



Article

# Penggunaan Logika Fuzzy dalam Deteksi Penyakit Kanker

Lutviana<sup>1\*</sup>, Aimar Yudhistira<sup>2</sup>, Anggit Wirasto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Informatika, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

**Corresponding Author:** luthvianna41@gmail.com

**Abstract:** Cancer detection and treatment is a major challenge in global health. Fuzzy logic has proven to be effective in overcoming uncertainty and ambiguity in medical data to improve the accuracy of cancer diagnosis. This article presents a review of the application of fuzzy logic in various cancer detection and treatment studies, including its use in the analysis of medical images such as CT scans and MRIs. Studies show that fuzzy logic not only improves cancer detection accuracy but also reduces the cost and time in the diagnosis process. The results suggest that a hybrid approach combining fuzzy logic with technologies such as artificial neural networks can significantly improve the efficiency and accuracy of cancer detection

**Keywords:** Fuzzy logic; cancer detection; cancer treatment; medical image analysis; artificial intelligence

**Received:** 20 Agustus 2024

**Revised:** 5 September 2024

**Accepted:** 6 September 2024

**Published:** 9 September 2024



Copyright: © 2024 by the authors.

License Universitas Harapan 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

Penyakit kanker merupakan salah satu ancaman terbesar terhadap kesehatan dan kesejahteraan global (Borah et al., 2022), menyebabkan dampak yang serius bagi individu, keluarga, dan masyarakat secara luas. Dalam sebuah artikel sebelumnya, disebutkan bahwa antara tahun 2000 dan 2016, kanker merupakan penyebab kematian kedua tertinggi di dunia (Alexandre-Silva & Cominetti, 2024) yang menimbulkan beban fisik, emosional, dan keuangan yang signifikan secara global (Ayenigbara, 2023). Proses pengambilan keputusan yang umum dalam

bidang kedokteran dan kesehatan adalah memprediksi kemungkinan berbagai jenis kanker pada organ tubuh manusia (Bhattacharya & Pal, 2024). Deteksi dini kanker berperan sangat penting dalam meningkatkan tingkat kesembuhan dan kualitas hidup pasien (Pramanik et al., 2022; Shah & Shah, 2024). Namun, proses diagnosa kanker tidak selalu mudah karena kompleksitas dan variasi yang ada dalam gejala penyakit, hasil tes diagnostik, dan faktor risiko yang berkaitan (Rehman et al., 2022). Variabilitas ini memunculkan ketidakpastian dalam interpretasi data medis dan membuat proses diagnostik menjadi tantangan yang kompleks (Joshi & Dhar, 2022).

Diagnosa kanker biasanya bergantung pada interpretasi subjektif dari hasil tes medis oleh profesional medis. Namun, metode ini seringkali tidak konsisten dan dapat dipengaruhi oleh elemen manusiawi seperti kelelahan atau bias interpretasi (Fordellone et al., 2023). Ketidakmampuan interpretasi dapat menimbulkan masalah layanan kesehatan terkait kepercayaan yang signifikan (Nguyen Thu Hien et al., 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan metode deteksi kanker yang lebih objektif dan terstandarisasi. Dalam upaya untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas deteksi penyakit kanker, para peneliti dan praktisi medis telah mencari metode baru yang mampu mengatasi kompleksitas dan ketidakpastian yang terkait dengan proses diagnostik tersebut. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam mengatasi ketidakpastian dalam diagnosa medis adalah penggunaan logika fuzzy (Salem et al., 2022).

Logika fuzzy adalah suatu metode yang memungkinkan representasi dan penanganan dari ketidakpastian dan kesamaran dalam data (Sánchez et al., 2024). Dalam bidang biomedis, logika fuzzy juga telah digunakan untuk memperkirakan tingkat kelangsungan hidup pasien kanker setelah perawatan yang diberikan (Dubey et al., 2023). Jaringan saraf fuzzy (FNN) juga digunakan dalam pengembangan model hibrida untuk memprediksi kecocokan pasien terhadap pengobatan yang diberikan (Junio Guimarães et al., 2019). Teknologi hibrida AI dapat mengobjektifikasi dan meningkatkan akurasi hasil diagnostik endosonografi (Korenevskiy et al., 2024). Dengan memperkenalkan konsep-konsep seperti "sedikit", "cukup", dan "banyak", logika fuzzy dapat menggambarkan tingkat kepastian yang lebih akurat dalam suatu situasi daripada logika biner konvensional (Boadh, Grover, et al., 2022).

Konsep utama dalam logika fuzzy adalah penggunaan variabel linguistik dan aturan fuzzy, yang memungkinkan representasi dari hubungan yang kompleks antara gejala penyakit dan diagnosis. Dengan demikian, logika fuzzy memungkinkan interpretasi hasil yang tidak pasti dengan memberikan tingkat kepercayaan atau probabilitas terkait (Sweidan et al., 2023). Misalnya, dalam kasus dimana hasil tes diagnostik tidak memberikan jawaban yang pasti terkait dengan keberadaan kanker, logika fuzzy dapat memberikan penilaian tentang seberapa mungkin kemungkinan kanker tersebut berdasarkan tingkat keparahan gejala dan faktor risiko yang terkait.

Meskipun telah ada beberapa penelitian dan aplikasi yang melibatkan logika fuzzy dalam deteksi penyakit kanker, diperlukan adanya tinjauan literatur sistematis yang menyeluruh tentang topik ini. Tinjauan literatur sistematis (SLR) merupakan metode yang kuat untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan menyintesis informasi dari berbagai sumber literatur ilmiah. Oleh karena itu, paper ini menggunakan metode SLR untuk mengeksplorasi penggunaan logika fuzzy dalam deteksi penyakit kanker.

Paper ini dibuat dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang kontribusi logika fuzzy dalam proses deteksi kanker, serta menyediakan wawasan yang berharga bagi peneliti, praktisi medis, dan pengambil keputusan dalam upaya meningkatkan efektivitas diagnosis kanker. Dengan demikian, diharapkan paper ini akan memberikan kontribusi yang signifikan bagi pemahaman dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang deteksi penyakit kanker menggunakan pendekatan logika fuzzy.

## Materials and Methods

### Sub Materials

Systematic Literature Review (SLR) adalah metodologi yang digunakan untuk mensintesis data yang sudah dipublikasikan dan berhubungan dengan publikasi sebelumnya (Kraus et al., 2020). Selain memiliki metodologi yang transparan, SLR mengurutkan literatur berdasarkan kualitasnya dan biasanya mengikuti pertanyaan penelitian dengan tujuan menemukan jawaban terbaik. SLR membuat kesimpulan dan menunjukkan pengetahuannya tentang subjek penelitian. Proses tinjauan sistematis mencakup pencarian literatur secara menyeluruh. Ini mencakup penyelidikan studi yang sistematis dan tujuan untuk membuat laporan yang jelas tentang identifikasi studi yang dilakukan, memberi pembaca pemahaman yang jelas tentang proses identifikasi studi, dan menjelaskan bagaimana temuan tinjauan tersebut disesuaikan dengan bukti yang relevan (Cooper et al., 2018). Beberapa basis data digunakan dalam melakukan pencarian literatur, termasuk ScienceDirect sebesar 52%, Springer sebesar 38%, Scholar sebesar 6%, dan lainnya sebesar 4%. Pencarian literatur dilakukan dengan penggunaan kata kunci yang relevan, seperti "Fuzzy Logic", "Cancer Disease", dan "Cancer Detection". Metode ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa penelitian yang relevan dan mutakhir ditemukan untuk penelitian berikutnya.

### Pertanyaan Penelitian

Daftar pertanyaan penelitian dibuat berdasarkan kebutuhan penelitian tentang subjek yang dibahas. Berikut adalah daftar pertanyaan penelitian dalam Literature Review ini.

- a. RQ 1. Bagaimana logika fuzzy dapat mengatasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam data medis untuk mendeteksi kanker?

- b. RQ 2. Bagaimana penerapan logika fuzzy dalam analisis gambar medis (seperti CT scan, MRI) untuk mendeteksi keberadaan kanker?
- c. RQ 3. Bagaimana model hibrida yang menggabungkan logika fuzzy dan jaringan saraf buatan dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi kanker?
- d. RQ 4. Bagaimana efektivitas logika fuzzy dalam mendeteksi berbagai jenis kanker dibandingkan dengan metode diagnostik tradisional?
- e. RQ 5. Apakah penggunaan logika fuzzy dapat mengurangi waktu dan biaya dalam proses deteksi dini kanker?

### Tinjauan Pustaka

No	Judul	Penulis	Hasil	Kelebihan	Kekurangan
1	Early detection of melanoma skin cancer: A hybrid approach using fuzzy C-means clustering and differential evolution-based convolutional neural network	Sreedhar Burada, B.E. Manjunaths wamy, M. Sunil Kumar [20]	Studi ini mengusulkan pendekatan hibrida untuk deteksi dini kanker kulit melanoma dengan akurasi 91%, lebih tinggi dari metode tradisional. Metode ini melibatkan pengelompokan Fuzzy C-Means, ekstraksi fitur GLCM dan LBP, serta penggunaan DE-CNN. Metode DE-CNN ini berhasil mengungguli SVM, CNN, dan NN dalam klasifikasi gambar kanker kulit. Penelitian mendatang dapat memperluas metode ini ke penyakit kulit lainnya.	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengusulkan pendekatan hibrida yang menggabungkan pengelompokan fuzzy C-means dan jaringan saraf konvolusi berbasis evolusi diferensial untuk deteksi dini kanker kulit melanoma dengan akurasi tinggi 91%, melebihi metode tradisional. Metode ini juga menyoroti pentingnya sistem deteksi kanker kulit otomatis untuk diagnosis yang tepat waktu.	Salah satu kekurangan penelitian ini adalah bahwa tidak dijelaskan secara rinci tentang bagaimana data spesifik dari pasar atau data riil digunakan dalam pengembangan dan evaluasi model yang diusulkan. Hal ini dapat mempengaruhi kemampuan model untuk berkinerja dengan baik di lingkungan dunia nyata.
2	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System based classifier in	Pooja Shah, Trupti Shah [5]	Studi ini mengusulkan model hibrida ANFIS dengan algoritma Relief Novel untuk	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengusulkan	Penelitian ini tidak menyebutkan secara

	diagnosis of breast cancer		<p>pemilihan fitur dalam klasifikasi kanker payudara. Model ini dievaluasi pada Wisconsin Breast Cancer Data set dan mencapai akurasi tinggi. Algoritma Relief yang dimodifikasi mengatasi pencilan, nilai yang hilang, dan menggunakan jarak Mahalanobis. Model yang diusulkan unggul dalam akurasi, sensitivitas, dan presisi dibandingkan metode lain. Data set yang digunakan tersedia secara publik di UCI Machine Learning Repository. Penelitian ini didukung oleh Universitas Maharaja Sayajirao of Baroda dalam Program DST-PURSE Fase-II.</p>	<p>model hibrida ANFIS dengan algoritma Relief Novel untuk pemilihan fitur dalam klasifikasi kanker payudara, yang mencapai akurasi tinggi sebesar 99.30%. Model ini juga unggul dalam akurasi, sensitivitas, dan presisi dibandingkan metode lain.</p>	<p>rinci tentang potensi kelemahan atau batasan dari model hibrida ANFIS dengan algoritma Relief Novel yang diusulkan.</p>
3	A Takagi–Sugeno fuzzy controller for minimizing cancer cells with application to androgen deprivation therapy	Priya Dubey, Surendra Kumar, Subhendu Kumar Behera, Sudhansu Kumar Mishra [13]	<p>Penelitian ini mengusulkan terapi adaptif untuk pengobatan kanker prostat guna mengurangi waktu pengobatan, meningkatkan hasil pasien, dan mengurangi resistensi obat. Metode matematis dan desain pengontrol dibahas dengan fokus pada mengurangi toksisitas dan meningkatkan perawatan berbasis pasien. Penelitian ini berkontribusi pada peningkatan hasil pengobatan kanker dan perawatan pasien melalui sistem kontrol canggih dan strategi</p>	<p>Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengusulkan terapi adaptif untuk pengobatan kanker prostat yang dapat mengurangi waktu pengobatan, meningkatkan hasil pasien, dan mengurangi resistensi obat. Metode kontrol canggih dan strategi dosis adaptif yang diusulkan dapat meningkatkan hasil pengobatan kanker dan</p>	<p>Penelitian ini tidak menyebutkan secara rinci tentang potensi efek samping atau risiko yang mungkin terjadi akibat penggunaan terapi adaptif yang diusulkan. Selain itu, tidak ada informasi yang disediakan mengenai uji klinis atau hasil</p>

			dosis adaptif.	perawatan pasien secara personal.	pengujian langsung dari metode yang diusulkan dalam penelitian.
4	Segmentation of skin cancer using Fuzzy U-network via deep learning	A. Bindhu, K.K. Thanammal [21]	Penelitian ini mengusulkan model MFO-Fuzzy U-net baru untuk segmentasi gambar kanker kulit menggunakan deep learning. Model tersebut berhasil mengungguli model deep learning tradisional dalam hal akurasi, spesifisitas, presisi, recall, dan skor F1. Metode ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi dibandingkan dengan model yang sudah ada.	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam menciptakan model MFO-Fuzzy U-net baru yang berhasil meningkatkan akurasi segmentasi gambar kanker kulit dibandingkan dengan model deep learning tradisional yang sudah ada.	Kekurangan dari penelitian ini adalah belum mencakup analisis terhadap pengaruh parameter-parameter tertentu terhadap kinerja proposisi yang diajukan.
5	Breast Cancer Images Segmentation using Fuzzy Cellular Automaton	Iulia-Andreea Iona, Cristiana Moroz-Dubenco, Anca Andreica [22]	Studi ini mengusulkan pendekatan Fuzzy Cellular Automaton untuk segmentasi mamografi guna meningkatkan identifikasi jaringan kanker. Hasil menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan hanya menggunakan Cellular Automaton, dengan akurasi 98% dan presisi yang ditingkatkan.	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam menggunakan pendekatan Fuzzy Cellular Automaton untuk segmentasi mamografi, yang meningkatkan akurasi identifikasi jaringan kanker dan presisi deteksi, serta memberikan hasil yang lebih baik dan dapat disesuaikan untuk deteksi kanker payudara.	Penelitian ini tidak menyebutkan secara spesifik tentang penggunaan data latih atau validasi yang digunakan dalam menguji kinerja pendekatan Fuzzy Cellular Automaton untuk segmentasi mamografi.
6	Adaptive fuzzy controller design of drug dosage using	Hossein Naderi, Mohammad mahdi	Studi ini mengembangkan model pengobatan kanker menggunakan	Kelebihan penelitian ini adalah pengembangan	Kelemahan penelitian ini adalah tidak adanya

	optimal trajectories in a chemoimmunotherapy cancer treatment model	Mehrabi, Mohammad Taghi Ahmadian [23]	kombinasi imunoterapi dan kemoterapi. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi ketiga metode pengobatan (imunoterapi, kemoterapi, dan suntikan IL-2) paling efektif dalam menghilangkan sel kanker. Kombinasi pengobatan diperlukan untuk eradikasi tumor yang lengkap, terutama untuk jumlah sel kanker awal yang tinggi.	model pengobatan kanker yang menggunakan kombinasi imunoterapi, kemoterapi, dan suntikan IL-2 yang terbukti paling efektif dalam menghilangkan sel kanker. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya kontrol dosis obat yang optimal dalam pengobatan kanker dan penggunaan logika fuzzy dalam estimasi parameter.	informasi mengenai sumber pendanaan khusus untuk penelitian ini dan tidak disebutkan adanya kepentingan bersaing dari penulis.
7	Deep Learning Fuzzy Inference An Interpretable Model for Detecting Indirect Immunofluorescence Patterns Associated with Nasopharyngeal Cancer	Sudipta Samanta, Muthukaruppan Swaminathan, Jianing Hu, Khai Tuck Lee [24]	Studi ini mengembangkan model inferensi fuzzy deep learning, DeLFI, untuk mendeteksi pola imunofluoresensi tidak langsung yang terkait dengan kanker nasofaring. DeLFI berhasil mencapai tingkat kesepakatan tinggi dengan ahli manusia dan melampaui evaluasi manusia dalam validasi klinis. Kombinasi deep learning dengan inferensi fuzzy berpotensi meningkatkan skalabilitas dan akurasi deteksi NPC.	Penelitian ini menunjukkan bahwa model DeLFI berhasil meningkatkan sensitivitas dalam mendeteksi kanker nasofaring menggunakan gambar IFA, serta memberikan output kuantitatif yang presisi untuk disesuaikan dengan berbagai skenario klinis.	Penelitian ini tidak memberikan informasi yang jelas mengenai potensi kelemahan yang mungkin ada dalam model inferensi fuzzy deep learning yang dikembangkan.
8	Cancerous cell viability affected by synergism between electric	Salim Mirshahi, Behzad Vahedi,	Studi tersebut menunjukkan bahwa kombinasi nanopartikel perak dan	Kelebihan penelitian ini adalah penggunaan	Kelemahan penelitian ini adalah jumlah data

	pulses and a low dose of silver nanoparticle: An adaptive neuro-fuzzy inference system	Kiarash Aryana, Ameneh Sazgarnia [25]	elektroporasi mengakibatkan penurunan signifikan dalam viabilitas sel dibandingkan dengan perlakuan individu. Model sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif digunakan untuk memprediksi viabilitas sel berdasarkan spesifikasi pulsa. Model tersebut menunjukkan korelasi yang baik dengan data eksperimental, dengan nilai R2 sebesar 88%. Secara keseluruhan, studi tersebut menyarankan bahwa menggabungkan nanopartikel perak dan elektroporasi dapat meningkatkan efek pulsa listrik pada sel.	kombinasi nanopartikel perak dan elektroporasi yang berhasil menunjukkan penurunan signifikan dalam viabilitas sel dibandingkan dengan perlakuan individu, serta penggunaan model sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif yang dapat memprediksi viabilitas sel dengan baik berdasarkan spesifikasi pulsa.	percobaan yang terbatas, sehingga model matematis dievaluasi secara kualitatif bukan kuantitatif.
9	An efficient breast cancer classification model using bilateral filtering and fuzzy convolutional neural network	A. Abdul Hayum1, J. Jaya, R. Sivakumar, B. Paulchamy [26]	Studi ini membahas berbagai metode dan teknik untuk deteksi dan klasifikasi kanker payudara menggunakan deep learning dan convolutional neural networks. Model-model yang diusulkan mencapai akurasi tinggi dalam mengklasifikasikan jenis kanker payudara. Beberapa teknik pemrosesan citra seperti bilateral filtering, segmentasi ROI, ekstraksi fitur, reduksi dimensionalitas, dan pemilihan fitur juga dibahas dalam penelitian ini.	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengusulkan model klasifikasi kanker payudara yang efisien dengan menggunakan teknik bilateral filtering dan jaringan saraf konvolusi fuzzy. Model ini mencapai akurasi tinggi dibandingkan dengan model-model yang sudah ada, serta mengatasi berbagai tantangan dalam proses klasifikasi kanker payudara.	Penelitian ini memiliki kelemahan dalam penggunaan Improved Cuckoo Search Optimization (ICSO) yang lambat dalam pencarian dan rendah dalam akurasi konvergensi.
10	Deviation-suppo	Nikhilanand	Studi ini mengusulkan	Penelitian ini	Kelemahan

	rt based fuzzy ensemble of multi-modal deep learning classifiers for breast cancer prognosis prediction	Arya, Sriparna Saha [27]	pendekatan ensemble untuk analisis survival kanker payudara menggunakan data metilasi, yang signifikan meningkatkan akurasi prognosis. Teknik ini dapat diterapkan di berbagai bidang dan berpotensi mengubah deteksi dini dan pengobatan kanker payudara, serta menyelamatkan nyawa.	memiliki kelebihan dalam meningkatkan akurasi prediksi prognosis kanker payudara menggunakan pendekatan ensemble yang inovatif dan lebih robust dibandingkan dengan metode individual dan ensemble yang sudah ada.	penelitian ini adalah belum adanya penekanan pada distribusi skor prediksi yang berbeda dari klasifier yang berbeda, serta tidak mempertimbangan tingkat kepercayaan dalam prediksi.
11	Breast cancer survival prognosis using the graph convolutional network with Choquet fuzzy integral	Susmita Palmal, Nikhilanand Arya, Sriparna Saha, SomanathTripathy [28]	Studi ini mengusulkan model ChoqFuzGCN yang berhasil dalam memprediksi prognosis kelangsungan hidup kanker payudara menggunakan data multi-omics. Model ini menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada metode dan klasifikasi terkini, dengan akurasi, koefisien korelasi Matthews, presisi, sensitivitas, spesifisitas, akurasi seimbang, dan F1-Measure yang lebih tinggi. Hasil penelitian menyarankan bahwa ChoqFuzGCN adalah pendekatan yang efektif untuk memprediksi kelangsungan hidup kanker payudara.	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengusulkan model ChoqFuzGCN yang mampu memprediksi prognosis kelangsungan hidup kanker payudara dengan akurasi dan kinerja yang lebih baik daripada metode dan klasifikasi terkini lainnya. Model ini juga menunjukkan potensi untuk digunakan dalam memprediksi penyakit lainnya dan memberikan akses dataset dan kode sumber untuk penelitian lebih lanjut.	Kelemahan penelitian ini termasuk kemungkinan pengabaian gen penting selama tahap ekstraksi fitur dan tantangan dalam meningkatkan sensitivitas model terhadap data yang bising.
12	Machine learning	M. Grahovac, C.	Studi ini membandingkan	Kelebihan penelitian ini	Kelemahan penelitian ini

	<p>predictive performance evaluation of conventional and fuzzy radiomics in clinical cancer imaging cohorts</p>	<p>P. Spielvogel, D. Krajnc, B. Ecsedi, T. Traub-Weidinger [29]</p>	<p>kinerja model pembelajaran mesin menggunakan radiomics konvensional dan fuzzy radiomics dalam kohor citra kanker. Fuzzy radiomics, yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam keanggotaan voxel, lebih unggul daripada radiomics konvensional dalam memprediksi titik akhir klinis di semua kohor. Fuzzy radiomics juga mengurangi kelebihan fitur dan menunjukkan potensi untuk meningkatkan kinerja prediktif, terutama dalam ukuran lesi kecil.</p>	<p>adalah menyoroti pentingnya penggunaan fuzzy radiomics dalam studi citra kanker, yang mampu mengatasi ketidakpastian dalam keanggotaan voxel dan meningkatkan kinerja prediktif terutama pada lesi kecil. Studi ini memberikan wawasan baru dalam pengembangan model pembelajaran mesin untuk analisis citra kanker di masa depan.</p>	<p>adalah belum adanya evaluasi penggunaan fuzzy radiomics dalam pengaturan klinis nyata pada pasien kanker. Meskipun teorinya memiliki banyak keunggulan, penggunaan fuzzy radiomics belum diimplementasikan dan dievaluasi secara luas dalam pengaturan klinis sejauh ini.</p>
13	<p>Deep transfer learning with fuzzy ensemble approach for the early detection of breast cancer</p>	<p>S. R. Sannasi Chakravarthy, N. Bharanidharan, V. Vinoth Kumar, T. R. Mahesh [30]</p>	<p>Studi ini berfokus pada klasifikasi kanker payudara menggunakan gambar mamogram dan model transfer learning. Pendekatan yang diusulkan mencapai akurasi keseluruhan tinggi sebesar 98.986% dengan menggunakan ResNet50 dan Fuzzy Ranking Ensemble. Metode ini berhasil mengungguli pendekatan ensemble lainnya dan diharapkan dapat meningkatkan akurasi klasifikasi tumor payudara.</p>	<p>Penelitian ini memiliki kelebihan dalam fokus pada deteksi dini kanker payudara menggunakan gambar mamogram dan model deep learning. Pendekatan fuzzy ensemble yang diusulkan berhasil mencapai akurasi klasifikasi yang tinggi, yaitu 98.986%, dan mengungguli pendekatan ensemble lainnya.</p>	<p>Penelitian ini tidak menyebutkan secara rinci tentang batasan dari model yang diusulkan.</p>

				Metode ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi klasifikasi tumor payudara.	
14	A comprehensive study for selecting optimal treatment modalities for blood cancer in a Fermatean fuzzy dynamic environment	Dilshad Alghazzawi, Aqsa Noor, Hanan Alolaiyan, Hamiden Abd El-Wahed Khalifa [31]	Hasil penelitian ini membahas pengembangan modalitas pengobatan optimal untuk kanker darah, khususnya leukemia limfoblastik akut (LLA), menggunakan teori himpunan kabur Fermatean. Studi ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan dalam literatur mengenai data yang mengandung himpunan kabur Fermatean dan menyediakan metode yang dapat diandalkan dan konsisten untuk memilih modalitas pengobatan optimal untuk kanker darah.	Kelebihan dari penelitian ini adalah efektivitas dalam membunuh kanker secara cepat, durasi pengobatan yang lebih singkat untuk proses terapeutik yang lebih efisien, serta penggunaan sel CAR T yang dapat memperpanjang memori imunologis dalam tubuh pasien untuk mengidentifikasi dan memusnahkan sel kanker saat terjadi kambuh penyakit.	Kelemahan penelitian ini adalah terbatasnya kemampuan Fermatean fuzzy set (FFS) dalam menangani situasi di mana jumlah kubik derajat keanggotaan dan non-keanggotaan melebihi 1, serta ketidakmampuannya untuk memodelkan kasus-kasus yang melibatkan informasi fuzzy bola dan gambar karena hanya menerima dua parameter.
15	Enhancing reasoning through reduction of vagueness using fuzzy OWL-2 for representation of breast cancer ontologies	Olaide N. Oyelade <sup>1</sup> , Absalom E. Ezugwu <sup>1</sup> , Sunday A. Adewuyi [32]	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan logika fuzzy dapat digunakan untuk mengurangi ketidakjelasan dalam ontologi kanker payudara. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sejumlah besar ketidakjelasan telah dihilangkan dari ontologi tersebut. Selain itu, penelitian ini	Penelitian ini memiliki kelebihan dalam mengembangkan kerangka kerja Fuzzy OWL-2 untuk meningkatkan pemikiran komputasional pada ontologi yang tajam. Selain itu, penelitian ini juga berhasil	Kelemahan penelitian ini adalah kurangnya penjelasan yang jelas tentang bagaimana variabel pi dihitung dalam metrik K yang diusulkan

			juga menghasilkan metrik ontologi yang menunjukkan peningkatan kinerja yang mengesankan.	mengurangi tingkat keaburan dalam ontologi kanker payudara, yang merupakan kontribusi penting dalam memajukan pengetahuan tentang diagnosis kanker payudara.	oleh Ivanova. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam menerapkan metrik tersebut.
--	--	--	--	--	---

## Hasil dan Diskusi

### Hasil

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa logika fuzzy telah banyak digunakan dalam berbagai deteksi penyakit kanker. Sebuah artikel terdahulu (Korenevskiy et al., 2023), menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy dengan ultrasonografi endoskopi yang didasarkan pada analisis sifat kontur formasi terbukti meningkatkan kualitas diagnosis kelainan atau abnormalitas pankreas, termasuk kanker pankreas. Hasil penelitian dari (Amini et al., 2024) juga menunjukkan bahwa logika fuzzy dengan metode Fuzzy Information Granulation (FIG) dapat menjadi alternatif inovatif untuk mengklasifikasikan nodul jinak dan ganas dalam gambar Computerized Tomography (CT). Rahul Boadh (Boadh, Aarya, et al., 2022) menggunakan logika fuzzy dalam pengembangan sebuah sistem deteksi risiko kanker prostat, yang metode Mamdani yang digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis PCR. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem Fuzzy Inference System (FIS) yang dikembangkan dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan efisiensi dalam mengidentifikasi berbagai jenis kanker, serta dapat mengurangi biaya perawatan pasien. Dalam beberapa kasus, FIS telah digunakan untuk membuat sistem pakar untuk mendiagnosis stadium kanker dan menjadwalkan pengobatan yang tepat. Selain diterapkan dalam deteksi penyakit kanker, dalam sebuah paper oleh (Faisal et al., 2023) disebutkan logika fuzzy juga diterapkan dalam pengobatan kanker, yaitu optimasi penjadwalan dosis obat kemoterapi untuk meminimalkan toksisitas.

Kanker adalah penyakit yang ditandai dengan pertumbuhan sel yang tidak terkendali akibat mutasi genetik, yang menyebabkan terbentuknya tumor jinak atau ganas dan berpotensi menyebar ke bagian tubuh lain. Kanker merupakan penyakit tidak menular dengan berbagai jenis, seperti kanker payudara, paru-paru, usus besar, rektum, dan prostat. Faktor gaya hidup dan infeksi virus dapat berkontribusi terhadap perkembangannya [38].

Kanker menjadi masalah kesehatan global yang umum dan telah diklasifikasikan menjadi lebih dari 200 jenis berdasarkan asal usulnya ("An Overview of Cancer," 2022).

Logika Fuzzy adalah alat matematis yang digunakan untuk merepresentasikan data berdasarkan tingkat keanggotaannya, mengatasi ketidakpastian, dan ambiguitas. Berbeda dengan logika biner, variabel dalam logika fuzzy memiliki nilai kebenaran di antara 0 dan 1. Logika fuzzy digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem kontrol dan kecerdasan buatan untuk meniru penalaran manusia (Dhawan et al., 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa logika fuzzy telah banyak digunakan dalam berbagai deteksi penyakit kanker. Sebuah artikel menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy dengan ultrasonografi endoskopi yang didasarkan pada analisis sifat kontur formasi dapat meningkatkan kualitas diagnosis kelainan atau abnormalitas pankreas, termasuk kanker pankreas (Korenevskiy et al., 2023). Penelitian lain menunjukkan bahwa logika fuzzy dengan metode Fuzzy Information Granulation (FIG) dapat menjadi alternatif inovatif untuk mengklasifikasikan nodul jinak dan ganas dalam gambar Computerized Tomography (CT) (Amini et al., 2024). Rahul Boadh menggunakan logika fuzzy dalam pengembangan sistem deteksi risiko kanker prostat, di mana metode Mamdani digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis PCR. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem Fuzzy Inference System (FIS) yang dikembangkan dapat meningkatkan efisiensi dalam mengidentifikasi berbagai jenis kanker dan mengurangi biaya perawatan pasien (Boadh, Aarya, et al., 2022). Selain itu, dalam beberapa kasus, FIS telah digunakan untuk membuat sistem pakar yang dapat mendiagnosis stadium kanker dan menjadwalkan pengobatan yang tepat. Selain diterapkan dalam deteksi penyakit kanker, logika fuzzy juga diterapkan dalam pengobatan kanker, seperti optimasi penjadwalan dosis obat kemoterapi untuk meminimalkan toksisitas (Faisal et al., 2023).

Berdasarkan tinjauan beberapa paper dalam tabel yang menunjukkan sejumlah penelitian yang mengusulkan pendekatan menggunakan logika fuzzy dalam deteksi dan pengobatan kanker, dapat diambil kesimpulan bahwa beberapa penelitian menonjol dengan keberhasilannya dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis kanker. Misalnya, studi yang mengusulkan pendekatan hibrida menggunakan ANFIS dan algoritma Relief Novel untuk klasifikasi kanker payudara mencapai akurasi yang sangat tinggi sebesar 99.30%. Demikian pula, penelitian yang mengembangkan model pengobatan kanker prostat dengan terapi adaptif menyoroti pentingnya kontrol dosis obat yang optimal dan strategi dosis adaptif untuk meningkatkan hasil pengobatan. Namun, beberapa kelemahan juga teridentifikasi dalam penelitian tersebut. Beberapa penelitian tidak memberikan detail yang memadai tentang potensi kelemahan atau batasan dari pendekatan yang diusulkan. Selain itu, ada kekurangan dalam beberapa penelitian yang tidak mencakup analisis terhadap pengaruh parameter tertentu terhadap kinerja model yang diajukan, atau kurangnya informasi tentang potensi efek samping atau risiko yang mungkin terjadi

akibat penggunaan terapi atau model yang diusulkan. Meskipun demikian, secara keseluruhan penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan teknologi deteksi dan pengobatan kanker dengan memanfaatkan logika fuzzy.

## Diskusi

Pada bagian ini kami akan memaparkan beberapa penjelasan dari pertanyaan penelitian yang telah ditentukan.

- a. RQ1. Bagaimana logika fuzzy dapat mengatasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam data medis untuk mendeteksi kanker?

Logika fuzzy sangat efektif dalam konteks data medis untuk deteksi kanker karena variasi antar individu, ketidakpastian diagnosis, dan kualitas gambar yang berbeda. Dengan menggunakan logika fuzzy, tingkat keanggotaan data dapat direpresentasikan dalam kategori yang tidak biner (seperti "mungkin kanker" atau "sedikit mungkin kanker"), yang membantu memberikan interpretasi yang lebih fleksibel dan masuk akal (Patira & Kumar Gupta, 2023).

Ini memungkinkan sistem deteksi kanker berbasis logika fuzzy untuk menangani ketidakpastian diagnosis dengan memberikan probabilitas atau derajat keanggotaan pada berbagai kondisi kesehatan. Pada akhirnya, ini meningkatkan keandalan dan akurasi deteksi (Bandopadhyay & Phadke, 2022).

- b. RQ2. Bagaimana penerapan logika fuzzy dalam analisis gambar medis (seperti CT scan, MRI) untuk mendeteksi keberadaan kanker?

Logika fuzzy digunakan dalam analisis gambar medis seperti CT scan dan MRI untuk menangani variasi yang muncul dari intensitas piksel dan tekstur jaringan, yang seringkali tidak konsisten dan ambigu. Dengan menganalisis derajat keanggotaan piksel terhadap beberapa kelas, seperti jaringan sehat atau tumor, teknik fuzzy segmentation membantu memisahkan area yang mencurigakan dari jaringan normal (Sotirov et al., 2023).

Metode ini dengan lebih baik mendeteksi keberadaan kanker dengan sensitivitas dan spesifisitas daripada metode biner konvensional, yang cenderung gagal dalam menangani variasi dan gangguan dalam gambar medis. Dengan menggunakan logika fuzzy dalam analisis gambar medis, area yang terkena kanker dapat diidentifikasi dan diklasifikasikan dengan lebih efisien dan akurat (Fordellone et al., 2023).

- c. RQ3. Bagaimana model hibrida yang menggabungkan logika fuzzy dan jaringan saraf buatan dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi kanker?

Model hibrida yang menggabungkan logika fuzzy dan jaringan saraf buatan juga dikenal sebagai neural networks dengan menggabungkan kelebihan dari kedua teknologi ini untuk menawarkan pendekatan yang lebih baik untuk deteksi kanker. Jaringan saraf buatan menawarkan kemampuan belajar yang kuat dari data

yang besar dan kompleks, sementara logika fuzzy menawarkan mekanisme untuk menangani ketidakpastian dan interpretasi data yang ambigu (Voumik et al., 2023).

Kombinasi ini memungkinkan model hibrida untuk lebih adaptif dan akurat dalam mengenali pola kanker dengan memanfaatkan informasi yang sudah ada dan memproses data baru dengan lebih cepat dan efisien. Akibatnya, model hibrida meningkatkan akurasi diagnosis kanker dan efisiensi proses deteksi kanker, menjadikannya alat yang sangat efektif dalam bidang kesehatan (Babichev et al., 2023).

- d. RQ4. Bagaimana efektivitas logika fuzzy dalam mendeteksi berbagai jenis kanker dibandingkan dengan metode diagnostik tradisional?

Logika fuzzy terbukti sangat efektif dalam mendeteksi berbagai jenis kanker, terutama jika dibandingkan dengan metode diagnostik konvensional. Metode konvensional sering kali bergantung pada batasan biner yang tidak fleksibel, yang dapat mengabaikan data yang tidak pasti atau ambigu (Khalsan et al., 2023).

Logika fuzzy, di sisi lain, memungkinkan penggunaan informasi yang tidak jelas atau parsial dengan lebih baik dengan menginterpretasikan data berdasarkan tingkat keanggotaan dan probabilitas, yang memungkinkan diagnosis yang lebih akurat dan informatif. Studi menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan metode tradisional seperti evaluasi klinis atau pencitraan standar, sistem berbasis logika fuzzy dapat meningkatkan akurasi deteksi secara signifikan (Titaley, 2023).

- e. RQ5. Apakah penggunaan logika fuzzy dapat mengurangi waktu dan biaya dalam proses deteksi dini kanker?

Dalam deteksi dini kanker, logika fuzzy dapat secara signifikan mengurangi waktu dan biaya proses diagnostik. Sistem berbasis logika fuzzy dapat menganalisis gambar dan data medis dengan lebih cepat dan membuat keputusan cepat tentang kemungkinan kanker. Ini mempercepat proses diagnosis dan pengobatan lanjutan (Orazayeva et al., 2022).

Selain itu, sistem ini mengurangi kebutuhan untuk tes lanjutan atau intervensi yang seringkali mahal karena mereka dapat memproses dan menginterpretasikan data yang tidak pasti dan ambigu dengan lebih efisien. Jadi, logika fuzzy membantu menyediakan solusi deteksi dini kanker yang lebih murah dan lebih singkat. Pada akhirnya, ini akan membantu meningkatkan kesehatan masyarakat dan efisiensi sistem kesehatan (Yalcinkaya & Erbas, 2021).

## Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa logika fuzzy memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan teknologi deteksi dan pengobatan kanker. Dibandingkan dengan metode konvensional, logika fuzzy mampu mengatasi ketidakpastian dalam diagnosa kanker dengan lebih baik, meningkatkan akurasi diagnosis, dan mengurangi biaya serta waktu dalam proses deteksi dini. Penggunaan logika fuzzy dalam analisis gambar medis seperti CT scan dan MRI telah terbukti efektif dalam memisahkan area yang mencurigakan dari jaringan normal, memungkinkan deteksi kanker dengan sensitivitas dan spesifisitas yang lebih baik. Selain itu, integrasi logika fuzzy dengan teknologi jaringan saraf buatan menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sistem deteksi kanker di masa depan. Dengan demikian, penelitian ini mendorong untuk terus mengembangkan aplikasi logika fuzzy dalam konteks kesehatan untuk meningkatkan kualitas diagnosis dan pengobatan kanker secara global.

## Daftar Pustaka

- Alexandre-Silva, V., & Cominetti, M. R. (2024). Unraveling the dual role of ADAM10: Bridging the gap between cancer and Alzheimer's disease. *Mechanisms of Ageing and Development*, 219, 111928. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2024.111928>
- Amini, F., Amjadifard, R., & Mansouri, A. (2024). Fuzzy information granulation towards benign and malignant lung nodules classification. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 5, 100153. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2024.100153>
- An Overview of Cancer. (2022). In *Fundamentals of Cancer Detection, Treatment, and Prevention* (pp. 1–20). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527838561.ch1>
- Ayenigbara, I. O. (2023). Risk-Reducing Measures for Cancer Prevention. *Korean Journal of Family Medicine*, 44(2), 76–86. <https://doi.org/10.4082/kjfm.22.0167>
- Babichev, S., Yasinska-Damri, L., & Liakh, I. (2023). A Hybrid Model of Cancer Diseases Diagnosis Based on Gene Expression Data with Joint Use of Data Mining Methods and Machine Learning Techniques. *Applied Sciences*, 13(10), 6022. <https://doi.org/10.3390/app13106022>
- Bandopadhyay, S., & Phadke, A. C. (2022). CNN and Fuzzy logic based hybrid approach for lung cancer detection and report generation. *2022 International Interdisciplinary Humanitarian Conference for Sustainability (IIHC)*, 818–822. <https://doi.org/10.1109/IIHC55949.2022.10060729>
- Bhattacharya, A., & Pal, M. (2024). Prediction on nature of cancer by fuzzy graphoidal covering number using artificial neural network. *Artificial Intelligence in Medicine*, 148, 102783. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102783>
- Boadh, R., Aarya, D. D., Dahiya, M., Rathee, R., Rathee, S., Kumar, A., Jain, S., & Rajoria, Y. K. (2022). Study and prediction of prostate cancer using fuzzy inference system. *Materials Today: Proceedings*, 56, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.040>

- Boadh, R., Grover, R., Dahiya, M., Kumar, A., Rathee, R., Rajoria, Y. K., Rawat, M., & Rani, S. (2022). Study of fuzzy expert system for the diagnosis of various types of cancer. *Materials Today: Proceedings*, 56, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.161>
- Borah, R., Barman, B., & Choudhury, H. (2022). Envisioning the financial and psychological hardships of cancer. *Indian Journal of Public Health*, 66(2), 190. [https://doi.org/10.4103/ijph.ijph\\_1844\\_21](https://doi.org/10.4103/ijph.ijph_1844_21)
- Cooper, C., Booth, A., Varley-Campbell, J., Britten, N., & Garside, R. (2018). Defining the process to literature searching in systematic reviews: a literature review of guidance and supporting studies. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0545-3>
- Dhawan, S., Bhuyan, H. K., Pani, S. K., Ravi, V., Gupta, R., Rana, A., & Al Mazroa, A. (2024). Secure and resilient improved image steganography using hybrid fuzzy neural network with fuzzy logic. *Journal of Safety Science and Resilience*, 5(1), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2023.12.003>
- Dubey, P., Kumar, S., Behera, S. K., & Mishra, S. K. (2023). A Takagi–Sugeno fuzzy controller for minimizing cancer cells with application to androgen deprivation therapy. *Healthcare Analytics*, 4, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100277>
- Faisal, R. H., Debnath, S., Islam, M. M. U., Sifath, S., Kakon, S. A., Alam, M. S., & Siddique, N. (2023). A modular fuzzy expert system for chemotherapy drug dose scheduling. *Healthcare Analytics*, 3, 100139. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100139>
- Fordellone, M., De Benedictis, I., Bruzzese, D., & Chiodini, P. (2023). A Maximum-Entropy Fuzzy Clustering Approach for Cancer Detection When Data Are Uncertain. *Applied Sciences*, 13(4), 2191. <https://doi.org/10.3390/app13042191>
- Joshi, P., & Dhar, R. (2022). EpICC: A Bayesian neural network model with uncertainty correction for a more accurate classification of cancer. *Scientific Reports*, 12(1), 14628. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18874-6>
- Junio Guimarães, A., Vitor de Campos Souza, P., Jonathan Silva Araújo, V., Silva Rezende, T., & Souza Araújo, V. (2019). Pruning Fuzzy Neural Network Applied to the Construction of Expert Systems to Aid in the Diagnosis of the Treatment of Cryotherapy and Immunotherapy. *Big Data and Cognitive Computing*, 3(2), 22. <https://doi.org/10.3390/bdcc3020022>
- Khalsan, M., Mu, M., Al-Shamery, E. S., Machado, L., Ajit, S., & Agyeman, M. O. (2023). *Fuzzy Gene Selection and Cancer Classification Based on Deep Learning Model*. <http://arxiv.org/abs/2305.04883>
- Korenevskiy, N. A., Belozarov, V. A., Al-Kasasbeh, R. T., Al-Smadi, M. M., Aikeyeva, A. A., Al-Jundi, M., Rodionova, S. N., Filist, S., Alshamasin, M. S., Al-Habahbeh, O. M., & Maksim, I. (2023). Differential Diagnosis of Pancreatic Cancer and Chronic Pancreatitis According to Endoscopic Ultrasonography Based on the Analysis of the Nature of the Contours of Focal Formations Based on Fuzzy Mathematical Models. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 51(3), 59–76. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2023048046>
- Korenevskiy, N. A., Belozarov, V. A., Al-kasasbeh, R. T., Al-Smadi, M. M., Krutskikh, V., Shalimova, E., Al-Jundi, M., Rodionova, S. N., Filist, S., Shaqadan, A., Maksim, I., & Al-Habahbeh, O. M. (2024). Using Fuzzy Mathematical Model in the Differential Diagnosis of Pancreatic Lesions Using Ultrasonography and Echographic Texture Analysis. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 52(1), 1–20. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2023049762>
- Kraus, S., Breier, M., & Dasí-Rodríguez, S. (2020). The art of crafting a systematic literature review in entrepreneurship research. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 16(3), 1023–1042.

- <https://doi.org/10.1007/s11365-020-00635-4>
- Nguyen Thu Hien, Nguyen Phuong Nhung, & Nguyen Tuan Linh. (2022). Adaptive neuro-fuzzy inference system classifier with interpretability for cancer diagnostic. *Journal of Military Science and Technology, CSCE6*, 56–64. <https://doi.org/10.54939/1859-1043.jmst.CSCE6.2022.56-64>
- Orazayeva, A., Wójcik, W., Pavlov, S., Tussupov, J., Prokopovich, I., Kovalchuk, O. ., Smailova, S., & Zhunissova, U. (2022). Imaging fuzzy expert system for assessing dynamic changes in biomedical tumor images in breast cancer. In R. S. Romaniuk, A. Smolarz, & W. Wójcik (Eds.), *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2022* (p. 3). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2657923>
- Patira, R., & Kumar Gupta, Y. (2023). Cancer Detection: A Review Using Fuzzy Based Learning System. *2023 1st International Conference on Intelligent Computing and Research Trends (ICRT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICRT57042.2023.10146631>
- Pramanik, R., Biswas, M., Sen, S., Souza Júnior, L. A. de, Papa, J. P., & Sarkar, R. (2022). A fuzzy distance-based ensemble of deep models for cervical cancer detection. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 219, 106776. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106776>
- Rehman, M. U., Shafique, A., Ghadi, Y. Y., Boulila, W., Jan, S. U., Gadekallu, T. R., Driss, M., & Ahmad, J. (2022). A Novel Chaos-Based Privacy-Preserving Deep Learning Model for Cancer Diagnosis. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 9(6), 4322–4337. <https://doi.org/10.1109/TNSE.2022.3199235>
- Salem, H., Shams, M. Y., Elzeki, O. M., Abd Elfattah, M., F. Al-Amri, J., & Elnazer, S. (2022). Fine-Tuning Fuzzy KNN Classifier Based on Uncertainty Membership for the Medical Diagnosis of Diabetes. *Applied Sciences*, 12(3), 950. <https://doi.org/10.3390/app12030950>
- Sánchez, J. A., Melendi, D., García, R., Pañeda, X. G., Corcoba, V., & García, D. (2024). Distributed and collaborative system to improve traffic conditions using fuzzy logic and V2X communications. *Vehicular Communications*, 47, 100746. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2024.100746>
- Shah, P., & Shah, T. (2024). Adaptive Neuro Fuzzy Inference System based classifier in diagnosis of breast cancer. *Results in Control and Optimization*, 14, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100358>
- Sotirov, S., Kostadinov, T., & Hristov, S. (2023). *An Intuitionistic Fuzzy Estimation Approach on a Magnetic Resonance Imaging* (pp. 47–52). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31069-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31069-0_6)
- Sweidan, S., Zamzami, N., & Sabbeh, S. F. (2023). Fuzzy ontology-based approach for liver fibrosis diagnosis. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(8), 101720. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101720>
- Titaley, J. (2023). EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSING DISEASE USING FUZZY LOGIC. *JURNAL ILMIAH SAINS*, 114–119. <https://doi.org/10.35799/jis.v8i1.48091>
- Voumik, L. C., Karthik, R., Ramamoorthy, A., & Dutta, A. (2023). A Study on Mathematics Modeling using Fuzzy Logic and Artificial Neural Network for Medical Decision Making System. *2023 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*, 492–498. <https://doi.org/10.1109/CISES58720.2023.10183534>
- Yalcinkaya, F., & Erbas, A. (2021). Convolutional Neural Network and Fuzzy Logic-based Hybrid Melanoma Diagnosis System. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 27(2), 55–63. <https://doi.org/10.5755/j02.eie.28843>