQ 2	Sejauh mana aturan logika fuzzy dapat meningkatkan penalaran dan interpretasi data medis dalam diagnosis dan penanganan komorbiditas diabetes?
RQ 3	Apa saja tantangan utama dalam penerapan logika fuzzy dan AI untuk diagnosis diabetes terkait dengan privasi data dan keamanan informasi pasien?

Studi Literatur

Berdasarkan hasil pencarian studi literatur mengenai implementasi logika fuzzy dalam bidang penyakit diabetes dari berbagai sumber, diperoleh hasil penelitian terdahulu sebagai berikut dengan analisis hasil penelitian, kelebihan dan kekurangan penelitian.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Penulis	Hasil	Kelebihan	Kekurangan
1.	A Fuzzy Rule-Based System for Classification of Diabetes [27]	Khalid Mahmood Aamir, Laiba Sarfraz, Muhammad Ramzan dkk	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan sistem berbasis aturan fuzzy untuk prediksi dini diabetes. Dua klasifier fuzzy telah dikonstruksi yang mengklasifikasikan seseorang sebagai penderita diabetes atau non-diabetes. Klasifier pertama mencapai akurasi 96,47%, sedangkan klasifier kedua mencapai akurasi 95,38%. Temuan menunjukkan bahwa model yang diusulkan dapat memprediksi diabetes dengan akurasi yang lebih tinggi daripada metode sebelumnya.	Penelitian ini memiliki beberapa kelebihan terkait dengan metode fuzzy. Salah satunya adalah tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi dalam memprediksi diabetes. Selain itu, penelitian ini juga mencakup berbagai metode fuzzy yang inovatif, seperti penggunaan algoritma genetika, neuro-fuzzy, dan fuzzy rule-based systems, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan akurasi prediksi diabetes.	Kekurangan dari penelitian ini adalah bahwa penelitian ini hanya menggunakan fitur-fitur sederhana seperti usia, BMI, dan lainnya untuk memprediksi diabetes. Selain itu, penelitian ini hanya menggunakan satu dataset diabetes, yaitu dataset Pima Indians Diabetes (PID), yang mungkin membatasi generalisasi hasilnya ke populasi yang lebih luas.
2.	A proposed approach for diabetes diagnosis using neuro-fuzzy technique [28]	Maher Talal Alasaady, Teh Noranis Mohd Aris dkk	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan pendekatan untuk mendiagnosis diabetes menggunakan sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif (ANFIS) berdasarkan kumpulan data diabetes Pima	Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan ini menghasilkan tingkat akurasi klasifikasi sebesar 92,77%, yang terlihat cukup menjanjikan dibandingkan dengan aplikasi klasifikasi lain untuk topik ini	Kekurangan dari penelitian ini adalah bahwa ukuran dataset yang digunakan relatif kecil, yaitu 768 observasi. Hal ini dapat mempengaruhi generalisasi hasil penelitian ke populasi yang lebih besar. Selain itu, penelitian ini juga tidak

			Indians (PIDD). Pendekatan ini terdiri dari tiga tahap: pra-pemrosesan, klasifikasi, dan evaluasi.	yang ditemukan dalam literatur.	mencakup proses optimisasi, penggunaan algoritma deep learning, atau penerapan klasifikasi untuk penyakit lainnya.
3.	A Fuzzy Approach for Diabetes Mellitus Type 2 Classification [29]	Glaucia Maria Bressan, Beatriz Cristina Flãmia de Azevedo, Roberto Molina de Souza	Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa metode manajemen kasus perawatan dengan intervensi perawat memiliki dampak positif pada kontrol glikemia penderita diabetes tipe 2. Hal ini terlihat dari penurunan yang signifikan dalam tingkat glikemia pada kelompok intervensi dibandingkan dengan kelompok perawatan biasa. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam prioritas tindakan untuk pasien yang benar-benar mendapat manfaat yang lebih besar dari perawatan khusus dibandingkan dengan perawatan biasa.	Metode fuzzy memungkinkan penanganan informasi yang tidak pasti dan tidak akurat, yang seringkali terdapat dalam basis data Diabetes. Hal ini memungkinkan sistem klasifikasi untuk lebih konsisten dan lebih mudah matematis dalam pengolahannya. Penelitian ini melakukan simulasi untuk mendapatkan data yang lebih luas, yang memberikan evaluasi yang lebih baik terhadap sistem klasifikasi yang dikembangkan.	Penelitian ini bergantung pada database penelitian klinis, yang mungkin memiliki keterbatasan dalam hal kualitas data, kelengkapan, dan keterwakilan populasi. Studi ini didasarkan pada database tertentu dan mungkin tidak dapat digeneralisasikan ke populasi atau lingkungan lain.
4.	Fuzzy Based Decision Making System for the Detection of Diabetic Retinopathy [30]	Ratish, Neeru Malhotra, Vishav Kapoor	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan sebuah sistem pendukung keputusan berbasis fuzzy untuk deteksi retinopati diabetik. Sistem ini menggunakan logika fuzzy untuk memproses informasi tentang parameter kesehatan, seperti tekanan darah, kadar gula darah, dan lainnya, guna	Kelebihan dari penelitian ini adalah penggunaan sistem pengambilan keputusan berbasis fuzzy untuk deteksi retinopati diabetik. Sistem ini memiliki biaya komputasi yang rendah dan hasil yang komparatif dengan akurasi 88%, sehingga dapat membantu dalam deteksi dini retinopati diabetik.	Kekurangan dari penelitian ini termasuk tidak mempertimbangkan faktor usia dan hubungan keturunan, ketidakmampuan untuk menginferensikan tingkat keparahan penyakit, serta ketidakmampuan untuk memberikan saran pengobatan. Selain itu, penelitian ini tidak mempertimbangkan

			memprediksi kondisi kesehatan mata individu.		faktor-faktor tersebut dalam sistemnya.
5.	Early Detection of Diabetes Mellitus using Feature Selection and Fuzzy Support Vector Machine [31]	Rian Budi Lukmanto, Suharjito, Ariadi Nugroho, Habibullah Akbar	Penelitian menunjukkan bahwa pengklasifikasi Fuzzy SVM secara efektif melatih data untuk menghasilkan aturan Fuzzy, yang mengarah ke kinerja Fuzzy Inferensi yang optimal.	Mencapai akurasi yang menjanjikan sebesar 89,02% dalam memprediksi pasien dengan Diabetes Mellitus. Secara efektif mengoptimalkan jumlah aturan Fuzzy sambil mempertahankan akurasi yang cukup.	Kurangnya eksplorasi teknik pengelompokan atau algoritma genetik untuk berpotensi meningkatkan akurasi. Studi ini tidak membandingkan metodologi yang diusulkan dengan teknik pengklasifikasi lain yang ada untuk klasifikasi Diabetes Mellitus.
6.	Indeterminacy Handling of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System Using Neutrosophic Set Theory: A Case Study for the Classification of Diabetes Mellitus [32]	Rajan Prasad, Praveen Kumar Shukla	Model N-ANFIS yang diusulkan berhasil menangani informasi yang tidak jelas dan mencapai akurasi tinggi dalam mengklasifikasikan diabetes, melampaui algoritma klasifikasi lanjutan. Studi ini menggunakan fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga untuk neutrosifikasi, menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam menangani ketidakpastian dalam data dunia nyata.	Pendekatan berbasis aturan fuzzy dengan aturan IF-THEN meningkatkan interpretabilitas dan membantu dalam membangun pengklasifikasi . Logika fuzzy memungkinkan untuk menangani ambiguitas data dan definisi kelas yang tumpang tindih, meningkatkan tugas klasifikasi.	Kompleksitas sistem meningkat karena setiap fitur memiliki tiga nilai keanggotaan: kebenaran, ketidakpastian, dan kepalsuan, mirip dengan sistem fuzzy standar. Model yang diusulkan lebih menantang untuk diterapkan dibandingkan dengan model pembelajaran mesin lainnya, membutuhkan daya komputasi tinggi karena menghasilkan sejumlah besar data.
7.	Comparative anatomization of data mining and fuzzy logic techniques used in diabetes prognosis [33]	Harshil Thakkar, Vaishnavi Shah, Hiteshri Yagnik, Manan Shah	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa teknik-teknik data mining dan logika fuzzy yang digunakan untuk diagnosis diabetes telah terbukti memberikan akurasi yang cukup tinggi. Teknik logika fuzzy telah menunjukkan akurasi hingga 96%, sementara metode data mining seperti pengklasifikasi hutan	Menyediakan pemahaman yang mendalam tentang penggunaan data mining dan logika fuzzy dalam diagnosis diabetes, yang dapat membantu dalam deteksi dini penyakit tersebut. Menunjukkan bahwa teknik logika fuzzy mampu memberikan akurasi hingga 96%, sementara data mining seperti	Ketergantungan pada dataset yang digunakan dan jumlah atribut yang dipertimbangkan dalam klasifikasi pasien dapat mempengaruhi akurasi model, sehingga hasilnya dapat bervariasi tergantung pada karakteristik dataset yang digunakan.

			acak juga mencapai akurasi hingga 99.7%. Studi ini menunjukkan bahwa kedua pendekatan tersebut efisien dalam hal akurasi mereka dalam mendiagnosis diabetes.	pengklasifikasi hutan acak mencapai akurasi hingga 99.7%, menunjukkan efektivitas kedua pendekatan tersebut dalam mendiagnosis diabetes	
8.	An Intelligent Medical Expert System Using Temporal Fuzzy Rules and Neural Classifier [34]	Praveen Talari, A. Suresh, M. G. Kavitha	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan dan implementasi sistem prediksi penyakit baru untuk mendiagnosis diabetes secara efektif dengan menerapkan jaringan saraf tiruan dengan logika fuzzy dan batasan waktu, serta metode pemilihan fitur berbasis algoritma genetika.	kelebihan dari penelitian ini adalah pengembangan metode pemilihan fitur berbasis algoritma genetika yang dapat mengidentifikasi dan memilih seperangkat fitur untuk memprediksi diabetes tipe 1 dan diabetes tipe 2. Algoritma pemilihan fitur ini membantu dalam membersihkan data input, melakukan reduksi tupel, dan memilih fitur-fitur yang sesuai.	Penelitian ini mungkin terbatas pada dataset yang digunakan untuk pengujian dan validasi. Penggunaan dataset yang lebih luas dan variasi yang lebih besar dapat membantu dalam menguji generalisasi dari model yang diusulkan.
9.	Combining Supervised and Unsupervised Fuzzy Learning Algorithms for Robust Diabetes Diagnosis [35]	Kwang Baek Kim, Hyun Jun Park, Doo Heon Song	Penelitian tersebut membahas metode yang diusulkan untuk menggabungkan algoritma pembelajaran yang diawasi dan tidak diawasi untuk diagnosis diabetes yang kuat. Disebutkan bahwa metode yang diusulkan menunjukkan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan algoritma jaringan syaraf tiruan berbasis fuzzy standalone dan backpropagation.	Kelebihan dari penelitian ini adalah penggabungan hierarkis komponen pembelajaran fuzzy tak terawasi (unsupervised) dan pembelajaran fuzzy terawasi (supervised) dalam satu algoritma. Dengan menggunakan metode ini, penelitian ini berhasil menunjukkan hasil yang lebih robust dan stabil dalam melakukan prediksi diabetes.	Penelitian hanya dilakukan pada satu set data terbuka (PID database), sehingga generalisasi langsung dari hasil eksperimen ini mungkin tidak tepat untuk menilai kinerja keseluruhan dari algoritma yang diuji.
10.	Type-2 Fuzzy Neural System	Rahib H. Abiyev, Hamit Altiparmak	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan	Kelebihan dari penelitian ini adalah pengembangan sistem	Kekurangan dari penelitian ini adalah kurangnya

	for Diagnosis of Diabetes [36]		sistem identifikasi diabetes berbasis T2FNN (Type-2 Fuzzy Neural Network) yang mengintegrasikan logika fuzzy tipe-2 dan struktur jaringan saraf tiruan. Penelitian ini menggunakan datasets Pima yang diperpanjang dengan 2000 sampel data untuk perancangan sistem identifikasi diabetes.	identifikasi diabetes yang menggunakan metode T2FNN. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah aturan fuzzy meningkatkan akurasi sistem T2FNN dalam diagnosis diabetes.	perbandingan langsung dengan model-model lainnya yang digunakan untuk diagnosis diabetes. Meskipun hasilnya menunjukkan efisiensi penggunaan sistem T2FNN dalam diagnosis diabetes, penelitian ini tidak memberikan perbandingan langsung dengan model lain yang sudah ada di literatur.
11.	Deep learning fuzzy immersion and invariance control for type-I diabetes [37]	Amir H. Mosavi, Ardashir Mohammadzadeh dkk	Hasil dari penelitian ini mencakup pengembangan pendekatan baru untuk regulasi glukosa pada pasien diabetes tipe 1. Berdasarkan hasil simulasi, pendekatan yang diusulkan terbukti efektif dalam mengatur glukosa dalam rentang yang diinginkan lebih dari 99% dari waktu.	Kelebihan dari penelitian ini termasuk pengembangan pendekatan baru berdasarkan teorema Immersion and Invariance (I&I) untuk menyerap gangguan dinamis dan ketidakpastian dalam metabolisme glukosa-insulin. Selain itu, pendekatan baru berbasis deep learning fuzzy logic system (T2FLS) dikembangkan untuk mengkompensasi kesalahan estimasi dan menjamin stabilitas.	penelitian ini juga memiliki kekurangan, termasuk fokus yang sangat teknis dan kemungkinan keterbatasan dalam aplikabilitas di dunia nyata. Selain itu, hasil dari penelitian ini hanya didasarkan pada simulasi dan belum diuji pada subjek manusia nyata. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini perlu diuji lebih lanjut dalam uji klinis dan lingkungan praktis sebelum dapat diimplementasikan secara luas.
12.	Self Organising Fuzzy Logic Classifier for Predicting Type-2 Diabetes Mellitus using ACO-ANN [38]	Ratna Patil, Dr. Sharvari Tamane, Dr. Kanishk Patil	Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan model prediktif untuk Diabetes Mellitus Tipe-2 (T2DM) menggunakan pendekatan Self-Organizing Fuzzy Logic Classifier (SOF) yang diintegrasikan dengan Ant Colony Optimization (ACO)	Penggunaan pendekatan online dan offline dalam pelatihan model, memungkinkan model untuk terus belajar dari data baru dan menyesuaikan diri dengan perubahan pola data. Pengembangan model yang tidak tergantung pada asumsi	Penggunaan dataset yang dikumpulkan dari rumah sakit lokal, yang mungkin memiliki keterbatasan dalam representasi populasi secara umum. Penggunaan jarak Euclidean dan kesamaan kosinus sebagai metrik jarak, tanpa eksplorasi metrik jarak lainnya

			<p>untuk pemilihan fitur yang optimal. Model yang dikembangkan mampu mengklasifikasikan pasien sebagai sehat, prediabet, atau penderita diabetes dengan tingkat akurasi yang tinggi.</p>	<p>sebelumnya tentang model generasi data.</p>	<p>yang mungkin dapat meningkatkan performa model.</p>
13.	<p>Prediction of Type - I and Type -II Diabetes: A Hybrid Approach using Fuzzy Logic and Machine Learning Algorithms [39]</p>	<p>Geeta Pattun, Khaleda Afroaz dkk</p>	<p>Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan pendekatan hibrid yang menggabungkan logika fuzzy dan algoritma pembelajaran mesin untuk memprediksi risiko diabetes tipe I dan tipe II. Tiga model pembelajaran mesin dilatih untuk mengklasifikasikan pasien ke dalam dua kategori diabetes berdasarkan dataset klinis mereka. Algoritma regresi polinomial mencapai skor 0.947, sementara algoritma regresi vektor dukungan dengan kernel rbf mencapai skor 0.954.</p>	<p>Kelebihan dari penelitian ini termasuk penggunaan pendekatan hibrid yang inovatif, kombinasi logika fuzzy dengan algoritma pembelajaran mesin, yang meningkatkan ketepatan model prediksi risiko diabetes. Metode ini mampu menangani data yang tidak pasti dengan baik dan meningkatkan strategi identifikasi dan intervensi dini.</p>	<p>Kekurangan dari penelitian ini mungkin termasuk keterbatasan dalam jumlah data yang digunakan, serta fokus pada dataset klinis tertentu dari Katihar Medical College & Hospital dan Suvadhan Lab. Selain itu, penelitian ini mungkin memerlukan validasi lebih lanjut dengan dataset yang lebih luas dan beragam untuk memastikan generalisasi hasil.</p>
14.	<p>Presenting a Fuzzy Expert System for Diagnosis of Diabetes [40]</p>	<p>Abolfazl Kazemi, Ali Mohammadi</p>	<p>Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan penelitian sebelumnya dan kinerja yang baik dibandingkan dengan hasil dokter. Sistem ahli fuzzy untuk mendiagnosis diabetes menunjukkan 26 kasus dengan diagnosis yang benar</p>	<p>Studi ini menggunakan teknik sistem pakar fuzzy untuk menganalisis variabel pada pasien diabetes, memberikan metode baru untuk mensimulasikan kontrol pada pasien diabetes. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah Multiple Input Single Output (MISO), yang mempertimbangkan variabel input Usia,</p>	<p>Potensi keterbatasan penelitian ini mungkin disebabkan oleh ketergantungan pada masukan data dan perlunya eksplorasi dan perbaikan lebih lanjut dalam hal penerapan dan efisiensi dalam mendiagnosis diabetes. Satu kasus ketidakcocokan dalam diagnosis, dikaitkan dengan</p>

			dari 27 tes yang dilakukan	Berat, dan Olahraga, dan variabel output diabetes dengan tiga istilah	ketidakpastian dalam prediksi dan pengaruh parameter yang tidak termasuk dalam sistem.
15.	An Intelligent Fuzzy System for Diabetes Disease Detection using Harris Hawks Optimization [41]	Zahra Asghari Varzaneh, Soodeh Hosseini	Sistem pakar fuzzy yang diusulkan untuk mendiagnosis diabetes menunjukkan peningkatan akurasi klasifikasi, mengungguli beberapa metode terkenal untuk diagnosis penyakit diabetes. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem ahli memiliki akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan model penambangan data lainnya dalam mendiagnosis diabetes	Sistem pakar fuzzy yang diusulkan untuk mendiagnosis diabetes menunjukkan peningkatan akurasi klasifikasi, mengungguli beberapa metode terkenal untuk diagnosis penyakit diabetes.	Penelitian ini hanya berfokus pada pasien wanita keturunan Indian Pima dan mungkin tidak berlaku untuk populasi lain. Selain itu, penelitian ini hanya menggunakan satu dataset dan mungkin tidak dapat digeneralisasikan ke dataset lainnya.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil review studi literatur menunjukkan bahwa penggunaan metode fuzzy dalam diagnosis dan prediksi diabetes telah menunjukkan kemajuan yang signifikan. Beberapa penelitian berhasil mengembangkan sistem berbasis aturan fuzzy yang mampu memprediksi diabetes dengan tingkat akurasi yang tinggi, bahkan melebihi metode-metode sebelumnya. Metode fuzzy memungkinkan penanganan informasi yang tidak pasti dalam data diabetes, sehingga sistem klasifikasi menjadi lebih konsisten dan mudah diolah secara matematis. Penggunaan metode fuzzy memiliki beberapa kekurangan seperti keterbatasan dalam fitur-fitur yang digunakan dan ketergantungan pada dataset tertentu, yang dapat membatasi generalisasi hasil penelitian. Implementasi logika fuzzy secara keseluruhan pada penelitian menunjukkan potensi besar dalam penggunaan metode fuzzy untuk meningkatkan diagnosis dan prediksi penyakit diabetes.

Peluang dan Tantangan Logika Fuzzy pada Penyakit Diabetes

Di antara teknik penjelasan model spesifik penggunaan aturan logika fuzzy telah muncul sebagai metode yang ampuh. Aturan fuzzy memungkinkan penalaran seperti manusia untuk menyimpulkan hasil prediksi (Yarong Li

et al. 2023), (Xue, Zhou, and Cai 2022), (Y. Zhang et al. 2019). Aturan-aturan ini dirumuskan sebagai pernyataan IF-THEN berdasarkan pengetahuan atau data ahli dan memanfaatkan logika fuzzy untuk memberikan interpretasi semantik dan pemahaman semantik tingkat tinggi dalam proses penalaran yang menyerupai perilaku penalaran manusia (Casalino et al. 2021), (Algehyne et al. 2022).

Untuk meningkatkan interpretasi dan analisis diagnostik dan komorbiditas data medis, kita dapat menggunakan teknik berharga seperti ekstraksi aturan asosiasi dan logika fuzzy. Keunggulan pertama adalah pendekatan populer tanpa pengawasan yang digunakan untuk mengeksplorasi dan menafsirkan kumpulan data transaksional berukuran besar untuk mengidentifikasi pola dan aturan unik. Dengan kata lain, teori himpunan fuzzy menyediakan mekanisme yang efisien untuk mengelola informasi yang tidak lengkap atau tidak tepat (Subasi 2020). Mempertimbangkan hal di atas dan fakta bahwa dalam database medis terdapat data yang tidak lengkap dan tidak tepat, pendekatan seperti aturan asosiasi fuzzy tampaknya menjadi yang paling cocok untuk menjadi solusi terbaik untuk mendiskritisasi nilai numerik secara halus dan mengungkap serta mewakili hubungan tersembunyi dengan cara yang dapat dimengerti oleh pengguna akhir (Fernandez-Basso et al. 2022).

Karena sistem AI klinis dikembangkan pada jumlah besar dari data kesehatan dunia nyata, label dan kualitas data yang sesuai akan secara langsung menentukan performa model. Kualitas data mungkin mempunyai masalah berikut: kualitas data itu sendiri yang buruk, seperti gambar yang tidak rata dan buram; kualitas label data yang buruk, seperti label yang salah; dan data tidak mencukupi, dimana hanya sebagian kecil data yang diberi label. Selain itu, sistem yang didukung AI dapat memperkuat bias dan diskriminasi implisit jika dilatih berdasarkan data yang mencerminkan kesenjangan layanan kesehatan yang dialami oleh kelompok-kelompok berdasarkan ras, etnis, gender, orientasi seksual, status sosial ekonomi, atau lokasi geografis (Johnson-Mann, Loftus, and Bihorac 2021). Untuk memitigasi kendala-kendala ini, Algoritme AI harus dilatih berdasarkan kumpulan data yang adil yang mencakup dan secara akurat mewakili faktor sosial, lingkungan, dan ekonomi yang memengaruhi kesehatan (Loftus et al. 2022).

Masalah utama bagi masa depan AI di bidang kedokteran adalah penerapan privasi data dan jaminan keamanan. Karena banyaknya masalah peretasan di seluruh dunia, tidak ada ruang bagi algoritme yang mungkin berisiko mengungkapkan riwayat kesehatan pasien dalam praktik klinis (Topol 2019). Selain itu, terdapat potensi risiko fatal bagi pasien jika jenis algoritme AI tertentu diretas, seperti overdosis insulin untuk pasien diabetes dalam sistem pengiriman insulin otomatis loop tertutup. Identitas seseorang juga semakin mungkin ditentukan melalui

pengenalan wajah atau urutan genom dari database yang sangat besar, yang selanjutnya menghambat perlindungan privasi (Guan et al. 2023).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode logika fuzzy dalam diagnosis dan prediksi diabetes telah menunjukkan kemajuan yang signifikan. Meskipun telah mencapai tingkat akurasi yang tinggi, masih ada beberapa potensi penelitian yang dapat dieksplorasi lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitasnya di masa depan. Hal tersebut meliputi pengembangan model yang lebih komprehensif dengan integrasi data klinis tambahan, validasi menggunakan dataset yang lebih luas dan representatif, serta peningkatan interpretasi dan keamanan data untuk mendukung aplikasi dalam praktik klinis yang lebih luas. Dengan menggali potensi ini, logika fuzzy memiliki potensi untuk terus meningkatkan manajemen diabetes dan perawatan pasien di masa mendatang.

Daftar Pustaka

- Aamir, Khalid Mahmood, Laiba Sarfraz, Muhammad Ramzan, Muhammad Bilal, Jana Shafi, and Muhammad Attique. 2021. "A Fuzzy Rule-Based System for Classification of Diabetes." *Sensors* 21(23): 8095. doi:10.3390/s21238095.
- Algehyne, Ebrahim A., Muhammad Lawan Jibril, Naseh A. Algehainy, Osama Abdulaziz Alamri, and Abdullah K. Alzahrani. 2022. "Fuzzy Neural Network Expert System with an Improved Gini Index Random Forest-Based Feature Importance Measure Algorithm for Early Diagnosis of Breast Cancer in Saudi Arabia." *Big Data and Cognitive Computing* 6(1): 13. doi:10.3390/bdcc6010013.
- Aloke, Chinyere, Chinedu Ogbonnia Egwu, Patrick Maduabuchi Aja, Nwogo Ajuka Obasi, Jennifer Chukwu, Blessing Oluebube Akumadu, Patience Nkemjika Ogbu, and Ikechukwu Achilonu. 2022. "Current Advances in the Management of Diabetes Mellitus." *Biomedicines* 10(10): 2436. doi:10.3390/biomedicines10102436.
- Antonio-Villa, Neftali Eduardo, Omar Yaxmehen Bello-Chavolla, Carlos A. Fermín-Martínez, Daniel Ramírez-García, Arsenio Vargas-Vázquez, Martín Roberto Basile-Alvarez, Alejandra Núñez-Luna, et al. 2024. "Diabetes Subgroups and Sociodemographic Inequalities in Mexico: A Cross-Sectional Analysis of Nationally Representative Surveys from 2016 to 2022." *The Lancet Regional Health - Americas* 33: 100732. doi:10.1016/j.lana.2024.100732.
- Aynur Jabiyeva, Aynur Jabiyeva, and Mahabbat Khudaverdiyeva. 2023. "APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN COMPUTER SYSTEMS OF MEDICAL DIAGNOSIS." *Socio World-Social Research & Behavioral Sciences* 12(02): 17–25. doi:10.36962/SWD12022023-17.
- Bansal, Vipul, Ankit Bhardwaj, Jitendra Singh, Devvret Verma, Mohit Tiwari, and Someshwar Siddi. 2023. "Using Artificial Intelligence to Integrate Machine Learning, Fuzzy Logic, and The IOT as A Cybersecurity System." In *2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, IEEE, 762–69. doi:10.1109/ICACITE57410.2023.10182967.
- Baradaran, Vahid, and Elaheh Ghorbani. 2020. "Development of Fuzzy Exploratory Factor Analysis for Designing an E-Learning Service Quality Assessment Model." *International Journal of Fuzzy Systems* 22(6): 1772–85. doi:10.1007/s40815-020-00901-1.
- Casalino, Gabriella, Giovanna Castellano, Uzay Kaymak, and Gianluca Zaza. 2021. "Balancing Accuracy and

- Interpretability through Neuro-Fuzzy Models for Cardiovascular Risk Assessment.” In *2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, IEEE, 1–8. doi:10.1109/SSCI50451.2021.9660104.
- Chaki, Jyotismita. 2023. “A Fuzzy Logic-Based Approach to Handle Uncertainty in Artificial Intelligence.” In , 47–69. doi:10.1007/978-981-99-5333-2_5.
- Cleophas, Ton J., and Aeilko H. Zwinderman. 2020. “Fuzzy Logic for Improved Precision of Dose-Response Data (8 Induction Dosages).” In *Machine Learning in Medicine – A Complete Overview*, Cham: Springer International Publishing, 503–9. doi:10.1007/978-3-030-33970-8_65.
- Fernandez-Basso, Carlos, Karel Gutiérrez-Batista, Roberto Morcillo-Jiménez, Maria-Amparo Vila, and Maria J. Martin-Bautista. 2022. “A Fuzzy-Based Medical System for Pattern Mining in a Distributed Environment: Application to Diagnostic and Co-Morbidity.” *Applied Soft Computing* 122: 108870. doi:10.1016/j.asoc.2022.108870.
- Guan, Zhouyu, Huating Li, Ruhan Liu, Chun Cai, Yuexing Liu, Jiajia Li, Xiangning Wang, et al. 2023. “Artificial Intelligence in Diabetes Management: Advancements, Opportunities, and Challenges.” *Cell Reports Medicine* 4(10): 101213. doi:10.1016/j.xcrm.2023.101213.
- Harding, Jessica L., Meda E. Pavkov, Dianna J. Magliano, Jonathan E. Shaw, and Edward W. Gregg. 2019. “Global Trends in Diabetes Complications: A Review of Current Evidence.” *Diabetologia* 62(1): 3–16. doi:10.1007/s00125-018-4711-2.
- Hashim, Muhammad Jawad. 2022. “The Art of Diabetes Care: Guidelines for a Holistic Approach to Human and Social Factors.” *Journal of Yeungnam Medical Science*. doi:10.12701/jyms.2022.00577.
- Idrees, Thaer, Iris A Castro-Revoredo, Alexandra L Migdal, Emmelin Marie Moreno, and Guillermo E Umpierrez. 2022. “Update on the Management of Diabetes in Long-Term Care Facilities.” *BMJ Open Diabetes Research & Care* 10(4): e002705. doi:10.1136/bmjdr-2021-002705.
- Jabiyeva, Aynur J. 2022. “Fuzzy Logic Approach to the Amount of Medication Taken During Breathing with an Inhalator.” In , 270–77. doi:10.1007/978-3-030-92127-9_38.
- Johnson-Mann, Crystal N., Tyler J. Loftus, and Azra Bihorac. 2021. “Equity and Artificial Intelligence in Surgical Care.” *JAMA Surgery* 156(6): 509. doi:10.1001/jamasurg.2020.7208.
- Li, Shengli, and Cuiping Wei. 2020. “Hesitant Fuzzy Linguistic Correlation Coefficient and Its Applications in Group Decision Making.” *International Journal of Fuzzy Systems* 22(6): 1748–59. doi:10.1007/s40815-020-00876-z.
- Li, Yarong, Pengjiang Qian, Shuihua Wang, and Shitong Wang. 2023. “Novel Multi-View Takagi–Sugeno–Kang Fuzzy System for Epilepsy EEG Detection.” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 14(5): 5625–45. doi:10.1007/s12652-021-03189-7.
- Li, Yuanyuan, Lei Peng, and Wei Gu. 2023. “The Published Trend of Studies on COVID-19 and Diabetes: Bibliometric Analysis.” *Frontiers in Endocrinology* 14. doi:10.3389/fendo.2023.1248676.
- Liu, Peide, Abbas Ali, Noor Rehman, and Syed Inayat Ali Shah. 2020. “Another View on Intuitionistic Fuzzy Preference Relation-Based Aggregation Operators and Their Applications.” *International Journal of Fuzzy Systems* 22(6): 1786–1800. doi:10.1007/s40815-020-00882-1.
- Liu, Yihao, Xin Ning, Luyao Zhang, Jianyan Long, Ruiming Liang, Sui Peng, Haibo Wang, et al. 2022. “Prevalence of Long-Term Complications in Inpatients with Diabetes Mellitus in China: A Nationwide Tertiary Hospital-Based Study.” *BMJ Open Diabetes Research & Care* 10(3): e002720. doi:10.1136/bmjdr-2021-002720.
- Loftus, Tyler J., Benjamin Shickel, Tezcan Ozrazgat-Baslanti, Yuanfang Ren, Benjamin S. Glicksberg, Jie Cao, Karandeep Singh, et al. 2022. “Artificial Intelligence-Enabled Decision Support in Nephrology.” *Nature Reviews Nephrology* 18(7): 452–65. doi:10.1038/s41581-022-00562-3.
- Madhu, S. V. 2020. “Post COVID-19 Diabetes Care—Lessons and Challenges.” *International Journal of Diabetes in Developing Countries* 40(2): 155–57. doi:10.1007/s13410-020-00831-6.
- Mahat, Roshan Kumar, Ashwini Manish Jantikar, Vedika Rathore, and Suchismita Panda. 2024. “Circulating Asprosin Levels in Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis.” *Clinical Epidemiology and Global Health* 25: 101502. doi:10.1016/j.cegh.2023.101502.

- Mavani, Nidhi Rajesh, Jarinah Mohd Ali, M.A. Hussain, Norliza Abd. Rahman, and Haslaniza Hashim. 2024. "Determining Food Safety in Canned Food Using Fuzzy Logic Based on Sulphur Dioxide, Benzoic Acid and Sorbic Acid Concentration." *Heliyon* 10(4): e26273. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e26273.
- Mosavi, Amir H., Ardashir Mohammadzadeh, Sakthivel Rathinasamy, Chunwei Zhang, Uwe Reuter, Kovacs Levente, and Hojjat Adeli. 2022. "Deep Learning Fuzzy Immersion and Invariance Control for Type-I Diabetes." *Computers in Biology and Medicine* 149: 105975. doi:10.1016/j.compbiomed.2022.105975.
- Pintanel, Alice, Graçaliz Dimuro, Eduardo Borges, Giancarlo Lucca, and Camila Barcelos. 2023. "Fuzzy Logic for Diabetes Predictions: A Literature Review." In *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems*, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 476–83. doi:10.5220/0011851500003467.
- Subasi, Abdulhamit. 2020. "Machine Learning Techniques." In *Practical Machine Learning for Data Analysis Using Python*, Elsevier, 91–202. doi:10.1016/B978-0-12-821379-7.00003-5.
- Tao, Ping, Ching-Wen Chien, Chao Liu, Jinghang Zheng, Dongping Sun, Jibin Zeng, Qunli Song, et al. 2024. "Diabetes Mellitus Is a Risk Factor for Incident Chronic Kidney Disease: A Nationwide Cohort Study." *Heliyon* 10(7): e28780. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e28780.
- Thakkar, Harshil, Vaishnavi Shah, Hiteshri Yagnik, and Manan Shah. 2021. "Comparative Anatomization of Data Mining and Fuzzy Logic Techniques Used in Diabetes Prognosis." *Clinical eHealth* 4: 12–23. doi:10.1016/j.ceh.2020.11.001.
- Topol, Eric J. 2019. "High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence." *Nature Medicine* 25(1): 44–56. doi:10.1038/s41591-018-0300-7.
- Xue, Wei, Ta Zhou, and Jing Cai. 2022. "Horizontal Progressive and Longitudinal Leapfrogging Fuzzy Classification with Feature Activity Adjustment." *Applied Soft Computing* 119: 108511. doi:10.1016/j.asoc.2022.108511.
- Zhang, Jialu, Xia Wu, and Ruhua Lu. 2020. "Decision Analysis Methods Combining Quantitative Logic and Fuzzy Soft Sets." *International Journal of Fuzzy Systems* 22(6): 1801–14. doi:10.1007/s40815-020-00899-6.
- Zhang, Yuanpeng, Xiangzhe Li, Junqing Zhu, Chunying Wu, and Qinfeng Wu. 2019. "Epileptic EEG Signals Recognition Using a Deep View-Reduction TSK Fuzzy System With High Interpretability." *IEEE Access* 7: 137344–54. doi:10.1109/ACCESS.2019.2942641.