



Article

# Pemanfaatan Logika Fuzzy dalam Sektor Pertanian: Sebuah Kajian Literatur

Sari Andini Putri<sup>1</sup>, Hani Istiqomah<sup>2</sup>, Anggit Wirasto<sup>3</sup>  
<sup>1-3</sup> Informatika, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

**Corresponding Author:** sariandini755@gmail.com

**Abstract:** Agriculture is essential to meet the world's food needs, especially with the increasing global population requiring higher food production. Smart agriculture with technologies such as the Internet of Things (IoT) and fuzzy logic can improve agricultural efficiency and productivity. Fuzzy logic, which allows linguistic variables to have more flexible membership degrees, is used in intelligent irrigation systems, productivity prediction, and land use planning. This study reviews systematic literature (SLR) to explore the applications and benefits of fuzzy logic in agriculture, as well as the challenges of its implementation. Results show that fuzzy logic has great potential to improve agricultural efficiency, but faces challenges in implementation. This research paves the way for further studies in this area.

**Keywords:** Fuzzy Logic; Agriculture; Integration

**Received:** 6 July 2024

**Revised:** 6 August 2024

**Accepted:** 4 September 2024

**Published:** 12 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

Pertanian adalah sumber utama produksi pangan dan menjadi perhatian besar bagi umat manusia karena pentingnya dalam menyediakan kebutuhan pokok (Wakchaure, Patle, and Mahindrakar 2023). Banyak orang di seluruh dunia, terutama di negara-negara Dunia Ketiga, menderita kelaparan akibat kelangkaan pangan (Irwanto et al. 2024). Masalah kelangkaan pangan ini sering kali dikaitkan dengan faktor sosial ekonomi, seperti pertumbuhan populasi yang pesat. Selama lima dekade terakhir, populasi global telah meningkat dari 3 miliar menjadi 6 miliar, sehingga meningkatkan permintaan akan sumber daya pangan secara signifikan. Oleh karena itu, meningkatkan produksi pangan menjadi sangat penting untuk mengatasi kelaparan dan kemiskinan yang meluas.

Namun, kenyataannya tidaklah sederhana; di banyak negara, metode pertanian masih tradisional dan belum sepenuhnya dimodernisasi, yang menyebabkan rendahnya tingkat produksi pangan. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan upaya untuk memajukan pertanian cerdas dengan mengadopsi metode pertanian yang lebih modern dan efisien, sehingga mampu meningkatkan hasil produksi secara signifikan. Inovasi teknologi memainkan peran penting dalam upaya ini, karena integrasi teknologi yang terus berkembang dapat membantu mengoptimalkan proses pertanian[7]. Tujuan utamanya adalah untuk memberdayakan metode pertanian agar dapat menyesuaikan produksi pangan dengan laju pertumbuhan populasi, sehingga dapat mengurangi tingkat kelaparan yang masih lazim di berbagai belahan dunia.

Sistem pemantauan digunakan di lapangan untuk mengumpulkan informasi mengenai kondisi pertanian, seperti intensitas cahaya, kelembapan, dan suhu, dengan tujuan meningkatkan produktivitas tanaman. Salah satu tren terkini dalam berbagai bidang, termasuk sistem pemantauan pertanian, adalah Internet of Things (IoT) (Puška et al. 2021). Dalam pertanian konvensional, petani biasanya memerlukan tenaga kerja manual untuk menangani tanaman dan ternak, yang seringkali menyebabkan penggunaan sumber daya menjadi tidak efisien[11]. Kelemahan ini dapat diatasi melalui konsep pertanian cerdas. Dalam pertanian cerdas, petani menerima pelatihan tentang penggunaan IoT, akses terhadap sistem penentuan posisi global (GPS), serta kemampuan pengelolaan data. Semua ini bertujuan untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas produk pertanian mereka. Saat ini, berbagai proyek mengintegrasikan sistem canggih untuk menawarkan alat yang berakar pada pertanian cerdas, sehingga mendukung petani dalam mengoptimalkan praktik pertanian mereka (Vemuri, Thaneeru, and Tatikonda 2023).

Pengenalan konsep himpunan fuzzy dan teori himpunan fuzzy dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk mendeskripsikan secara matematis kejadian-kejadian yang ambigu dan tidak tepat (Woźniak et al. 2024). Dalam teori himpunan fuzzy, seseorang dapat berbicara tentang kepemilikan sebagian suatu titik pada himpunan yang dipertimbangkan, yang berarti setiap elemen memiliki derajat keanggotaan yang tidak hanya terbatas pada 0 atau 1, tetapi dapat memiliki nilai antara keduanya (Bin et al. 2023). Alih-alih menggunakan nol dan satu (0 atau 1) seperti dalam logika biner tradisional, logika fuzzy memungkinkan penggunaan variabel linguistik yang lebih fleksibel dan sesuai dengan kenyataan. Variabel-variabel ini dapat mengasumsikan nilai-nilai yang dinyatakan dengan konsep bahasa lisan yang tidak tepat. Misalnya, jika kita mengatakan sesuatu itu "hangat" maka itu tidak bisa secara tegas dikategorikan sebagai "dingin" atau "panas" Demikian pula, jika sesuatu berwarna "abu-abu" maka itu bukanlah hitam atau putih.

Logika fuzzy juga memungkinkan kita untuk mendeskripsikan fitur-fitur yang tidak dapat dinyatakan dalam angka-angka pasti. Ini sangat berguna untuk menggambarkan kejadian-kejadian yang bersifat ambigu dan tidak dapat dijelaskan dalam istilah biner yang kaku (Osuch et al. 2020). Dengan menggunakan logika fuzzy, kita dapat

membuat model matematika yang lebih mendekati cara berpikir manusia dan realitas yang penuh ketidakpastian. Misalnya, dalam pengendalian iklim rumah kaca, logika fuzzy dapat digunakan untuk mengatur suhu dan kelembapan berdasarkan kondisi yang tidak pasti dan variabel yang saling mempengaruhi. Hal ini karena logika fuzzy dapat menangani informasi yang tidak pasti dan memberikan solusi yang lebih efisien dalam berbagai aplikasi praktis, termasuk dalam bidang pertanian, kesehatan, dan teknologi informasi.

Penggunaan logika fuzzy dalam sektor pertanian sangat beragam, mulai dari sistem irigasi cerdas hingga prediksi produktivitas pertanian. Salah satu aplikasi utama adalah sistem irigasi cerdas berbasis logika fuzzy yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT), Sistem ini memungkinkan penyesuaian irigasi secara otomatis berdasarkan variabel lingkungan seperti suhu dan kelembapan tanah, sehingga meningkatkan efektivitas irigasi. Selain itu, sistem prediksi produktivitas pertanian berbasis FPGA menggunakan mesin vektor dukungan fuzzy juga terbukti efektif dalam memproyeksikan hasil panen dengan akurasi tinggi. Memetakan keterbatasan lahan untuk perencanaan penggunaan lahan pertanian dengan pendekatan logika fuzzy telah diterapkan di berbagai wilayah, termasuk studi kasus di Pulau Marinduque, Filipina. Metode ini membantu dalam menentukan lahan yang paling sesuai untuk berbagai jenis tanaman, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan lahan pertanian. Penggunaan logika fuzzy tidak hanya terbatas pada irigasi dan perencanaan lahan; masih banyak lagi kegunaan lainnya dalam sektor pertanian.

Sistem irigasi cerdas yang menggunakan pengontrol logika fuzzy (FLC) dan teknologi IoT dapat menganalisis data lingkungan dan melakukan penyesuaian irigasi secara otomatis berdasarkan variabel seperti suhu dan kelembapan tanah. Teknologi ini memungkinkan pengendalian dan pemantauan irigasi dengan lebih efisien, terutama ketika ditenagai oleh energi surya dan menggunakan sensor dari Internet of Everything (IoE). Data lingkungan yang dikumpulkan dapat digunakan untuk memprediksi kondisi cuaca dan kebutuhan irigasi menggunakan jaringan fungsi basis radial (RBFN) (Adenugba et al. 2019). Pemodelan fuzzy telah terbukti efektif dalam memanfaatkan sensor yang mengukur kelembaban udara dan tanah serta suhu.

Sebagai contoh, penggunaan sensor kelembaban tanah bersama dengan Arduino untuk keperluan irigasi pertanian telah menghasilkan peningkatan efisiensi irigasi. Investigasi lain menggunakan pembelajaran mesin dan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), yang menggabungkan tiga sensor dasar untuk memberikan rekomendasi irigasi yang lebih akurat (ADAK 2019). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Normalina, potensi air batang diperkirakan menggunakan sistem inferensi fuzzy, sementara penyakit daun dinilai secara akurat melalui sistem fuzzy yang inventif. Sistem ini mempertimbangkan variasi tanaman dan air tanah untuk menjadwalkan irigasi secara adaptif. Indeks stres air tanaman teoritis (Crop Water Stress Index - CWSI) dihitung untuk menunjukkan status air tanaman menggunakan suhu kanopi, radiasi matahari, dan tekanan uap.

Penerapan sistem inferensi fuzzy dalam memetakan kesesuaian lahan berdasarkan data yang dianalisis memungkinkan integrasi yang lebih baik dari berbagai faktor lingkungan yang kompleks (dos Reis et al. 2023). Dengan menggunakan pendekatan ini, sistem dapat membuat keputusan berdasarkan aturan fuzzy yang mencerminkan tingkat ketidakpastian dan kompleksitas informasi. Hasil penilaian yang dihasilkan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kondisi lingkungan di wilayah studi, serta membantu petani mengambil keputusan yang lebih baik dalam merencanakan dan mengelola lahan mereka (Bang et al. 2019). Sistem pendukung keputusan (Decision Support System - DSS) bertujuan untuk meningkatkan rasio manfaat-biaya (Benefit-Cost Ratio - BCR) lahan pertanian dengan memanfaatkan teknologi terkini seperti sistem tertanam dan teknik logika fuzzy.

Melalui visualisasi data sampel dan nilai prediksi, sebuah penelitian memberikan wawasan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas padi dan mengidentifikasi tren serta variasi pada berbagai tahap pertumbuhan (Sinha and Tiwari 2024). Analisis ini menyoroti kegunaan kode MATLAB dalam pengambilan keputusan pertanian, memungkinkan petani dan praktisi mengoptimalkan strategi pengelolaan untuk meningkatkan potensi hasil panen[28]. Pengembangan Sistem Pendukung Keputusan Irigasi (Irrigation Decision Support System - IDSS) menggunakan pendekatan logika fuzzy dalam pengelolaan irigasi tanaman memungkinkan rekomendasi irigasi secara real-time berdasarkan kondisi tanah dan pertumbuhan tanaman. Dengan pendekatan ini, IDSS dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil panen, menjadikannya alat yang sangat berharga dalam pertanian modern (Li et al. 2019).

## Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan arahan tentang metode pengumpulan data dan analisis standar yang berkaitan dengan penggunaan logika fuzzy dalam industri pertanian. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menemukan berbagai aplikasi dan manfaat logika fuzzy dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional pertanian. Selain itu, dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan ini, penelitian ini berusaha memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana logika fuzzy dapat diterapkan dalam konteks pertanian kontemporer. Selain itu, tujuan dari pertanyaan penelitian ini adalah untuk menemukan kesulitan dalam menerapkan teknologi ini dan menyiapkan dasar untuk penelitian tambahan di bidang ini.

RQ1: Bagaimana logika fuzzy diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan hasil tanaman dalam optimisasi produksi pertanian?

RQ2: Apa saja contoh aplikasi logika fuzzy dalam manajemen irigasi dan kontrol tanaman di sektor pertanian?

RQ3: Bagaimana logika fuzzy dapat dipakai untuk memodelkan dan meramalkan respons tanaman terhadap variabel lingkungan seperti cuaca dan kondisi tanah?

RQ4: Apa peran logika fuzzy dalam pengambilan keputusan mengenai pemilihan varietas tanaman berdasarkan kondisi pertanian lokal?

RQ5: Seberapa efektif logika fuzzy dalam mengurangi risiko dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya dalam sistem pertanian yang berkelanjutan?

RQ6: Apa tantangan utama dalam mengimplementasikan dan mengintegrasikan logika fuzzy dalam sistem manajemen pertanian modern?

RQ7: Bagaimana logika fuzzy bisa digunakan dalam mengelola risiko dan meramalkan hasil panen dalam konteks perubahan iklim global?

## Metode Penelitian

### Seleksi Database

Pemilihan database memainkan peran penting dalam Tinjauan Sastra Sistematis (SLR) untuk menjamin penemuan semua literatur terkait dan terbaik. Sangat penting bahwa database yang dipilih mencakup jurnal terkemuka dan sumber literatur terkemuka dalam domain penelitian yang sedang dievaluasi (Adenugba et al. 2019).

Kriteria inklusi dan eklusi berfungsi sebagai arahan mendasar yang digunakan untuk tujuan memastikan pemilihan artikel yang akan dimasukkan atau dihilangkan dari tinjauan sistematis. Sangat penting bahwa kriteria ini ditetapkan sebelum dimulainya pencarian literatur dan secara konsisten diberikan untuk semua artikel yang diidentifikasi (ADAK 2019). Tabel 1 merupakan daftar kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan.

Tabel 1. Kriteria inklusi dan Eklusi

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Artikel terkait langsung dengan topik "Smart Contracts for Data Sharing in Drug Development"	Artikel yang tidak berkaitan langsung dengan topik
Artikel penelitian asli, review sistematis, atau meta-analisis	Artikel yang muncul lebih dari sekali (duplikasi).

Studi yang ditulis dalam bahasa Inggris.	Artikel yang tidak dapat diakses (misalnya, di balik paywall tanpa akses).
Artikel yang telah melalui proses peer-review	Artikel yang tidak melalui proses peer-review (misalnya, opini, editorial, surat pembaca)
Artikel diterbitkan dalam rentang waktu 2010-2023	Artikel dalam bahasa selain bahasa Inggris

Untuk melakukan Tinjauan Literatur Sistematis (SLR) tentang subjek “Pemanfaatan Logika Fuzzy dalam Sektor Pertanian: Systematic Literature Review”, pemilihan database terkait dan penerapan metodologi pencarian yang efektif sangat penting. Database yang digunakan mencakup pubmed, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, Google Scholar, sciencedirect, Digital ACM, springerlink, arxiv, researchgate. Melalui integrasi database yang beragam ini, proses melakukan pencarian literatur mencapai kelengkapan dan ketelitian, menjamin identifikasi dan penyertaan semua artikel yang relevan dan berkaliber tinggi dalam SLR.

Metodologi yang digunakan dalam proses pencarian melibatkan pemilihan kata kunci terkait seperti “Logika Fuzzy”, “Pertanian”, dan “Sektor pertanian” Pemanfaatan operator Boolean (AND, OR, NOT) memfasilitasi penggabungan kata kunci, sehingga menyempurnakan atau memperluas hasil pencarian. Untuk memastikan kesesuaian hasil pencarian, kombinasi kata kunci seperti “Logika Fuzzy” AND “Sektor” AND “Pertanian” AND (SLR OR Systematic Literature Review) digunakan. Selain itu, filter khusus diterapkan untuk membatasi temuan pencarian berdasarkan tahun publikasi (2019-2023), kategori artikel (peer-review), bahasa (Inggris), dan ketersediaan. Proses pencarian berulang ini mencakup berbagai kombinasi kata kunci untuk memastikan penyertaan semua literatur terkait. Setelah pencarian otomatis, pemeriksaan manual judul dan abstrak dilakukan untuk memvalidasi relevansi artikel sebelum memeriksanya lebih lanjut. Selanjutnya, daftar referensi artikel yang relevan diteliti untuk mengungkap studi tambahan yang mungkin menghindari pencarian awal. Pendekatan ini meningkatkan kelengkapan Tinjauan Sastra Sistematis (SLR).

### Proses Seleksi Artikel

Pencarian berulang dilakukan dengan menggunakan berbagai kombinasi kata kunci untuk memastikan identifikasi menyeluruh dari semua literatur terkait. Selanjutnya, pemeriksaan manual dari judul dan abstrak setiap artikel dilakukan fase pasca-pencarian untuk menentukan relevansinya dengan subjek penelitian sebelum dimasukkan ke dalam pemeriksaan lebih lanjut. Setiap artikel yang diidentifikasi beberapa kali dalam hasil pencarian dihilangkan sebagai duplikat untuk menegaskan keunikan dan kredibilitas data yang dikumpulkan. Isi lengkap artikel yang dianggap relevan kemudian ditelusuri dan dievaluasi dengan cermat. Pada tahap selanjutnya, kriteria inklusi dan pengecualian digunakan untuk memutuskan artikel mana yang akan dimasukkan dalam tinjauan akhir. Kriteria inklusi mencakup unsur-unsur seperti relevansi topik, jenis artikel (penelitian asli,

tinjauan sistematis, atau meta-analisis), bahasa publikasi (harus dalam bahasa Inggris), tahun publikasi, dan status peer-review untuk menjamin kekakuan dan validitas ilmiah. Sebaliknya, kriteria pengecualian melibatkan artikel yang tidak memiliki relevansi langsung dengan subjek, artikel duplikat, artikel yang tidak dapat diakses (misalnya, di balik paywall tanpa akses yang memadai), dan artikel yang melewati proses peer-review, seperti opini, editorial, dan surat pembaca (Purcell, Neubauer, and Mallinger 2023).

Untuk meningkatkan tinjauan literatur, daftar referensi dari artikel terkait juga diteliti untuk mengungkap studi tambahan yang mungkin menghindari pencarian awal. Prosedur ini memastikan identifikasi komprehensif dan penyertaan semua literatur yang berpotensi relevan dan berkualitas tinggi dalam analisis. Pada akhirnya, proses pemilihan artikel lengkap didokumentasikan dengan cermat, dan hasilnya digambarkan dengan jelas. Dokumentasi ini mencakup jumlah artikel yang terintegrasi dan dikecualikan, bersama dengan alasan pengecualian mereka, memungkinkan tinjauan dan validasi proses seleksi oleh peneliti lain. Praktik ini memastikan bahwa tinjauan sistematis yang dilakukan lengkap, transparan, dan dapat diandalkan. Figure 1 merupakan Diagram alir PRISMA yang menunjukkan proses seleksi studi.

## Ekstraksi Data

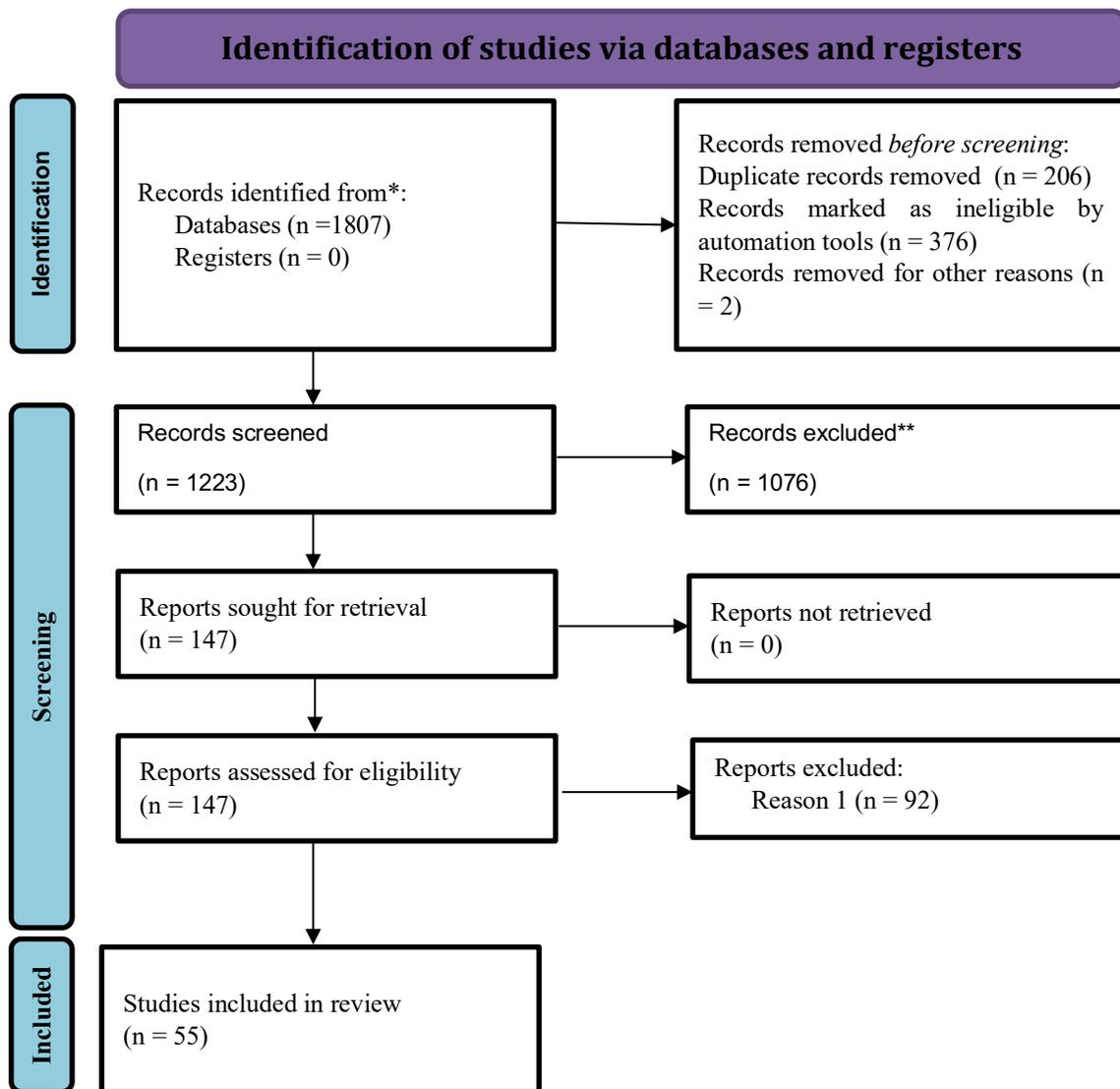
Proses ekstraksi data melibatkan pengambilan berbagai variabel dari masing-masing artikel yang dipilih, mencakup aspek-aspek kunci yang berkaitan dengan topik penelitian. Variabel-variabel ini mencakup detail mendasar seperti judul artikel, nama penulis, tahun publikasi, dan jurnal. Selain itu, informasi yang lebih rinci seperti tujuan penelitian, metodologi, jenis dan ukuran sampel, temuan utama, kesimpulan, dan rekomendasi juga dikumpulkan. Variabel penting lainnya termasuk jenis data, teknologi smart contract yang digunakan, pertimbangan keamanan yang diperiksa, dan tingkat transparansi yang dicapai dalam pengembangan farmasi (dos Reis et al. 2023).

Eksekusi ekstraksi data yang sistematis dan terstruktur memastikan pendekatan yang teliti. Setiap artikel yang memenuhi syarat diteliti secara menyeluruh untuk menentukan dan mendokumentasikan variabel terkait. Selanjutnya, data yang diperoleh dimasukkan ke dalam spreadsheet yang telah ditentukan untuk menjaga keseragaman dan memfasilitasi analisis selanjutnya. Beberapa peneliti terlibat dalam proses ini untuk mengurangi bias dan meningkatkan akurasi data (Bang et al. 2019). Setiap perbedaan dalam ekstraksi data di antara peneliti ditangani melalui konsensus atau konsultasi dengan pihak ketiga bila diperlukan [26]. Metodologi ekstraksi data yang teliti ini menjamin tinjauan komprehensif dan sistematis dari semua informasi penting yang diambil dari setiap artikel yang dipilih (Sinha and Tiwari 2024).

## Evaluasi Kualitas Artikel

Penilaian kualitas artikel dalam konteks SLR melibatkan penerapan teknik metodis dan terstruktur untuk menjamin penggabungan studi kaliber tinggi semata-mata dalam evaluasi konklusif (Sharma n.d.). Pendekatan penilaian untuk kualitas artikel terdiri dari pemanfaatan instrumen penilaian standar seperti daftar periksa dan skala penilaian yang telah diautentikasi dalam domain ilmiah. Instrumen yang umum digunakan adalah Program Keterampilan Penilaian Kritis (CASP) atau alat analog yang dibuat untuk mengevaluasi kualitas beragam klasifikasi studi, meliputi uji klinis, studi kohort, dan tinjauan sistematis (Li et al. 2019).

Standar yang digunakan untuk mengukur kualitas artikel mencakup beberapa aspek penting. Awalnya, validitas internal dan eksternal penelitian diteliti, dengan mempertimbangkan cetak biru penelitian, ukuran sampel, dan pendekatan analisis data. Kriteria konkret menggabungkan kejernihan tujuan penelitian, kecukupan dan validitas metode pengumpulan data, serta keakuratan teknik analisis statistik yang digunakan. Selanjutnya, kejelasan dan replikabilitas studi dievaluasi berdasarkan kejelasan laporan hasil, diskusi komprehensif tentang keterbatasan penelitian, dan penyediaan data mentah atau kode untuk analisis bila dapat diakses. Selain itu, adanya bias, seperti bias seleksi, bias pelaporan, dan potensi konflik kepentingan yang dinyatakan oleh penulis, juga diakui dan dinilai (Page et al. 2021).



Gambar 1. Diagram alir PRISMA

Setiap artikel menjalani evaluasi independen oleh dua peneliti, dengan hasil penilaian disandingkan untuk memastikan keseragaman. Dalam kasus perbedaan yang mencolok dalam penilaian, musyawarah dilakukan untuk mencapai konsensus atau melibatkan penilai ketiga untuk resolusi (Rethlefsen et al. 2021). Dengan menggunakan teknik dan standar evaluasi kualitas yang ketat dan metodis, SLR ini memastikan bahwa hanya artikel dengan validitas dan keandalan yang tinggi yang tercakup dalam evaluasi konklusif, sehingga memastikan bahwa temuan tinjauan dapat diandalkan dan relevan (Minervini et al. 2023) untuk kemajuan di bidang "Pemanfaatan Logika Fuzzy dalam Sektor Pertanian".

Berdasarkan hasil penelusuran studi literatur mengenai penggunaan Logika Fuzzy pada bidang pertanian, diperoleh hasil penelitian terdahulu sebagai berikut dengan analisis hasil penelitian, kelebihan dan kekurangan penelitian.

**Tabel 1** Tinjauan Pustaka

No	Judul	Author	Hasil	Kelebihan	Kekurangan
1.	Integrasi IoT dan logika fuzzy untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan substrat dalam budidaya jamur (Irwanto et al. 2024).	Firdaus Irwanto	Makalah ini memperkenalkan sistem inovatif yang menggunakan sensor cerdas untuk merekam data secara real-time berdasarkan konsep himpunan fuzzy. Sensor yang digunakan antara lain Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Sensor DHT22, Light Dependent Resistor (sensor LDR), dan Passive Inframerah Receiver (sensor PIR). Sistem ini menggunakan logika fuzzy untuk menangani aspek-aspek penting seperti penyiraman substrat, pengendalian lingkungan, pengelolaan cahaya, dan deteksi hama.	Keunggulan kertas adalah sistem ini memungkinkan pengambilan keputusan secara real-time berdasarkan data sensor. Hal ini juga menunjukkan potensi teknologi IoT di sektor pertanian dan membahas beberapa aspek penting dalam budidaya jamur.	Kekurangannya adalah sistem ini sangat bergantung pada kualitas dan keakuratan sensor yang digunakan. Kompleksitas penggunaan logika fuzzy dan integrasi IoT memerlukan pemahaman teknis yang mendalam.
2.	Penerapan logika Fuzzy dan IoT dalam Sistem Rumah Kaca Cerdas skala kecil (Thomopoulos et al. 2024).	Vasileios Thomopoulos	Penelitian ini berhasil mengintegrasikan sistem kendali logika fuzzy dengan infrastruktur rumah kaca, memungkinkan pemantauan dan penyesuaian parameter lingkungan secara real-time, serta pengembangan ekosistem	Penelitian tersebut menawarkan desain rumah kaca inovatif yang dapat beradaptasi dengan lingkungan perkotaan, memanfaatkan teknologi IoT	Kelemahan dari studi ini meliputi perlunya evaluasi lebih lanjut dalam berbagai kondisi lingkungan yang menantang untuk mengidentifikasi kelemahan struktural atau pemantauan, serta

			percontohan IoT yang menunjukkan kelayakan iklim mikro yang mandiri untuk pertumbuhan tanaman yang lebih baik.	untuk pemantauan jarak jauh, dan menggunakan kontrol fuzzy PI untuk pengaturan iklim mikro yang efektif. Hal ini meningkatkan aksesibilitas dan menyederhanakan operasi pertanian.	kebutuhan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan konsumsi energi dan mengintegrasikan algoritma.
3.	Penilaian keberlanjutan kualitas airtanah untuk keperluan irigasi menggunakan pendekatan logika fuzzy (Hayeri Yazdi et al. 2024).	Susan Hayeri Yazdi	Penelitian ini memperkenalkan Fuzzy Groundwater Quality Index (FGWQI) yang menggunakan model sistem inferensi fuzzy untuk menilai kualitas air tanah di akuifer Houmand-Absard, Iran, khusus untuk irigasi. FGWQI menggabungkan lima indikator kualitas berorientasi pertanian: Rasio Adsorpsi Natrium (SAR), Persentase Natrium (Na%), Rasio Bahaya Magnesium (MHR), Indeks Kelly (KI), dan Potensi Salinitas (PS).	Keunggulan model FGWQI menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan indikator tradisional khususnya MHR dengan memberikan penilaian yang lebih realistis. FGWQI menunjukkan hasil yang dapat diterima (30-70) meskipun MHR menilai kualitas air tidak memadai dalam 47% kasus.	Model FGWQI hanya berfokus pada kualitas air dan mengabaikan kuantitas air. Indeks ini hanya menilai 5 anion dan kation, yang berguna di area dengan data terbatas dan sumber daya laboratorium yang tidak memadai. Selain itu, indikator ini hanya relevan untuk irigasi dan tidak untuk air minum.
4.	Perbandingan kinerja logika fuzzy dan sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif (ANFIS) untuk memperkirakan kehilangan tenaga kerja	Seher Arslankaya	Hasil penelitian yang membandingkan kinerja logika fuzzy dan sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif (ANFIS) untuk memperkirakan kehilangan tenaga kerja karyawan belum ditemukan secara spesifik. Namun	Sistem ANFIS dapat dilatih lebih cepat dibandingkan ANN dan model teoretis lainnya, serta dapat beradaptasi dengan pola kompleks dan	Dalam penggabungan kompleksitas komputasi dua sistem berbeda, penggunaan ANFIS mungkin membutuhkan lebih banyak sumber daya. Pemilihan

	karyawan (Arslankaya 2023)		berdasarkan informasi yang tersedia, ANFIS secara umum berkinerja lebih baik dalam memodelkan sistem yang kompleks karena menggabungkan keunggulan Artificial Neural Network (ANN).	memahami hubungan non-linier.	fungsi keanggotaan yang tepat untuk logika fuzzy juga bisa menjadi tantangan tersendiri.
5.	Simulasi pengendalian suhu dan waktu pengairan pada produksi bunga tulip menggunakan logika Fuzzy (Pacco 2022).	Honorato Ccalli Pacco	Hasil dari makalah ini menjelaskan bahwa sistem pengaturan suhu dan waktu pengairan berdasarkan logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi dalam produksi bunga tulip. Sistem ini dirancang untuk secara otomatis menyesuaikan kondisi suhu dan waktu penyiraman berdasarkan parameter lingkungan dinamis, seperti kelembapan dan suhu udara, dengan tujuan menciptakan kondisi optimal untuk pertumbuhan tulip.	Sistem otomatis mengatur kecepatan pompa air sesuai dengan kelembapan tanah dan faktor iklim. Ini memungkinkan irigasi berjalan tanpa campur tangan langsung manusia, mengurangi pemborosan sumber daya.	Penggunaan logika fuzzy dalam irigasi membutuhkan pemahaman teknis yang mungkin tidak dimiliki semua petani. Keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada sensor iklim dan kelembapan tanah yang akurat.
6.	Analisis kesesuaian air tanah untuk minum menggunakan logika fuzzy berbasis GIS (Mallik, Mishra, and Paul 2021).	Santanu Mallik	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar air tanah di wilayah penelitian layak untuk diminum. Analisis Komponen Utama (PCA) mengungkapkan bahwa kualitas air tanah terdegradasi terutama akibat aktivitas pertanian, interaksi air-batuan, dan proses mineralisasi alami.	Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini bersifat fleksibel dengan jumlah parameter dan bobot yang terkait, sehingga lebih dapat diandalkan.	Studi ini menemukan bahwa air tanah di wilayah studi sebagian besar bersifat asam dengan kadar zat besi yang tinggi dan beberapa kantong dengan kadar nitrat yang tinggi.

7.	Implementasi Metode Kontrol Logika Fuzzy pada Teknologi Budidaya Cabai Berbasis Sistem Irigasi Smart Drip	Faikul Umam	Penelitian ini berhasil mengintegrasikan metode kendali logika fuzzy pada sistem irigasi tetes pintar untuk budidaya cabai herbal. Sistem ini mampu mengontrol kebutuhan air secara efisien dan memiliki tingkat keberhasilan 99,98% dalam pengujian.	Sistem ini unggul karena dapat mengontrol suhu, kelembaban tanah, dan udara di sekitar tanaman cabai herbal, bukan hanya fokus pada kelembaban tanah. Cocok untuk daerah kering dan dapat meningkatkan minat masyarakat dalam budidaya cabai herbal.	Sistem ini ideal untuk dataran tinggi dengan perubahan suhu dan kelembapan yang besar. Namun, pada tanaman cabai herbal di dataran rendah, efeknya mungkin tidak begitu signifikan, menyebabkan potensi ambiguitas dalam pengendaliannya.
8.	Sistem Irigasi Cerdas berbasis Fuzzy Logic menggunakan Internet of Things (Krishnan et al. 2020).	R.Santhana Krishnan	Makalah ini mengusulkan sistem irigasi cerdas yang mengintegrasikan logika fuzzy dan Internet of Things (IoT) untuk mengotomatisasi kontrol pompa air, sehingga menghilangkan kebutuhan akan campur tangan manusia. Sistem ini menggunakan sensor iklim yang dipadukan dengan sirkuit elektronik dan dihubungkan dengan Arduino serta model Fuzzy Inference System (FIS) untuk mempertimbangkan kondisi iklim dan tingkat kelembaban tanah.	Sistem ini memungkinkan pengguna menghemat air dan listrik dengan mengurangi masalah kelebihan atau kekurangan irigasi. Di sisi sistem otomasi, sistem ini meningkatkan produktivitas pertanian dengan menyediakan jumlah air yang optimal pada interval yang tepat.	Implementasi awal sistem mungkin memerlukan investasi besar dalam pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak. Selain itu, sistem IoT juga bergantung pada koneksi internet yang stabil, yang mungkin menjadi masalah di wilayah dengan konektivitas yang buruk.
9.	Indeks kekeringan meteorologi baru berdasarkan logika fuzzy:	Mhamd Saifaldeen Oyounalsud	Studi ini mengembangkan indeks kekeringan meteorologi baru yang menggunakan logika fuzzy dan model neuro-fuzzy untuk	Model yang dikembangkan memberikan prediksi yang lebih baik dibandingkan	Efektivitas model sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas data yang digunakan untuk pelatihan. Selain itu,

	Pengembangan dan penilaian komparatif dengan indeks kekeringan konvensional (Oyoualsoud et al. 2023)		menggambarkan dan memprediksi kekeringan. Model yang dikembangkan ini dibandingkan dengan sembilan indeks kekeringan konvensional dan dikorelasikan dengan beberapa indikator kekeringan. Hasilnya menunjukkan bahwa model logika fuzzy rata-rata memiliki kinerja lebih baik dibandingkan semua indeks konvensional, dengan korelasi sebesar 0,784 dengan kelembaban tanah bagian atas.	indeks konvensional di wilayah subtropis dan tropis. Indeks yang dikembangkan berdasarkan logika fuzzy dan ANFIS ini mengungguli metode konvensional, sehingga secara efektif berkontribusi terhadap prediksi dan mitigasi kekeringan yang lebih akurat.	model yang dikembangkan mungkin memerlukan penyesuaian atau kalibrasi ulang bila diterapkan di lokasi dengan kondisi iklim berbeda.
10.	Sistem inferensi neuro-fuzzy adaptif yang ditingkatkan untuk prediksi kekeringan hidrologi di Aljazair (Achite et al. 2023).	Muhammad Achite	Makalah yang menggunakan model ANFISWCA hibrid ini mengungguli model ANFIS mandiri dalam memperkirakan kekeringan, khususnya di SB4 dalam skala waktu 12 bulan. ANFISWCA menunjukkan peningkatan yang signifikan pada RMSE dan MAE, dengan kinerja terbaik pada SRI-12 di SB4 dengan RMSE 0,377.	Keunggulan model ANFISWCA yang diusulkan meningkatkan keakuratan prakiraan kekeringan di wilayah semi-kering. ANFISWCA mencegah masalah overfitting, memberikan pemodelan yang lebih andal dibandingkan ANFIS.	Penelitian ini hanya terfokus pada wilayah semi kering di Aljazair (DAS Wadi Mina). Hasilnya mungkin tidak dapat langsung diterapkan di wilayah lain. Keterbatasan data dan parameter yang digunakan dalam model dapat mempengaruhi keakuratan prediksi.
11.	Memodelkan persepsi pemangku kepentingan untuk menilai potensi	Emma Schiavon	Hasil dari tulisan ini adalah sebuah penelitian yang menggunakan metode logika fuzzy dan pemetaan kognitif fuzzy untuk mengevaluasi	Keuntungan dari makalah ini adalah penggunaan metode partisipatif dan logika fuzzy untuk	Kekurangan dari makalah ini adalah hasilnya tidak dapat diperluas ke wilayah geografis lain dan

	<p>Infrastruktur Ramah Lingkungan di bidang pertanian melalui logika fuzzy: Sebuah alat untuk tata kelola yang partisipatif (Schiavon, Taramelli, and Tornato 2021).</p>		<p>persepsi pemangku kepentingan mengenai penerapan Infrastruktur Hijau (IG) di sektor pertanian. Studi ini bertujuan untuk mengetahui hambatan utama dan faktor pendukung yang terkait dengan implementasi kebijakan GI. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika terdapat ketidakpastian dalam tren perubahan iklim, akan lebih efisien jika mengadopsi kebijakan progresif yang berinvestasi pada pengembangan dan sosialisasi IG.</p>	<p>memahami prioritas sektor pertanian dan merumuskan persepsi pemangku kepentingan mengenai implementasi GI. Selain itu, tulisan ini juga memberikan wawasan yang berguna untuk mendukung pengambilan keputusan kebijakan terkait GI di sektor pertanian.</p>	<p>memerlukan penelitian lebih lanjut untuk mempertimbangkan keanekaragaman zona agroklimat dan agroekologi. Selain itu, makalah ini tidak mempertimbangkan isu alokasi sumber daya dan rasio harga-kualitas pengeluaran publik dalam definisi skenario.</p>
12.	<p>Teknologi penyemprotan cerdas untuk pengelolaan gulma secara presisi: Sebuah tinjauan (Vijayakumar et al. 2023).</p>	<p>Vinay Vijayakumar</p>	<p>Hasil dari makalah ini adalah tinjauan mendalam tentang teknologi penyemprotan cerdas dalam pengelolaan gulma secara presisi. Penelitian ini mencakup studi tentang teknologi penyemprotan cerdas berdasarkan visi mesin (MV) dan kecerdasan buatan (AI) yang merupakan kunci dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan memenuhi permintaan pangan di masa depan dengan mengurangi kehilangan hasil akibat gulma. Selain itu, makalah ini juga</p>	<p>Kekuatan makalah ini adalah memberikan gambaran menyeluruh mengenai teknologi penyemprotan cerdas dalam pengelolaan gulma secara presisi, serta memberikan wawasan mendalam mengenai kemajuan yang dicapai dalam bidang deteksi gulma robotik, pengelolaan</p>	<p>Kekurangan dari makalah ini adalah kurangnya penelitian yang dilakukan pada aspek cairan, pengendalian, dan uji lapangan pada alat penyemprot gulma berbasis tanah. Selain itu, masih banyak kendala dalam sistem deteksi gulma dan sistem penyemprotan cerdas yang perlu diatasi.</p>

			membahas teknologi non-kimia untuk penyiangan, pemrosesan gambar, ekstraksi fitur, dan deteksi gulma berdasarkan pembelajaran mesin (ML) dan pembelajaran mendalam (DL) untuk penyemprot pintar.	gulma berbasis herbisida dan non-herbisida, dan penggunaan visi mesin.	
13.	Penerapan teknik AI dan robotika di bidang pertanian: Sebuah tinjauan (Wakchaure, Patle, and Mahindrakar 2023).	Manas Wakchaure	Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa terdapat kemajuan signifikan dalam produksi tanaman, kualitas pangan, pendapatan petani, perawatan tanaman, pengurangan tenaga kerja, inspeksi dan pemantauan pertanian, dan panen selektif dengan menggunakan kecerdasan buatan dan peralatan modern. Selain itu, terdapat perubahan signifikan dalam pertanian modern yang meningkatkan kesehatan dan keselamatan petani.	Makalah ini mengungkapkan analisis komprehensif tentang penerapan berbagai teknik kecerdasan buatan dalam pertanian, dari penanaman hingga panen. Makalah ini juga mengidentifikasi area-area umum dan krusial di mana kecerdasan buatan diterapkan.	Makalah ini kurang mendalami kesenjangan penelitian dalam pertanian menggunakan kecerdasan buatan secara kualitatif maupun kuantitatif. Peninjauan hanya mencakup sekitar 150 dari lebih dari 700 makalah yang diulas, menunjukkan ruang untuk memperluas cakupan penelitian di bidang ini.
14.	Pemodelan dan Simulasi Sistem Fuzzy untuk Pemupukan Nitrogen Spesifik Lokasi (Heiß et al. 2020).	Andreas Heib	Makalah ini mengembangkan model berbasis logika fuzzy untuk algoritma pemberian dosis sensor N Yara komersial. Simulasi dengan data input-output dari eksperimen lapangan menunjukkan kesesuaian yang tinggi dengan perilaku sistem N-Sensor, yang menunjukkan kemampuan beradaptasi	Penerapan teknik kecerdasan buatan seperti sistem pakar dengan teori himpunan fuzzy memungkinkan adaptasi dosis N yang spesifik untuk lokasi tertentu sesuai kebutuhan tanaman. Hal ini mendukung	Meskipun teknologi sensor spektral untuk menentukan status pasokan tanaman sudah matang, banyak petani masih belum menggunakan aplikasi laju variabel N karena alasan seperti biaya yang lebih tinggi, kerja ekstra, keraguan

			yang baik terhadap kalibrasi yang berbeda.	pertanian presisi dan membantu mengurangi kelebihan nitrogen yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan polusi.	kredibilitas, atau manfaat biaya.
15.	Estimasi pupuk optimal untuk hasil tanaman optimal dengan logika neuro fuzzy adaptif (Milovancevic et al. 2021).	Boris Kuzman	Tulisan ini memberikan hasil menarik terkait prediksi kuat geser struktur beton dengan beton serat kinerja tinggi menggunakan model ANFIS. Temuan utamanya adalah teridentifikasinya kombinasi optimal dua parameter yaitu "fosfor" dan "nitrogen" untuk prediksi pupuk yang dapat meningkatkan hasil panen. Meskipun ada perbedaan yang signifikan antara kesalahan pelatihan dan inspeksi, hal ini menunjukkan potensi overfitting yang harus diwaspadai.	Keunggulan utama paper ini adalah penggunaan metode ANFIS untuk prediksi yang lebih akurat dibandingkan regresi linier, serta memberikan wawasan tentang kombinasi parameter optimal untuk prediksi pupuk, yang membantu mengoptimalkan hasil panen dan mengurangi biaya.	Keterbatasan data pelatihan dan validasi model ANFIS dapat mempengaruhi generalisasi hasil dan keakuratan prediksi di berbagai kondisi. Validasi tambahan diperlukan untuk memastikan keandalan dan penerapan yang luas dari hasil penelitian ini.

## Hasil dan Pembahasan

Analisis literatur menunjukkan bahwa integrasi teknologi logika fuzzy dan Internet of Things (IoT) dalam berbagai aplikasi pertanian memberikan beberapa keuntungan signifikan. Penggunaan sensor cerdas dan logika fuzzy memungkinkan pengambilan keputusan secara real-time berdasarkan data sensor, sehingga meningkatkan kualitas dan hasil tanaman seperti jamur dan tulip. Selain itu, integrasi IoT memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengendalian parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan penyiraman tanaman. Hal ini menyederhanakan operasi pertanian dan meningkatkan produktivitas.

Namun meskipun ada banyak manfaat, beberapa tantangan perlu diatasi dalam penggunaan teknologi ini. Ketergantungan pada keakuratan dan keandalan sensor, serta pemahaman teknis yang diperlukan untuk menerapkan logika fuzzy dan IoT, dapat menjadi kendala bagi petani yang kurang berpengalaman. Selain itu, biaya awal yang tinggi untuk pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta ketergantungan pada koneksi internet yang stabil, juga menjadi hambatan dalam penerapan teknologi ini.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan sensor yang lebih akurat dan terjangkau, serta penyederhanaan sistem kontrol logika fuzzy dan IoT agar lebih mudah diterapkan oleh petani. Selain itu, perlu juga dikembangkan solusi untuk mengurangi biaya awal dan ketergantungan pada konektivitas internet yang stabil, sehingga teknologi ini dapat diadopsi lebih luas oleh masyarakat pertanian, terutama di daerah dengan infrastruktur terbatas. Dengan demikian, pengembangan teknologi ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian secara keseluruhan.

## Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis mengenai penggunaan logika fuzzy di sektor pertanian, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi logika fuzzy dan Internet of Things (IoT) telah memberikan beberapa keuntungan signifikan dalam berbagai aplikasi pertanian. Penggunaan sensor cerdas dan logika fuzzy memungkinkan pengambilan keputusan secara real-time berdasarkan data sensor, sehingga meningkatkan kualitas dan hasil tanaman seperti jamur dan tulip. Selain itu, integrasi IoT memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengendalian parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan penyiraman tanaman. Hal ini menyederhanakan operasi pertanian dan meningkatkan produktivitas.

Namun, meskipun ada banyak manfaat, beberapa tantangan perlu diatasi dalam penggunaan teknologi ini. Ketergantungan pada keakuratan dan keandalan sensor, serta pemahaman teknis yang diperlukan untuk menerapkan logika fuzzy dan IoT, dapat menjadi kendala bagi petani yang kurang berpengalaman. Selain itu, biaya awal yang tinggi untuk pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta ketergantungan pada koneksi internet yang stabil, juga menjadi hambatan dalam penerapan teknologi ini.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan sensor yang lebih akurat dan terjangkau, serta penyederhanaan sistem kontrol logika fuzzy dan IoT agar lebih mudah diterapkan oleh petani. Selain itu, perlu juga dikembangkan solusi untuk mengurangi biaya awal dan ketergantungan pada konektivitas internet yang stabil, sehingga teknologi ini dapat diadopsi lebih luas oleh masyarakat pertanian,

terutama di daerah dengan infrastruktur terbatas. Dengan demikian, pengembangan teknologi ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian secara keseluruhan.

## Daftar Pustaka

- Achite, Mohammed, Enes Gul, Nehal Elshaboury, Muhammad Jehanzaib, Babak Mohammadi, and Ali Danandeh Mehr. 2023. "An Improved Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Hydrological Drought Prediction in Algeria." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 131: 103451. doi:10.1016/j.pce.2023.103451.
- ADAK, M. Fatih. 2019. "Modeling of Irrigation Process Using Fuzzy Logic for Combating Drought." *Academic Perspective Procedia* 2(2): 229–33. doi:10.33793/acperpro.02.02.34.
- Adenugba, Favour, Sanjay Misra, Rytis Maskeliūnas, Robertas Damaševičius, and Egidijus Kazanavičius. 2019. "Smart Irrigation System for Environmental Sustainability in Africa: An Internet of Everything (IoE) Approach." *Mathematical Biosciences and Engineering* 16(5): 5490–5503. doi:10.3934/mbe.2019273.
- Arslankaya, Seher. 2023. "Comparison of Performances of Fuzzy Logic and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Estimating Employee Labor Loss." *Journal of Engineering Research* 11(4): 469–77. doi:10.1016/j.jer.2023.100107.
- Bang, Shivam, Rajat Bishnoi, Ankit Singh Chauhan, Akshay Kumar Dixit, and Indu Chawla. 2019. "Fuzzy Logic Based Crop Yield Prediction Using Temperature and Rainfall Parameters Predicted through ARMA, SARIMA, and ARMAX Models." In *2019 Twelfth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, IEEE, 1–6. doi:10.1109/IC3.2019.8844901.
- Bin, Li, Muhammad Shahzad, Hira Khan, Muhammad Mehran Bashir, Arif Ullah, and Muhammad Siddique. 2023. "Sustainable Smart Agriculture Farming for Cotton Crop: A Fuzzy Logic Rule Based Methodology." *Sustainability* 15(18): 13874. doi:10.3390/su151813874.
- Hayeri Yazdi, Susan, Maryam Robati, Saeideh Samani, and Fariba Zamani Hargalani. 2024. "Assessing the Sustainability of Groundwater Quality for Irrigation Purposes Using a Fuzzy Logic Approach." *Environmental and Sustainability Indicators* 22: 100342. doi:10.1016/j.indic.2024.100342.
- Heiß, Andreas, Dimitrios S. Paraforos, Galibjon M. Sharipov, and Hans W. Griepentrog. 2020. "Modelling and Simulation of a Fuzzy System for Site-Specific Nitrogen Fertilization." *IFAC-PapersOnLine* 53(2): 15790–95. doi:10.1016/j.ifacol.2020.12.208.
- Irwanto, Firdaus, Umar Hasan, Eric Saputra Lays, Ntivuguruzwa Jean De La Croix, Didacienne Mukanyiligira, Louis Sibomana, and Tohari Ahmad. 2024. "IoT and Fuzzy Logic Integration for Improved Substrate Environment Management in Mushroom Cultivation." *Smart Agricultural Technology* 7: 100427. doi:10.1016/j.atech.2024.100427.
- Krishnan, R. Santhana, E. Golden Julie, Y. Harold Robinson, S. Raja, Raghvendra Kumar, Pham Huy Thong, and Le Hoang Son. 2020. "Fuzzy Logic Based Smart Irrigation System Using Internet of Things." *Journal of Cleaner Production* 252: 119902. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119902.
- Li, Maona, Ruixiu Sui, Yangyang Meng, and Haijun Yan. 2019. "A Real-Time Fuzzy Decision Support System for Alfalfa Irrigation." *Computers and Electronics in Agriculture* 163: 104870. doi:10.1016/j.compag.2019.104870.

- Mallik, Santanu, Umesh Mishra, and Niladri Paul. 2021. "Groundwater Suitability Analysis for Drinking Using GIS Based Fuzzy Logic." *Ecological Indicators* 121: 107179. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107179.
- Milovancevic, Milos, Nebojša Denić, Bogdan Ćirković, Zoran Nešić, Marija Paunović, and Jelena Stojanović. 2021. "Prediction of Shear Debonding Strength of Concrete Structure with High-Performance Fiber Reinforced Concrete." *Structures* 33: 4475–80. doi:10.1016/j.istruc.2021.07.012.
- Minervini, Giuseppe, Rocco Franco, Maria Maddalena Marrapodi, Marco Di Blasio, Gaetano Isola, and Marco Ciccù. 2023. "Conservative Treatment of Temporomandibular Joint Condylar Fractures: A Systematic Review Conducted According to <sc>PRISMA</sc> Guidelines and the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions." *Journal of Oral Rehabilitation* 50(9): 886–93. doi:10.1111/joor.13497.
- Osuch, Andrzej, Ewa Osuch, Piotr Rybacki, Przemysław Przygodziński, Radosław Kozłowski, and Andrzej Przybylak. 2020. "A Decision Support Method for Choosing an Agricultural Machinery Service Workshop Based on Fuzzy Logic." *Agriculture* 10(3): 76. doi:10.3390/agriculture10030076.
- Oyounalsoud, Mhamd Saifaldeen, Mohamed Abdallah, Abdullah Gokhan Yilmaz, Mohsin Siddique, and Serter Atabay. 2023. "A New Meteorological Drought Index Based on Fuzzy Logic: Development and Comparative Assessment with Conventional Drought Indices." *Journal of Hydrology* 619: 129306. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.129306.
- Pacco, Honorato Ccalli. 2022. "Simulation of Temperature Control and Irrigation Time in the Production of Tulips Using Fuzzy Logic." *Procedia Computer Science* 200: 1–12. doi:10.1016/j.procs.2022.01.199.
- Page, Matthew J, Joanne E McKenzie, Patrick M Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C Hoffmann, Cynthia D Mulrow, Larissa Shamseer, et al. 2021. "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews." *BMJ*: n71. doi:10.1136/bmj.n71.
- Purcell, Warren, Thomas Neubauer, and Kevin Mallinger. 2023. "Digital Twins in Agriculture: Challenges and Opportunities for Environmental Sustainability." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 61: 101252. doi:10.1016/j.cosust.2022.101252.
- Puška, Adis, Miroslav Nedeljković, Sarfaraz Hashemkhani Zolfani, and Dragan Pamučar. 2021. "Application of Interval Fuzzy Logic in Selecting a Sustainable Supplier on the Example of Agricultural Production." *Symmetry* 13(5): 774. doi:10.3390/sym13050774.
- dos Reis, Júlio César, Geraldo Stachetti Rodrigues, Inácio de Barros, Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues, Rachael D. Garrett, Judson Ferreira Valentim, Mariana Y. T. Kamoj, et al. 2023. "Fuzzy Logic Indicators for the Assessment of Farming Sustainability Strategies in a Tropical Agricultural Frontier." *Agronomy for Sustainable Development* 43(1): 8. doi:10.1007/s13593-022-00858-5.
- Rethlefsen, Melissa L., Shona Kirtley, Siw Waffenschmidt, Ana Patricia Ayala, David Moher, Matthew J. Page, Jonathan B. Koffel, et al. 2021. "PRISMA-S: An Extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews." *Systematic Reviews* 10(1): 39. doi:10.1186/s13643-020-01542-z.
- Schiavon, Emma, Andrea Taramelli, and Antonella Tornato. 2021. "Modelling Stakeholder Perceptions to Assess Green Infrastructures Potential in Agriculture through Fuzzy Logic: A Tool for Participatory Governance." *Environmental Development* 40: 100671. doi:10.1016/j.envdev.2021.100671.
- Sharma, SA Bashir dan N. "Pendekatan Logika Fuzzy Untuk Peramalan Hasil Tanaman (Beras) Yang Akurat,."
- Sinha, Mukesh Kumar, and Rajesh Kumar Tiwari. 2024. "A Comprehensive Survey of Fuzzy Logic Utilization in Different Agricultural Sectors." *Journal of Statistics and Mathematical Engineering* 10(1): 1–7.

doi:10.46610/JOSME.2024.v10i01.001.

- Thomopoulos, Vasileios, Fotios Tolis, Taxiarchis-Foivos Blounas, Dimitrios Tsipianitis, and Angeliki Kavga. 2024. "Application of Fuzzy Logic and IoT in a Small-Scale Smart Greenhouse System." *Smart Agricultural Technology* 8: 100446. doi:10.1016/j.atech.2024.100446.
- Vemuri, Naveen, Naresh Thaneeru, and Venkata Manoj Tatikonda. 2023. "Smart Farming Revolution: Harnessing IoT for Enhanced Agricultural Yield and Sustainability." *Journal of Knowledge Learning and Science Technology ISSN: 2959-6386 (online)* 2(2): 143-48. doi:10.60087/jklst.vol2.n2.p148.
- Vijayakumar, Vinay, Yiannis Ampatzidis, John K. Schueller, and Tom Burks. 2023. "Smart Spraying Technologies for Precision Weed Management: A Review." *Smart Agricultural Technology* 6: 100337. doi:10.1016/j.atech.2023.100337.
- Wakchaure, Manas, B.K. Patle, and A.K. Mahindrakar. 2023. "Application of AI Techniques and Robotics in Agriculture: A Review." *Artificial Intelligence in the Life Sciences* 3: 100057. doi:10.1016/j.aillsci.2023.100057.
- Woźniak, Marcin, Józef Szczotka, Andrzej Sikora, and Adam Zielonka. 2024. "Fuzzy Logic Type-2 Intelligent Moisture Control System." *Expert Systems with Applications* 238: 121581. doi:10.1016/j.eswa.2023.121581.