PENERAPAN METODE FUZZY TSUKAMOTO UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT RISIKO KEBAKARAN LAHAN BERBASIS SENSOR

SHABRAN TRI MAULIYANSYAH
H1051211034

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

PENERAPAN METODE FUZZY TSUKAMOTO UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT RISIKO KEBAKARAN LAHAN BERBASIS SENSOR

SHABRAN TRI MAULIYANSYAH
H1051211034

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Rekayasa Sistem Komputer

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Kebakaran Lahan Berbasis Sensor
Nama Mahasiswa	: Shabran Tri Mauliyansyah
NIM	: H1051211034
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Tanggal Lulus	: 20 Juli 2026
SK Pembimbing	: 4266/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/15 Juli 2026
SK Penguji	: 4309/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/16 Juli 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.	Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.
NIP. 199206162022032014	NIP. 198607202015042001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs.	Irma Nirmala, S.T., M.T.
NIP. 198609222014041002	NIP. 198404052019032015

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.	Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.
NIP. 199206162022032014	NIP. 198607202015042001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIPA. 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Shabran Tri Mauliyansyah
NIM	: H1051211034
Program Studi/ Jurusan	: Rekayasa Sistem Komputer
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 20 Juli 2026



Shabran Tri Mauliyansyah

H1051211034

Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Kebakaran Lahan Berbasis Sensor

ABSTRAK

Kebakaran lahan merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi dan memiliki dampak terhadap lingkungan, kesehatan, serta perekonomian, sehingga diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan dan klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi sistem dalam mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran lahan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto berdasarkan data sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas, serta menerapkan metode tersebut pada sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan. Sistem dirancang menggunakan sensor suhu api (AMG8833), sensor suhu lingkungan (MAX6675), sensor kadar gas (MQ-2), mikrokontroler ESP32, serta sumber daya berbasis panel surya dan aki. Data hasil pembacaan sensor diolah menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto untuk menghasilkan nilai risiko kebakaran yang selanjutnya digunakan dalam menentukan klasifikasi tingkat risiko kebakaran berupa aman, waspada, dan bahaya, kemudian ditampilkan pada *website monitoring* secara *real-time*. Hasil pengujian klasifikasi menunjukkan bahwa sistem memperoleh nilai akurasi sebesar 92,5%, dengan nilai *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* secara keseluruhan sebesar 0,925, berdasarkan 40 data pengujian dengan 37 data yang memiliki hasil klasifikasi sesuai dengan hasil klasifikasi berdasarkan data alat pengukur referensi. Hasil pengujian penerapan metode Fuzzy Tsukamoto menunjukkan bahwa hasil perhitungan sistem sesuai dengan hasil perhitungan manual menggunakan *excel* berdasarkan data *input* yang sama. Dengan demikian, metode Fuzzy Tsukamoto dapat diterapkan pada sistem untuk menentukan tingkat risiko kebakaran lahan berdasarkan parameter suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas yang diperoleh dari sensor.

Kata Kunci: Kebakaran, Lahan, Klasifikasi, Fuzzy Tsukamoto, Sensor.

Implementation of the Fuzzy Tsukamoto Method for Sensor-Based Land Fire Risk Level Classification

ABSTRACT

Land fires are one of the recurring problems that have significant impacts on the environment, public health, and the economy. Therefore, a system capable of monitoring and classifying land fire risk levels is required. This study aims to evaluate the accuracy of a land fire risk level classification system using the Fuzzy Tsukamoto method based on fire temperature, ambient temperature, and gas concentration sensor data, as well as to implement the method in a land fire risk classification system. The system was developed using a fire temperature sensor (AMG8833), an ambient temperature sensor (MAX6675), a gas concentration sensor (MQ-2), an ESP32 microcontroller, and a solar panel and battery as the power supply. Sensor data were processed using the Fuzzy Tsukamoto method to generate a fire risk value, which was subsequently used to classify the land fire risk level into three categories: safe, alert, and danger. The classification test results showed that the system achieved an accuracy of 92.5%, with overall Precision, Recall, and F1-Score values of 0.925, based on 40 test samples, of which 37 classification results were consistent with the classification results obtained from reference measuring instruments. The implementation test of the Fuzzy Tsukamoto method also demonstrated that the system's calculation results were consistent with manual calculations performed in Microsoft Excel using the same input data. Therefore, the Fuzzy Tsukamoto method can be implemented in a system to determine land fire risk levels based on fire temperature, ambient temperature, and gas concentration parameters obtained from sensors.

Keywords: *Fire, Land, Classification, Fuzzy Tsukamoto, Sensors.*

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Kebakaran Lahan Berbasis Sensor" sebagai syarat bagi penulis untuk mendapatkan gelar Sarjana Komputer (S. Kom) pada Jurusan Rekayasa Sistem Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.

Semua hasil yang diperoleh ini tidak terlepas dari segala dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang tidak pernah berhenti mendorong penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai penghargaan dari penulis, izinkanlah penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi, dan kasih sayang tanpa henti sepanjang perjalanan serta mengiringi setiap langkah dari awal hingga tercapainya titik ini.
2. Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Hirzen Hasfani, S.Kom., M.Cs., selaku dosen pembimbing akademik yang sudah membimbing dan memberikan saran selama pelaksanaan perkuliahan berlangsung.
4. Ibu Kartika Sari, S.Kom, M.Cs., sebagai dosen pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing, memberikan nasehat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
5. Ibu Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs., sebagai dosen pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing, memberikan nasehat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs., sebagai dosen penguji pertama yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.
7. Ibu Irma Nirmala, S.T., M.T., sebagai dosen penguji kedua yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.

8. Kepada Siti Nurhasanah atas kesabaran, dukungan, semangat, dan segala bantuannya yang telah diberikan dalam berbagai hal yang tak ternilai serta sangat berarti untuk turut membantu terselesaikannya tugas akhir ini.
9. Kepada Irvando Aldo Renaldy, Primus Mario Andaka Ginting, Andy Wijaya, Dwifikus Jero, Dendi, Naufal Raihan Elriza, Ya' Rayhan Azka, dan Yessa Tria Anggraini senantiasa menemani, memberi semangat, dan selalu hadir saat dibutuhkan.
10. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam proses perkuliahan.
11. Semua pihak yang terlibat langsung maupun yang tidak langsung dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Pontianak, 20 Juli 2026



Shabran Tri Mauliyansyah

NIM. H1051211034

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK ..... **iii**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
PRAKATA ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR KODE PROGRAM ..... **xiv**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 6
1.3 Tujuan Penelitian 6
1.4 Batasan Masalah 6
1.5 Manfaat Penelitian 7
1.6 Sistematika Penulisan 7
BAB 2 LANDASAN TEORI **9**
2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu 9
2.2 ESP32 13
2.3 Sensor AMG8833 14
2.4 Sensor MAX6675 15
2.5 Sensor MQ-2 16
2.6 Modul LoRaWAN 16
2.7 *Solar Charge Controller* (SCC) 17
2.8 *Accumulator* (Aki) 18
2.9 DC-DC *Stepdown Converter* 18
2.10 Panel Surya 19
2.11 Arduino IDE 20
2.12 Fuzzy Tsukamoto 20
2.13 *Reference Standard* (Alat Pengukur Referensi) 21
2.14 *Confusion Matrix* 22

2.15 *Visual Studio Code* 23
2.16 *Website* 24
BAB 3 METODE PENELITIAN 25
3.1 Studi Literatur 25
3.2 Analisis Kebutuhan 26
3.3 Perancangan Sistem 27
3.4 Implementasi Sistem 27
3.5 Pengujian Sistem 28
3.6 Kesimpulan dan saran 29
BAB 4 PERANCANGAN 30
4.1 Deskripsi Sistem 30
4.2 Perancangan Arsitektur Sistem 31
4.3 Perancangan Perangkat Keras 33
4.3.1 *Transmitter* 34
4.3.2 Receiver 36
4.4 Perancangan Perangkat Lunak 37
4.4.1 Perancangan Perangkat Lunak pada ESP32 *Transmitter* 37
4.4.2 Perancangan Perangkat Lunak pada ESP32 *Receiver* 38
4.4.3 Perancangan Antarmuka *Website* 39
4.5 Perancangan Logika Fuzzy Tsukamoto 42
4.6 Perancangan Basis Data 49
4.5.1 Tabel data_sensor 50
4.5.2 Tabel data_amg_*pixels* 51
4.5.3 Tabel hasil_fuzzy 52
4.5.4 Tabel *rule*_aktif 53
4.5.5 Tabel agregasi_fuzzy 54
4.7 Perancangan Pengujian *Black Box* 56
BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 58
5.1 Implementasi Sistem 58
5.2 Implementasi Perangkat Keras 58
5.2.1 *Transmitter* 58
5.2.2 *Receiver* 59

5.3 Implementasi Perangkat Lunak 60
5.3.1 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard* 60
5.3.2 Implementasi Antarmuka Halaman *Real-time* Fuzzy *Analysis* ... 61
5.3.3 Implementasi Antarmuka Halaman *History* Fuzzy *Analysis* 62
5.3.4 Implementasi Antarmuka Halaman Statistik *Rule* Fuzzy 63
5.4 Kode Program 64
5.4.1 Kode Program *Transmitter* 64
5.4.2 Kode Program *Receiver* 68
5.4.3 Kode Program *Subcriber* MQTT 72
5.4.4 Kode Program *Backend* Perhitungan Fuzzy Tsukamoto 75
5.5 Pengujian 83
5.5.1 Pengujian Klasifikasi Fuzzy Tsukamoto 84
5.5.2 Pengujian Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto pada Sistem 91
5.5.3 Pengujian *Black Box* 96
5.6 Pembahasan 97
BAB 6 PENUTUP 100
6.1 Kesimpulan 100
6.2 Saran 100
DAFTAR PUSTAKA 102
LAMPIRAN 106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 ESP32 14
Gambar 2. 2 Sensor AMG8833 15
Gambar 2. 3 Sensor MAX6675 15
Gambar 2. 4 Sensor MQ-2 16
Gambar 2. 5 Modul LoRaWAN 17
Gambar 2. 6 *Solar Charge Controller* (SCC) 17
Gambar 2. 7 *Accumulator* (Aki) 18
Gambar 2. 8 DC-DC *Stepdown Converter* 19
Gambar 2. 9 Panel Surya 19
Gambar 3. 1 Diagram Metode Penelitian 25
Gambar 4. 1 Deskripsi Sistem 31
Gambar 4. 2 Perancangan Arsitektur Sistem 32
Gambar 4. 3 Diagram Alir Sistem 33
Gambar 4. 4 Perancangan Perangkat Keras *Transmitter* 36
Gambar 4. 5 Perancangan Perangkat Keras *Receiver* 37
Gambar 4. 6 Diagram Alir ESP32 *Transmitter* 38
Gambar 4. 7 Diagram Alir ESP32 *Receiver* 39
Gambar 4. 8 Antarmuka Halaman *Dashboard* 40
Gambar 4. 9 Antarmuka Halaman *Real-time* Fuzzy *Analysis* 40
Gambar 4. 10 Antarmuka Halaman *History* Fuzzy *Analysis* 41
Gambar 4. 11 Antarmuka Halaman *History* Fuzzy *Analysis* "Klik untuk detail" 41
Gambar 4. 12 Antarmuka Halaman Statistik *Rule* Fuzzy 42
Gambar 4. 13 Diagram Alir Fuzzy Tsukamoto 43
Gambar 4. 14 Grafik Keanggotaan Suhu Api 44
Gambar 4. 15 Grafik Keanggotaan Suhu Lingkungan 45
Gambar 4. 16 Grafik Keanggotaan Kadar Gas 46
Gambar 4. 17 Grafik Keanggotaan Tingkat Risiko Kebakaran 47
Gambar 5. 1 Implementasi Modul dan Sistem Sumber Daya *Transmitter* 59
Gambar 5. 2 Implementasi *Receiver* 60
Gambar 5. 3 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard* 61

Gambar 5. 4 Implementasi Antarmuka Halaman *Real-time* Fuzzy *Analysis* 61
Gambar 5. 5 Implementasi Antarmuka Halaman *History* Fuzzy *Analysis*..... 62
Gambar 5. 6 Implementasi Antarmuka Halaman *History* Fuzzy *Analysis* Bagian ”Klik untuk detail" 63
Gambar 5. 7 Implementasi Antarmuka Halaman Statistik *Rule* Fuzzy..... 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan dengan Penelitian 9
Tabel 4. 1 Konfigurasi Pin ESP32 dan Modul *Transmitter* 34
Tabel 4. 2 Konfigurasi Pin ESP32 dan Sistem Sumber Daya *Transmitter* 35
Tabel 4. 3 Konfigurasi Pin ESP32 dan Modul LoRaWAN pada *Receiver* 36
Tabel 4. 4 Variabel *Input* Suhu Api..... 44
Tabel 4. 5 Variabel *Input* Suhu Lingkungan 45
Tabel 4. 6 Variabel *Input* Kadar Gas..... 46
Tabel 4. 7 Variabel *Output* Tingkat Risiko Kebakaran..... 47
Tabel 4. 8 Basis Aturan Fuzzy 48
Tabel 4. 9 Tabel data_sensor..... 50
Tabel 4. 10 Tabel data_amg_*pixels*..... 51
Tabel 4. 11 Tabel hasil_fuzzy 52
Tabel 4. 12 Tabel *rule*_aktif..... 53
Tabel 4. 13 Tabel agregasi_fuzzy..... 55
Tabel 4. 14 Perancangan Pengujian *Black Box* 56
Tabel 5. 1 Pengujian Klasifikasi Fuzzy Tsukamoto..... 84
Tabel 5. 2 Hasil Pemetaan antara Klasifikasi Sistem dan Hasil Pengukuran Alat Pengukur Referensi 86
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Nilai TP, TN, FP, dan FN pada Masing-Masing Kategori..... 88
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Nilai *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* pada Masing-Masing Kategori beserta Nilai Keseluruhannya 90
Tabel 5. 5 Data *Input* Pengujian..... 91
Tabel 5. 6 Hasil Fuzzifikasi..... 92
Tabel 5. 7 *Rule* Aktif..... 93
Tabel 5. 8 Hasil Verifikasi Sistem..... 95
Tabel 5. 9 Representasi Hasil Penerapan Sistem..... 95
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Black Box* 96

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 5. 1 Inisialisasi *Library* dan Konfigurasi Pin 65
Kode Program 5. 2 Setup dan Inisialisasi Sistem 66
Kode Program 5. 3 Pembacaan Data dan Pengiriman Melalui LoRa 67
Kode Program 5. 4 Inisialisasi *Library* dan Konfigurasi Jaringan 68
Kode Program 5. 5 *Setup* dan Inisialisasi Komunikasi 69
Kode Program 5. 6 Penerimaan Data LoRa dan Publikasi ke MQTT 71
Kode Program 5. 7 Inisialisasi Koneksi *Database* dan MQTT 72
Kode Program 5. 8 Penerimaan dan Pemrosesan Data (*Callback* MQTT) 73
Kode Program 5. 9 Inisialisasi *Client* dan Eksekusi Program 75
Kode Program 5. 10 Inisialisasi Koneksi *Database* 75
Kode Program 5. 11 Definisi Fungsi Keanggotaan 76
Kode Program 5. 12 Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto 77
Kode Program 5. 13 Penyimpanan Hasil Fuzzy ke *Database* 80
Kode Program 5. 14 Proses Eksekusi *Real-time* 81

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran lahan merupakan peristiwa yang sering terjadi dan memberikan dampak luas terhadap lingkungan, kesehatan manusia, serta perekonomian. Peristiwa ini dapat menyebabkan kerusakan ekosistem, peningkatan polusi udara akibat asap, serta kerugian sosial dan ekonomi bagi masyarakat. Selain itu, kebakaran lahan juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim. Kebakaran lahan umumnya dipicu oleh adanya sumber api, suhu lingkungan yang tinggi, serta gas yang mudah terbakar (Astika et al., 2022).

Dalam upaya memantau kondisi kebakaran lahan, data yang diperoleh dari sensor perlu diolah untuk menentukan kondisi lingkungan. Proses pengolahan data tersebut dilakukan menggunakan metode klasifikasi yang bertujuan untuk mengelompokkan kondisi atau area yang terdampak kebakaran berdasarkan parameter lingkungan yang terukur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis kebakaran dilakukan dengan memanfaatkan teknik klasifikasi untuk mengelompokkan data berdasarkan karakteristik lingkungan yang diamati (Dwiasnati et al., 2021). Dalam penerapannya, berbagai metode klasifikasi digunakan, seperti *logistic regression*, *support vector machine*, *decision tree*, *k-nearest neighbor*, dan *random forest* dalam proses analisis data kebakaran lahan (Patil et al., 2024). Selain itu, pendekatan logika fuzzy juga dapat digunakan dalam proses klasifikasi. Penerapan metode Fuzzy Tsukamoto menunjukkan bahwa hasil pengolahan data melalui proses inferensi dan defuzzifikasi dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan kategori atau tingkat kondisi tertentu pada suatu sistem (Suana et al., 2024). Proses klasifikasi juga digunakan untuk membedakan kondisi kebakaran antara area yang mengalami kebakaran dan area yang tidak mengalami kebakaran (Hindarto, 2026).

Untuk mendukung proses pemantauan kondisi kebakaran lahan, berbagai sistem deteksi berbasis sensor telah dikembangkan untuk memperoleh data lingkungan secara *real-time*. Berdasarkan penelitian Implementasi Sistem *Internet*

of Things (IoT) Berbasis Energi Terbarukan untuk Deteksi Kebakaran, sistem dikembangkan menggunakan sensor AMG8833, DHT22, MQ2, dan MAX6675 yang terhubung dengan mikrokontroler untuk mendeteksi indikasi kebakaran berdasarkan parameter yang diukur. Sistem tersebut memanfaatkan panel surya dan aki sebagai sumber energi mandiri sehingga dapat beroperasi pada lokasi yang tidak memiliki akses jaringan listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan deteksi kebakaran, menampilkan data termal dalam bentuk citra 8×8 piksel, serta menyajikan hasil pemantauan melalui *website* (Renaldy et al., 2025).

Pengembangan sistem deteksi kebakaran hutan dan lahan juga dilakukan dengan memanfaatkan kombinasi sensor lingkungan dan sumber energi mandiri untuk mendukung operasional perangkat di lapangan. Berdasarkan penelitian Pengembangan Sistem *Internet of Things* (IoT) dengan LoRa (*Long Range*) dan Energi Surya untuk Deteksi Otomatis Kebakaran Hutan dan Lahan, sistem dirancang menggunakan sensor suhu, sensor api, dan sensor gas yang terhubung dengan mikrokontroler untuk memantau kondisi lingkungan. Sistem tersebut juga dilengkapi dengan panel surya dan aki sebagai sumber energi mandiri sehingga dapat digunakan pada lokasi yang tidak tersedia sumber listrik. Pada penelitian tersebut, sensor api digunakan untuk mendeteksi keberadaan api sebagai bagian dari proses pemantauan kondisi lingkungan, dengan keluaran berupa kondisi api terdeteksi atau tidak terdeteksi. Data yang diperoleh dari sensor digunakan untuk menunjukkan adanya indikasi kebakaran berdasarkan parameter yang diukur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan mendeteksi kebakaran berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Selain itu, penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan logika fuzzy untuk mengolah data yang diperoleh dari sensor dalam proses penentuan kondisi kebakaran (Saryendy et al., 2024).

Untuk mendukung proses klasifikasi kondisi kebakaran berdasarkan data yang diperoleh dari sensor, diperlukan metode pengolahan data yang mampu menangani ketidakpastian pada parameter lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah logika fuzzy, khususnya metode Fuzzy Tsukamoto. Berdasarkan penelitian Klasifikasi Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten

Bangkalan Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto, metode tersebut digunakan dalam proses klasifikasi tingkat kerawanan banjir berdasarkan parameter topografi wilayah, curah hujan, dan jumlah hari hujan. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa kondisi wilayah dapat dikelompokkan ke dalam kategori tingkat kerawanan tinggi, sedang, dan rendah berdasarkan parameter yang digunakan (Faisol et al., 2025). Selain itu, berdasarkan penelitian Klasifikasi Kualitas Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto, metode Fuzzy Tsukamoto digunakan dalam proses klasifikasi kualitas udara berdasarkan parameter pencemar udara yang dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode tersebut berhasil menghasilkan klasifikasi kualitas udara yang sesuai dengan hasil klasifikasi manual, dengan tingkat akurasi sistem mencapai 97% (Putra et al., 2023).

Penerapan metode Fuzzy Tsukamoto juga digunakan dalam proses penentuan tingkat risiko pada berbagai bidang. Berdasarkan penelitian Diagnosa Resiko Penyakit Jantung Menggunakan Logika Fuzzy Metode Tsukamoto, metode Fuzzy Tsukamoto digunakan untuk menentukan tingkat risiko penyakit jantung berdasarkan faktor-faktor risiko yang meliputi tekanan darah, gula darah, kolesterol, *body mass index* (BMI), dan riwayat penyakit jantung dalam keluarga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengelompokkan tingkat risiko penyakit jantung ke dalam tiga kategori, yaitu kecil, sedang, dan besar berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Hasil pengujian sistem juga menunjukkan tingkat akurasi sebesar 83% (Athiyah et al., 2021). Selain itu, penerapan metode Fuzzy Tsukamoto juga digunakan dalam pemantauan kualitas air sungai, di mana hasil pengolahan data digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi air ke dalam kategori *suitable* dan *not suitable* berdasarkan parameter kualitas air yang diukur (Insani et al., 2025). Metode yang sama juga digunakan untuk menentukan tingkat gangguan kesehatan mental mahasiswa sehingga menghasilkan kategori tingkat gangguan ringan, sedang, dan berat berdasarkan parameter yang dianalisis (Nawindah et al., 2021). Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto dapat digunakan untuk mengolah data yang memiliki ketidakpastian, sehingga hasil defuzzifikasi

yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan kategori atau tingkat kondisi tertentu berdasarkan parameter yang digunakan.

Dalam proses klasifikasi kebakaran lahan, penentuan rentang variabel lingkungan menjadi aspek penting dalam pembentukan fungsi keanggotaan fuzzy. Berdasarkan penelitian Pengembangan Sistem Deteksi Kebakaran Hutan Berbasis ESP32 dan Panel Surya Menggunakan Logika Fuzzy untuk Pemantauan Melalui Telegram, klasifikasi risiko kebakaran ditentukan menggunakan parameter suhu dan kadar gas yang direpresentasikan dalam bentuk variabel linguistik, fungsi keanggotaan fuzzy, basis aturan, serta variabel *output* tingkat risiko kebakaran. Pada variabel suhu, rentang 0–30°C dikategorikan sebagai suhu dingin, 25–65°C sebagai suhu panas, dan 60–100°C sebagai suhu sangat panas. Pada variabel kadar gas, rentang 0–500 ppm dikategorikan sebagai gas rendah, 300–900 ppm sebagai gas sedang, dan 700–1200 ppm sebagai gas tinggi. Sementara itu, variabel *output* tingkat risiko kebakaran dibagi menjadi tiga kategori, yaitu Aman dengan rentang 0–40%, Waspada dengan rentang 35–65%, dan Bahaya dengan rentang 60–100%. Rentang pada variabel *input* dan *output* tersebut membentuk daerah tumpang tindih (*overlapping*) antar kategori sehingga memungkinkan terjadinya transisi nilai pada proses inferensi fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran ke dalam kategori Aman, Waspada, dan Bahaya serta mengirimkan notifikasi peringatan dini melalui Telegram secara *real-time* dengan tingkat akurasi pengujian sebesar 100% (Azzahra et al., 2025). Meskipun penelitian tersebut menggunakan metode Mamdani, representasi variabel fuzzy, fungsi keanggotaan, variabel *output*, dan basis aturan yang digunakan tetap relevan karena menggambarkan hubungan antara parameter lingkungan dan tingkat risiko kebakaran lahan. Oleh karena itu, representasi variabel fuzzy, fungsi keanggotaan, variabel *output*, dan basis aturan pada penelitian tersebut dijadikan sebagai referensi dalam perancangan logika Fuzzy Tsukamoto pada penelitian ini.

Metode Fuzzy Tsukamoto digunakan untuk mengolah data yang diperoleh dari sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas berdasarkan variabel fuzzy, fungsi keanggotaan, dan basis aturan yang telah ditentukan untuk menghasilkan kondisi kebakaran. Metode ini diawali dengan proses fuzzifikasi untuk menentukan derajat keanggotaan setiap variabel *input*. Selanjutnya, proses inferensi dilakukan

menggunakan basis aturan fuzzy dalam bentuk *IF–THEN*. Pada metode Fuzzy Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton sehingga setiap aturan menghasilkan nilai keluaran tegas (*crisp*) berdasarkan nilai α-predikat yang diperoleh. Nilai keluaran dari seluruh aturan kemudian diproses melalui tahap defuzzifikasi menggunakan rata-rata terbobot untuk menghasilkan keluaran akhir (Maryam et al., 2021).

Di sisi lain, ketersediaan sumber energi menjadi faktor penting dalam mendukung operasional sistem pemantauan kebakaran lahan. Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena berada di wilayah garis khatulistiwa dan beriklim tropis sehingga memperoleh penyinaran matahari yang relatif tersedia sepanjang tahun. Kondisi tersebut menjadikan energi surya berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Selain itu, energi surya merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan yang terus didorong pengembangannya di Indonesia. Namun, dalam pemanfaatannya diperlukan sistem penyimpanan energi sebagai bagian dari sistem penyediaan energi listrik (Kharisma et al., 2024).

Pemanfaatan energi surya dalam sistem pemantauan kebakaran lahan telah diterapkan pada perangkat yang dilengkapi dengan sensor suhu, sensor asap, sensor api, dan mikrokontroler untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan melalui sistem komunikasi nirkabel untuk mendukung proses pemantauan kebakaran lahan. Dalam penerapannya, perangkat dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber energi mandiri sehingga dapat digunakan pada lokasi yang tidak tersedia sumber listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat mampu mendeteksi suhu tinggi, asap, dan api serta melakukan transmisi data hasil pemantauan sebagai bagian dari sistem deteksi kebakaran hutan dan lahan (Saryendy et al., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto untuk klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan berbasis sensor. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor lingkungan untuk memperoleh data suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas, serta memanfaatkan panel surya sebagai sumber daya utama dalam mendukung operasional perangkat. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diolah menggunakan metode Fuzzy

Tsukamoto untuk menentukan tingkat risiko kebakaran lahan. Melalui sistem tersebut, klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan dilakukan berdasarkan parameter yang diperoleh dari sensor sebagai bagian dari proses pemantauan kondisi kebakaran lahan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini, yaitu:

1. Berapa tingkat akurasi sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto berdasarkan data sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas yang dibandingkan dengan hasil klasifikasi menggunakan data dari alat pengukur referensi?
2. Bagaimana penerapan metode Fuzzy Tsukamoto pada sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tingkat akurasi sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto dengan membandingkan hasil klasifikasi sistem terhadap hasil klasifikasi menggunakan data dari alat pengukur referensi.
2. Menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto pada sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem hanya berfungsi untuk mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran lahan berdasarkan parameter lingkungan, bukan untuk pemadaman atau pengendalian kebakaran setelah terjadi.
2. Sistem hanya mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran lahan ke dalam tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya.

3. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas, sehingga tidak mencakup parameter lingkungan lain seperti kecepatan angin atau curah hujan.
4. Pengujian sistem dilakukan dalam kondisi simulasi kebakaran lahan skala terbatas, sehingga belum mencakup implementasi langsung pada area hutan dengan skala yang lebih luas dan kondisi lingkungan yang kompleks.
5. Sistem yang dibangun memiliki keterbatasan dalam jangkauan deteksi, sehingga hanya dapat mendeteksi potensi kebakaran yang berada dalam area cakupan sensor dan sesuai dengan arah pemantauan sensor yang digunakan.
6. Hasil klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan ditampilkan melalui *website*.
7. Penelitian ini tidak melakukan analisis khusus terhadap tingkat akurasi masing-masing sensor, melainkan berfokus pada akurasi hasil klasifikasi sistem secara keseluruhan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah menghasilkan sistem klasifikasi tingkat risiko kebakaran lahan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto berdasarkan data sensor suhu api, suhu lingkungan, dan kadar gas. Sistem yang dikembangkan dapat digunakan untuk mengolah data sensor menjadi informasi tingkat risiko kebakaran dalam kategori aman, waspada, dan bahaya. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam penerapan metode Fuzzy Tsukamoto pada sistem klasifikasi berbasis sensor, khususnya pada bidang pemantauan kebakaran lahan. Hasil klasifikasi yang diperoleh diharapkan dapat membantu proses pemantauan kondisi kebakaran lahan berdasarkan parameter lingkungan yang terukur.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 6 bab agar permasalahan dapat dijelaskan dan diuraikan untuk menyelesaikan penelitian ini. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang beberapa teori pendukung yang digunakan sebagai landasan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Adapun teori tersebut yaitu teori terkait ESP32, sensor AMG8833, sensor MAX6675, sensor MQ-2, modul LoRaWAN, *Solar Charge Controller* (SCC), *Accumulator* (Aki), DC-DC *Stepdown Converter,* panel surya, arduino IDE, Fuzzy Tsukamoto, *Reference Standard* (Alat Pengukur Referensi), *Confusion Matrix, Visual Studio Code*, dan *website*.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan uraian yang lebih rinci tentang metode penelitian dalam studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian sistem, serta kesimpulan dan saran.

BAB 4 PERANCANGAN

Bab ini berisikan tentang tahap perancangan dari sistem yang akan dibangun. Dalam perancangan sistem terdapat deskripsi sistem, perancangan arsitektur sistem, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perancangan logika Fuzzy Tsukamoto, perancangan basis data, dan perancangan pengujian *black box*.

BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang proses implementasi sistem yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Tahapan ini terdiri dari implementasi sistem, implementasi perangkat keras, implementasi perangkat lunak, kode program, pengujian, dan pembahasan dari sistem yang telah dibuat.

BAB 6 PENUTUP

Bab penutup merupakan bab yang membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran terhadap masalah yang belum terselesaikan untuk dapat diperbaiki dan dikembangkan pada penelitian berikutnya.