

**OPTIMASI FIS TSUKAMOTO DALAM MEMPREDIKSI
CURAH HUJAN DI KABUPATEN BANYUASIN
MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Program Strata-1 Pada
Jurusan Teknik Informatika*



Oleh:

Muhammad Rafi Akbar

NIM: 09021282025065

Jurusan Teknik Informatika

FAKULTAS ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

OPTIMASI FIS TSUKAMOTO DALAM MEMPREDIKSI CURAH HUJAN DI KABUPATEN BANYUASIN MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Oleh:

Muhammad Rafi Akbar
NIM: 09021282025065

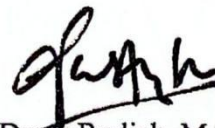
Indralaya, 21 Desember 2023

Pembimbing I,



Kanda Januar Miraswan, M.T.
NIP. 199001092019031012

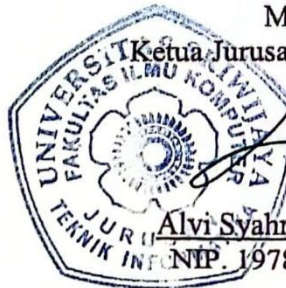
Pembimbing II,



Desy Rodiah, M.T.
NIP. 198912212020122011

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Informatika



Alvi Syahrini Utami, M.Kom.
NIP. 197812222006042003

TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF SKRIPSI


Pada hari Selasa tanggal 19 Desember 2023 telah dilaksanakan ujian komprehensif skripsi oleh Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya

Nama : Muhammad Rafi Akbar
NIM : 09021282025065
Judul : OPTIMASI FIS TSUKAMOTO DALAM MEMPREDIKSI
CURAH HUJAN DI KABUPATEN BANYUASIN
MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

dan dinyatakan LULUS.

1. Ketua Penguji

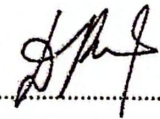
Yunita, M.Cs.
NIP. 198306062015042002



.....

2. Penguji

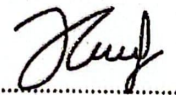
Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D.
NIP. 197802232006042002



.....

3. Pembimbing I

Kanda Januar Miraswan, M.T.
NIP. 199001092019031012



.....

4. Pembimbing II

Desty Rodiah, M.T.
NIP. 198912212020122011



.....

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika



Alvi Syahrini Utami, M.Kom.
NIP. 197812222006042003

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rafi Akbar

NIM : 09021282025065

Program Studi : Teknik Informatika Reguler

Judul Skripsi : Optimasi FIS Tsukamoto dalam Memprediksi Curah Hujan di
Kabupaten Banyuasin Menggunakan Algoritma Genetika

Hasil Pengecekan Turnitin: 5%

Menyatakan bahwa laporan skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi dari Akademik Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun.



Palembang, 19 Desember 2023



Muhammad Rafi Akbar
NIM. 09021282025065

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN

“Tetapkan visi dan misi, petakan dengan rapi, usahakan dengan gigih, lalu doakan dengan kesungguhan hati. Jika gagal, maka evaluasi. Itu saja! Semua yang ada di luar kendalimu tak usah kau hiraukan, sebab Tuhan pasti tanggung jawab dan menggantinya dengan yang lebih baik andai kata rencana itu tidak berjalan sebagaimana yang diinginkan. Jika tidak, bisa-bisa kau nanti cepat mati karena banyak pikiran.”

Kupersembahkan karya tulis ini kepada:

- ❖ Tuhanku ﷻ yang telah memberikan kemudahan, terlebih saat proses penulisan kode program yang menyiksa.
- ❖ Nabiku ﷺ tercinta, selawat serta salam selalu terlimpah kepadanya.
- ❖ Ayah dan Ibu beserta keluarga intiku.
- ❖ Tulang rusuk sekaligus separuh napasku yang kini masih hilang, namun kelak akan kutemukan dengan izin Tuhan.
- ❖ Keturunan-keturunanku kelak, jika Tuhan izinkan. Pesanku, jadilah manusia yang bermanfaat, bertakwa, serta menjaga nama baik keluarga Murafba.
- ❖ Sahabat senasib seperjuanganku.

ABSTRACT

Indonesia, as a tropical climate country with high rainfall, heavily relies on accurate rainfall predictions for various critical purposes, including water resource management and extreme weather impact mitigation. One commonly used method is the Tsukamoto Fuzzy Inference System (FIS). However, implementing the Tsukamoto FIS often leads to high error rates. This is attributed to the difficulty in determining the boundaries of fuzzy variable membership functions. To address this issue, this research proposes an innovative approach by optimizing the boundaries of fuzzy membership functions using Genetic Algorithms (GA). The study resulted in a 49.02% reduction in the error rate, decreasing from 76.82% to 27.8%. This method significantly enhances rainfall prediction accuracy and contributes to the advancement of more sophisticated prediction methods. The optimization method proposed in this study also holds potential for application across various atmospheric science contexts.

Keywords: *Error Rate, Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto, Fuzzy Membership Optimization, Genetic Algorithms, Rainfall Prediction*

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan curah hujan yang tinggi, sangat bergantung pada prediksi curah hujan untuk berbagai keperluan, termasuk manajemen sumber daya air dan mitigasi dampak cuaca ekstrem. Salah satu metode yang umum digunakan dalam prediksi adalah *Fuzzy Inference System* (FIS) Tsukamoto. Namun, penerapan FIS Tsukamoto seringkali menghasilkan tingkat kesalahan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena sulitnya menentukan batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy*. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan yang inovatif, yakni dengan mengoptimasi batas-batas fungsi keanggotaan variabel menggunakan Algoritma Genetika (GA). Hasil penelitian menunjukkan penurunan tingkat *error* sebesar 49,02%, turun dari 76,82% menjadi 27,8%. Metode ini memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan akurasi prediksi curah hujan serta berkontribusi dalam pengembangan metode prediksi yang lebih canggih. Selain itu, metode optimasi yang diusulkan dalam penelitian ini juga berpotensi digunakan dalam berbagai konteks ilmu atmosfer.

Kata Kunci: Algoritma Genetika, *Fuzzy Inference System* (FIS) Tsukamoto, Optimasi Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*, Prediksi Curah Hujan, Tingkat *Error*

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah ﷻ yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji syukur kepada-Nya ﷻ karena telah memberikan kemudahan dan keberkahan sehingga skripsi ini dapat dituntaskan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Strata-1 Fakultas Ilmu Komputer Program Studi Teknik Informatika Universitas Sriwijaya.

Tugas akhir ini dalam proses penyusunannya telah melibatkan banyak pihak sehingga penyusun perlu mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan tersebut, baik secara langsung maupun tidak langsung, baik secara morel maupun materiel.

1. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Alvi Syahrini Utami, M.Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Fasilkom Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Kanda Januar Miraswan, M.T. dan Ibu Desty Rodiah, M.T. selaku pembimbing skripsi pertama dan kedua yang telah membimbing, mengarahkan, serta memberikan motivasi kepada penyusun selama proses kegiatan perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
4. Bapak Dr. Muhammad Fachrurrozi, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang sudah memberikan bimbingan selama proses kegiatan perkuliahan sejak awal semester.
5. Ibu Yunita, M.Cs. selaku ketua dosen penguji dan Ibu Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D. selaku dosen penguji.
6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Informatika Fasilkom Unsri.
7. Seluruh staf tata usaha yang telah membantu dalam kelancaran proses administrasi dan akademik selama masa perkuliahan.
8. Muhammad Rizky Azizi, mahasiswa Fasilkom Teknik Informatika Unsri yang telah mengizinkan hasil penelitiannya untuk dirujuk dan diteruskan oleh penyusun.
9. Ayah dan Ibu, Mamat Slamet Sutisna, S.E. dan Qori'ah, S.ST., kakakku tercinta, dr. Annisa Chairani, waku tersayang, Yuliyati, serta keluarga inti yang telah memberikan doa dan berbagai dukungan.
10. Sahabat senasib seperjuangan, Muhammad Dwiki Wiguna, S.Tr.Gz., beserta teman-teman angkatan *kopit* Teknik Informatika Fasilkom Unsri tahun 2020.

Penyusun menyadari bahwa skripsi yang telah disusun masih memiliki banyak kekurangan disebabkan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, sehingga penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kemajuan penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa akhir selanjutnya dan diperbarui dengan metode penelitian yang lebih baik.

Indralaya, Desember 2023

Muhammad Rafi Akbar

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pendahuluan.....	I-1
1.2 Latar Belakang.....	I-1
1.3 Rumusan Masalah.....	I-5
1.4 Tujuan Penelitian.....	I-6
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
1.6 Batasan Masalah.....	I-7
1.7 Sistematika Penulisan.....	I-7
1.8 Kesimpulan.....	I-9
BAB II KAJIAN LITERATUR	
2.1 Pendahuluan.....	II-1
2.2 Landasan Teori	II-1

2.2.1	Curah Hujan.....	II-1
2.2.1.1	Kelembapan Udara.....	II-2
2.2.1.2	Temperatur Udara.....	II-2
2.2.1.3	Kecepatan Angin.....	II-3
2.2.1.4	Tekanan Udara.....	II-3
2.2.2	Logika <i>Fuzzy</i>	II-4
2.2.2.1	Himpunan <i>Fuzzy</i>	II-5
2.2.2.2	Fungsi Keanggotaan.....	II-6
2.2.2.3	Operator <i>Fuzzy</i>	II-13
2.2.2.4	<i>Fuzzy Inference System</i> (FIS).....	II-14
2.2.2.5	<i>Fuzzy Inference System</i> (FIS) Tsukamoto.....	II-16
2.2.3	Algoritma Genetika.....	II-18
2.2.3.1	Populasi Awal.....	II-20
2.2.3.2	Perhitungan <i>Fitness</i>	II-22
2.2.3.3	Seleksi Individu.....	II-22
2.2.3.4	<i>Crossover</i>	II-24
2.2.3.5	<i>Mutation</i>	II-25
2.2.4	Akurasi Prediksi.....	II-26
2.2.5	<i>Rational Unified Process</i> (RUP).....	II-27
2.3	Penelitian Lain yang Relevan.....	II-28
2.3.1	<i>Rainfall Prediction in Tengger Region Indonesia</i> <i>Using Tsukamoto Fuzzy Inference System</i>	II-28
2.3.2	<i>Rainfall Prediction in Tengger, Indonesia Using</i> <i>Hybrid Tsukamoto FIS and Genetic Algorithm</i> <i>Method</i>	II-29
2.3.3	Optimasi <i>Fuzzy</i> Tsukamoto dalam Memprediksi Curah Hujan di Kabupaten Banyuasin Menggunakan Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	II-30
2.3.4	Implementasi Algoritma Genetika dalam Penentuan Prioritas Kekumuhan Kelurahan di Kota Bengkulu.....	II-30
2.3.5	Analisis Perbandingan Akurasi Metode <i>Fuzzy</i>	

Tsukamoto dan <i>Fuzzy</i> Sugeno dalam Prediksi Penentuan Harga Mobil Bekas.....	II-31
2.4 Kesimpulan.....	II-32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan.....	III-1
3.2 Unit Penelitian.....	III-1
3.3 Pengumpulan Data.....	III-1
3.3.1 Jenis dan Sumber Data.....	III-2
3.3.2 Metode Pengumpulan Data.....	III-2
3.4 Tahapan Penelitian.....	III-2
3.4.1 Menetapkan Kerangka Kerja.....	III-3
3.4.1.1 <i>Fuzzy Inference System</i> dan Algoritma Genetika.....	III-3
3.4.1.2 Evaluasi.....	III-6
3.4.2 Menetapkan Kriteria Pengujiani.....	III-7
3.4.3 Menetapkan Format Data Pengujian.....	III-7
3.4.4 Menentukan Alat yang Digunakan dalam Pelaksanaan Penelitian.....	III-8
3.4.5 Melaksanakan Pengujian Penelitian.....	III-9
3.4.6 Analisis Hasil Pengujian dan Membuat Kesimpulan.....	III-10
3.5 Metode Pengembangan Perangkat Lunak.....	III-10
3.5.1 <i>Rational Unified Process</i> (RUP).....	III-10
3.5.1.1 Fase Insepsi.....	III-10
3.5.1.2 Fase Elaborasi.....	III-11
3.5.1.3 Fase Konstruksi.....	III-12
3.5.1.4 Fase Transisi.....	III-12
3.6 Manajemen Proyek Perangkat Lunak.....	III-13
3.7 Kesimpulan.....	III-17

BAB IV PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

4.1	Pendahuluan.....	IV-1
4.2	<i>Rational Unified Process</i> (RUP).....	IV-1
4.2.1	Fase Insepsi.....	IV-1
4.2.1.1	Pemodelan Bisnis.....	IV-1
4.2.1.2	Kebutuhan Sistem.....	IV-2
4.2.1.3	Analisis dan Desain.....	IV-4
4.2.1.3.1	Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak.....	IV-4
4.2.1.3.2	Analisis Data.....	IV-5
4.2.1.3.3	Analisis Pembangkitan Populasi Awal.....	IV-12
4.2.1.3.4	Analisis <i>Fuzzification</i>	IV-15
4.2.1.3.5	Analisis Inferensi.....	IV-17
4.2.1.3.6	Analisis <i>Defuzzification</i>	IV-23
4.2.1.3.7	Analisis Perhitungan Nilai MAPE.....	IV-25
4.2.1.3.8	Analisis Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	IV-26
4.2.1.3.9	Analisis Proses Seleksi <i>Parent</i>	IV-26
4.2.1.3.10	Analisis Fase <i>Crossover</i> dan <i>Mutation</i>	IV-27
4.2.1.3.11	Analisis Nilai <i>Fitness Offspring</i> Dan Seleksi <i>Elitism</i>	IV-31
4.2.1.3.12	Analisis Kondisi Berhenti.....	IV-32
4.2.1.3.13	Desain Perangkat Lunak.....	IV-32
4.2.2	Fase Elaborasi.....	IV-37
4.2.2.1	Pemodelan Bisnis.....	IV-38
4.2.2.1.1	Perancangan Data.....	IV-38
4.2.2.1.2	Perancangan Antarmuka.....	IV-38
4.2.2.2	Kebutuhan Sistem.....	IV-39
4.2.2.3	Diagram.....	IV-40
4.2.2.3.1	Diagram <i>Activity</i>	IV-40

4.2.2.3.2 Diagram <i>Sequence</i>	IV-42
4.2.3 Fase Konstruksi.....	IV-44
4.2.3.1 Kebutuhan Sistem.....	IV-45
4.2.3.2 Diagram Kelas.....	IV-45
4.2.3.3 Implementasi.....	IV-47
4.2.3.3.1 Implementasi Kelas.....	IV-47
4.2.3.3.2 Implementasi Antarmuka.....	IV-48
4.2.4 Fase Transisi.....	IV-49
4.2.4.1 Pemodelan Bisnis.....	IV-49
4.2.4.2 Kebutuhan Sistem.....	IV-49
4.2.4.3 Rencana Pengujian.....	IV-50
4.2.4.4 Implementasi.....	IV-51
4.3 Kesimpulan.....	IV-54

BAB V HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

5.1 Pendahuluan.....	V-1
5.2 Data Hasil Uji Penelitian.....	V-1
5.2.1 Konfigurasi Percobaan.....	V-1
5.2.2 Data Hasil Konfigurasi.....	V-3
5.2.2.1 Hasil Pengujian Metode FIS Tsukamoto Tanpa Optimasi.....	V-3
5.2.2.2 Hasil Pengujian Metode FIS Tsukamoto dan Algoritma Genetika.....	V-3
5.2.2.2.1 Hasil Pengujian Jumlah Iterasi.....	V-4
5.2.2.2.2 Hasil Pengujian Jumlah Populasi.....	V-5
5.2.2.2.3 Hasil Pengujian <i>Crossover Rate</i>	V-6
5.2.2.2.4 Hasil Pengujian <i>Mutation Rate</i>	V-8
5.3 Analisis Hasil Pengujian.....	V-9
5.3.1 Analisis Hasil Pengujian Prediksi Besaran Nilai Curah Hujan dengan FIS Tsukamoto.....	V-9
5.3.2 Analisis Hasil Pengujian Prediksi Besaran Nilai	

Curah Hujan Menggunakan FIS Tsukamoto dan Algoritma Genetika.....	V-10
5.3.3 Analisis Hasil Pengujian Prediksi Besaran Nilai Curah Hujan Menggunakan FIS Tsukamoto Tanpa Optimasi dan FIS Tsukamoto yang Dioptimasi dengan Algoritma Genetika serta Perbandingannya dengan Algoritma Optimasi <i>Artificial Bee Colony</i>	V-11
5.4 Kesimpulan.....	V-12

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Pendahuluan.....	VI-1
6.2 Kesimpulan.....	VI-1
6.3 Saran.....	VI-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel III-1. Rancangan Tabel Hasil Pengujian Jumlah Generasi.....	III-7
Tabel III-2. Rancangan Tabel Hasil Pengujian Jumlah Populasi.....	III-7
Tabel III-3. Rancangan Tabel Hasil Pengujian <i>Crossover Rate</i>	III-8
Tabel III-4. Rancangan Tabel Hasil Pengujian <i>Mutation Rate</i>	III-8
Tabel III-5. Tabel Rancangan Hasil Perbandingan Ketiga Metode.....	III-10
Tabel III-6. Jadwal Penelitian dalam Bentuk <i>Work Breakdown Structure (WBS)</i>	III-14
Tabel IV-1. Kebutuhan Fungsional Sistem.....	IV-3
Tabel IV-2. Kebutuhan Nonfungsional Sistem.....	IV-3
Tabel IV-3. <i>Data Set</i> Iklim.....	IV-5
Tabel IV-4. Interval Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Suhu.....	IV-6
Tabel IV-5. Interval Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Kelembapan Udara.....	IV-7
Tabel IV-6. Interval Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Tekanan Udara.....	IV-8
Tabel IV-7. Interval Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Kecepatan Angin.....	IV-10
Tabel IV-8. Interval Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel <i>Output</i> Curah Hujan.....	IV-11
Tabel IV-9. Fungsi Keanggotaan Pakar.....	IV-12
Tabel IV-10. Kromosom ke-1 yang Nilai-Nilai Gennya Dibangkitkan Acak.....	IV-15
Tabel IV-11. Kromosom ke-2 yang Nilai-Nilai Gennya Dibangkitkan Acak.....	IV-15
Tabel IV-12. Nilai Input.....	IV-16
Tabel IV-13. <i>Fuzzification</i> Input Suhu.....	IV-16
Tabel IV-14. <i>Fuzzification</i> Input Kelembapan Udara.....	IV-16
Tabel IV-15. <i>Fuzzification</i> Input Tekanan Udara.....	IV-17

Tabel IV-16. <i>Fuzzification</i> Input Kecepatan Angin.....	IV-17
Tabel IV-17. Basis Aturan Inferensi <i>Fuzzy</i>	IV-17
Tabel IV-18. Hasil Prediksi Curah Hujan dengan Fungsi Keanggotaan Pakar.....	IV-24
Tabel IV-19. Hasil Prediksi dengan Fungsi Keanggotaan Kromosom ke-1.....	IV-25
Tabel IV-20. Hasil Prediksi dengan Fungsi Keanggotaan Kromosom ke-2.....	IV-25
Tabel IV-21. Contoh Perhitungan Nilai Probabilitas dan Kumulatif Kromosom.....	IV-27
Tabel IV-22. Hasil dari Seleksi Cakram Rolet.....	IV-27
Tabel IV-23. Kromosom Anak K4 Hasil <i>Crossover</i> K1 dan K2.....	IV-29
Tabel IV-24. Kromosom K1 sebelum Dimutasi.....	IV-31
Tabel IV-25. Kromosom K1 setelah Dimutasi Menjadi K5.....	IV-31
Tabel IV-26. Seluruh Nilai <i>Fitness</i> Kromosom.....	IV-31
Tabel IV-27. Hasil Seleksi Elitis.....	IV-31
Tabel IV-28. Definisi Aktor.....	IV-33
Tabel IV-29. Definisi <i>Use Case</i>	IV-34
Tabel IV-30. Skenario <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Set</i>	IV-34
Tabel IV-31. Skenario <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Baru</i>	IV-36
Tabel IV-32. Implementasi Kelas.....	IV-47
Tabel IV-33. Rencana Pengujian <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Set</i>	IV-50
Tabel IV-34. Rencana Pengujian <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari Data Baru.....	IV-51
Tabel IV-35. Hasil Pengujian <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Set</i>	IV-52
Tabel IV-36. Hasil Pengujian <i>Use Case</i> Prediksi Curah Hujan dari Data Baru.....	IV-53
Tabel V-1. Hasil Prediksi Curah Hujan Metode FIS Tsukamoto.....	V-3
Tabel V-2. Hasil Pengujian Jumlah Iterasi.....	V-4

Tabel V-3. Hasil Pengujian Jumlah Populasi.....	V-6
Tabel V-4. Hasil Pengujian <i>Crossover Rate</i>	V-7
Tabel V-5. Hasil Pengujian <i>Mutation Rate</i>	V-8
Tabel V-6. Kromosom dengan MAPE Terendah.....	V-10
Tabel V-7. Perbandingan Nilai MAPE Hasil Prediksi pada Ketiga Metode.....	V-11

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar II-1. Representasi Linear Naik.....	II-7
Gambar II-2. Representasi Linear Turun.....	II-8
Gambar II-3. Representasi Kurva Segitiga.....	II-9
Gambar II-4. Representasi Kurva Trapesium.....	II-10
Gambar II-5. Kurva Pertumbuhan.....	II-11
Gambar II-6. Kurva Penyusutan.....	II-12
Gambar II-7. Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	II-14
Gambar II-8. FIS Tsukamoto.....	II-17
Gambar II-9. Ilustrasi Kromosom di dalam Populasi.....	II-19
Gambar II-10. Diagram Alir Algoritma Genetika.....	II-20
Gambar II-11. Representasi Kromosom Awal.....	II-21
Gambar II-12. Representasi Kromosom Terurut.....	II-21
Gambar II-13. Contoh <i>Extended Intermediate Crossover</i>	II-25
Gambar II-14. Contoh <i>Simple Random Mutation</i>	II-26
Gambar II-15. Model RUP.....	II-27
Gambar III-1. Diagram Tahapan Penelitian.....	III-3
Gambar III-2. <i>Flowchart</i> Kombinasi FIS Tsukamoto dan Algoritma Genetika.....	III-6
Gambar III-3. Tahapan Pengujian Penelitian.....	III-9
Gambar IV-1. Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu.....	IV-6
Gambar IV-2. Fungsi Keanggotaan Variabel Kelembapan Udara.....	IV-7
Gambar IV-3. Fungsi Keanggotaan Variabel Tekanan Udara.....	IV-9
Gambar IV-4. Fungsi Keanggotaan Variabel Kecepatan Angin.....	IV-10
Gambar IV-5. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan.....	IV-11
Gambar IV-6. Posisi Setiap Gen pada Fungsi Keanggotaan Suhu.....	IV-13
Gambar IV-7. Posisi Setiap Gen pada Fungsi Keanggotaan	

Kelembapan Udara.....	IV-13
Gambar IV-8. Posisi Setiap Gen pada Fungsi Keanggotaan Tekanan Udara.....	IV-14
Gambar IV-9. Posisi Setiap Gen pada Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin.....	IV-14
Gambar IV-10. Diagram <i>Use Case</i>	IV-33
Gambar IV-11. Rancangan Halaman <i>Home</i>	IV-39
Gambar IV-12. Rancangan Halaman <i>Manual Forecasting</i>	IV-39
Gambar IV-13. Diagram <i>Activity</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Set</i>	IV-41
Gambar IV-14. Diagram <i>Activity</i> Prediksi Curah Hujan dengan Data Baru.....	IV-42
Gambar IV-15. Diagram <i>Sequence</i> Prediksi Curah Hujan dari <i>Data Set</i>	IV-43
Gambar IV-16. Diagram <i>Sequence</i> Prediksi Curah Hujan dari Data Baru.....	IV-44
Gambar IV-17. Diagram Kelas Perangkat Lunak.....	IV-46
Gambar IV-18. Implementasi Rancangan Halaman <i>Home</i>	IV-48
Gambar IV-19. Implementasi Rancangan Halaman <i>Manual Forecasting</i>	IV-49
Gambar V-1. Grafik Rerata Nilai MAPE Pengujian Jumlah Iterasi.....	V-5
Gambar V-2. Grafik Rerata Nilai MAPE Pengujian Jumlah Populasi.....	V-6
Gambar V-3. Grafik Rerata Nilai MAPE Pengujian <i>Crossover Rate</i>	V-7
Gambar V-4. Grafik Rerata Nilai MAPE Pengujian <i>Mutation Rate</i>	V-9

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Iklim Kabupaten Banyuasin 2018-2022 (Azizi, 2022)
2. Pranala Kode Sumber Proyek *Rainfall Prediction App*
3. Akun LinkedIn Penyusun Tugas Akhir

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Bab ini membahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan masalah. Bab ini akan memberikan penjelasan umum mengenai keseluruhan penelitian.

1.2 Latar Belakang Masalah

Curah hujan merupakan salah satu unsur penting dalam iklim. Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang jatuh pada tempat yang datar dengan asumsi tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir ¹⁾. Banyaknya curah hujan yang terhitung dalam jangka waktu tertentu dinamakan intensitas curah hujan. Jika intensitasnya besar, berarti hujan deras terjadi. Keadaan ini membahayakan karena dapat menimbulkan longsor, banjir, dan dampak buruk lainnya.

Intensitas curah hujan di daerah tropis pada umumnya tinggi. Di Indonesia, persentase curah hujan bervariasi, yakni dalam rentang antara 8% hingga 37%, dengan rata-rata sebesar 22% (Mulyono, 2016). Curah hujan perlu diprediksi sebab ia memegang peranan yang begitu penting dalam kehidupan manusia. Prediksi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan berbagai perencanaan di berbagai bidang pada masa mendatang, seperti pengelolaan irigasi,

¹⁾ BMKG, "Daftar Istilah Klimatologi", Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III, 4 Mei, 2017, <https://bbmkg3.bmkg.go.id/daftar-istilah-musim>

pertanian, peternakan, perkebunan, mitigasi banjir, penerbangan, drainase perkotaan, pelabuhan, industri, dan lain sebagainya. Prediksi curah hujan memerlukan data iklim untuk memprediksi besaran nilai curah hujan yang akan terjadi ke depannya.

Ada beberapa metode prediksi curah hujan, seperti *multiple linear regression* (Yusuf, et al., 2022), logika *fuzzy* (Wahyuni, et al., 2016), *long short term memory* (Frecenta, et al., 2022), jaringan saraf tiruan (Arif, et al., 2012), dan metode-metode lainnya. Akan tetapi, pada penelitian ini digunakan metode prediksi berupa logika *fuzzy* (*fuzzy logic*). Logika *fuzzy* termasuk sebagai salah satu metode yang cukup sering digunakan dalam kasus *forecasting* oleh para peneliti karena metode ini sejatinya ditujukan untuk menganalisis masalah yang mengandung kekaburan atau ketidakpastian (*vagueness*).

Terdapat tiga teknik perhitungan atau *Fuzzy Inference System* (FIS) pada logika *fuzzy* yang paling sering dipakai dalam penelitian, yakni FIS Mamdani, FIS Takagi-Sugeno, dan FIS Tsukamoto. FIS Tsukamoto adalah metode inferensi yang waktu komputasinya cukup efisien, kalkulasi fleksibel, dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap data. Selain itu, metode ini memiliki keunggulan, yaitu lebih intuitif; diterima oleh banyak pihak; lebih cocok untuk input yang diterima dari manusia; dan dapat memberikan tanggapan berdasarkan informasi yang sifatnya kualitatif, tidak akurat, atau bahkan ambigu (Thamrin, 2012). Pada metode ini juga setiap konsekuen dengan *IF-THEN rule* direpresentasikan dengan suatu himpunan logika *fuzzy* dengan derajat keanggotaan yang monoton, sehingga *output* hasil inferensi setiap aturan diberikan secara tegas berdasarkan α -predikat.

Penelitian (Reynaldi, et al., 2021) mengenai perbandingan akurasi prediksi penentuan harga mobil bekas dengan menggunakan *fuzzy* Tsukamoto dan *fuzzy* Sugeno menunjukkan bahwa metode FIS Tsukamoto menghasilkan nilai *error* sebesar 8% dibandingkan dengan FIS Sugeno yang nilai *error*-nya sebesar 38%. Selain itu, penelitian lain tentang analisis ketiga metode inferensi dalam melakukan penghematan energi *air conditioner* menyatakan bahwa prediksi FIS Tsukamoto jauh lebih unggul daripada FIS Mamdani dan Sugeno, yakni nilai rata-rata efisiensi penghematannya sebesar 74,2775% (Saepullah & Wahono, 2015).

Metode inferensi Tsukamoto dalam praktiknya terkadang masih menghasilkan nilai *error* yang terlalu tinggi. Selain itu, terdapat parameter-parameter lain yang dapat memengaruhi nilai akurasi dari suatu prediksi pada FIS Tsukamoto, contohnya seperti batas nilai fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel, basis aturan inferensi *fuzzy*, jumlah data, kurva fungsi keanggotaan, dan lain sebagainya. Batas nilai fungsi keanggotaan dalam inferensi *fuzzy* sangat berpengaruh terhadap *output* dari perhitungan logika *fuzzy*. Parameter ini biasanya ditentukan oleh pakar. Namun, penentuan batas nilai keanggotaan oleh pakar dinilai masih belum menghasilkan solusi yang optimal. Penelitian (Azizi, 2022) yang menghitung nilai akurasi dari prediksi curah hujan yang batas nilai keanggotaannya ditentukan oleh pakar menunjukkan bahwa nilai *error* pada FIS Tsukamoto lebih dari 70%. Penelitian yang relevan (Paramitha, 2021) juga menyatakan bahwa metode FIS Tsukamoto hanya dapat menghasilkan tingkat akurasi sebesar 40% saja. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi terhadap batas nilai fungsi keanggotaan ini.

Terdapat banyak algoritma optimasi seperti *Artificial Bee Colony* (ABC), *Ant Colony Optimization* (ACO), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Genetic Algorithm* (GA), *Hill Climbing*, *Harmony Search* (HS), *Firefly Algorithm* (FA), dan lain sebagainya. Namun, pada penelitian ini akan digunakan algoritma optimasi berupa Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Penelitian (Josi, 2017) menyebutkan bahwa algoritma genetika memiliki kelebihan berupa mempercepat waktu proses, dapat diterapkan pada berbagai bahasa pemrograman, dan menghasilkan solusi yang lebih efektif. Sementara itu pendapat lain (Gen & Cheng, 1997) mengungkapkan bahwa kelebihan algoritma genetika dibandingkan algoritma pencarian lainnya terdapat pada komputasi matematis yang lebih sedikit sehingga waktu komputasi juga semakin efisien. Selain itu, operator-operator evolusi pada algoritma ini sangat efektif pada pencarian global dan algoritma ini memiliki fleksibilitas yang tinggi untuk dikombinasikan dengan metode pencarian lainnya supaya lebih efektif. Algoritma genetika juga termasuk sebagai algoritma yang populer. Studi yang mengoptimasi batas nilai derajat keanggotaan FIS Tsukamoto dengan algoritma genetika menyimpulkan bahwa algoritma optimasi ini berhasil mengurangi tingkat *error* prediksi hingga 26,45% (Wahyuni & Mahmudy, 2017). Lalu penelitian lain yang dilakukan (Paramitha, 2021) dalam menentukan kecukupan gizi pada pola makanan balita dengan FIS Tsukamoto dan algoritma genetika menunjukkan bahwa algoritma ini mampu meningkatkan nilai akurasi hasil prediksi sebesar 13,33%.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka metode FIS yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode FIS Tsukamoto yang batas nilai fungsi

keanggotaannya dioptimasi dengan menggunakan algoritma genetika. Penelitian ini akan merujuk penelitian yang dilakukan sebelumnya (Azizi, 2022) yang menggunakan algoritma optimasi berupa *Artificial Bee Colony* (ABC) pada FIS Tsukamoto.

Terdapat beberapa kebaruan (*novelty*) pada penelitian ini. Pertama, penelitian mengenai optimasi FIS Tsukamoto dengan algoritma genetika dalam memprediksi curah hujan di Kabupaten Banyuasin belum pernah dilakukan oleh mahasiswa Teknik Informatika Unsri sebelumnya. Data iklim yang digunakan juga relatif baru. Lalu, metode pembangkitan populasi awal, *crossover*, dan *mutation* yang digunakan berbeda seperti penelitian sebelumnya (Paramitha, 2021). Begitupula dengan fungsi keanggotaan pada variabel *output*-nya. Terakhir, metode seleksi algoritma genetika yang digunakan pada penelitian ini adalah seleksi cakram rolet (*roulette wheel selection*) dan elitis (*elitism*).

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, dapat dijabarkan pula beberapa pertanyaan terkait penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana implementasi dari algoritma genetika dalam mengoptimasi nilai batas fungsi keanggotaan pada metode FIS Tsukamoto untuk memprediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin?
2. Bagaimana pengaruh nilai kesalahan (*error*) prediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin menggunakan FIS Tsukamoto sebelum dan sesudah dioptimasi dengan menggunakan algoritma genetika?

3. Bagaimana hasil nilai kesalahan (*error*) prediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin menggunakan FIS Tsukamoto yang dioptimasi dengan algoritma genetika?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan perangkat lunak yang mengaplikasikan algoritma genetika dalam mengoptimasi FIS Tsukamoto untuk memprediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin.
2. Mengetahui pengaruh nilai kesalahan (*error*) hasil perhitungan FIS Tsukamoto sebelum dan sesudah dioptimasi dengan algoritma genetika dalam memprediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin.
3. Mengetahui hasil nilai kesalahan (*error*) prediksi besaran nilai curah hujan menggunakan perhitungan FIS Tsukamoto yang dioptimasi dengan algoritma genetika.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat-manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membantu petugas BMKG setempat dalam memprediksi curah hujan di Kabupaten Banyuasin.
2. Membantu masyarakat setempat dalam mengetahui prediksi curah hujan di Kabupaten Banyuasin.

3. Memberikan pengetahuan dan pemahaman kepada mahasiswa ilmu komputer atau para peneliti terhadap pengaruh algoritma genetika dalam optimasi batas nilai fungsi keanggotaan FIS Tsukamoto serta perbandingannya dengan algoritma ABC.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Azizi, 2022).
2. Data yang digunakan adalah data iklim, yang terdiri dari atribut suhu, tekanan udara, kecepatan angin, dan kelembapan udara di Kabupaten Banyuasin per bulan dari Januari 2018 hingga Desember 2022.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. KAJIAN LITERATUR

Bab ini berisi teori-teori yang digunakan untuk memahami permasalahan yang dibahas pada penelitian ini, seperti penjelasan mengenai curah hujan, logika samar, FIS Tsukamoto, serta algoritma optimasi genetika. Selain itu, terdapat teori mengenai metode pengembangan perangkat lunak *Rational*

Unified Process (RUP) dan ditutup dengan pemaparan tentang kajian literatur lain yang relevan dengan penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan mengenai data yang digunakan dalam penelitian dan tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini. Masing-masing rencana tahapan penelitian diuraikan dengan rinci, mengacu pada suatu kerangka kerja. Pada akhir bab, akan diuraikan perancangan manajemen proyek untuk pelaksanaan penelitian.

BAB IV. PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

Bab ini membahas mengenai tahapan pengembangan perangkat lunak yang akan digunakan sebagai alat penelitian, mulai dari penentuan kebutuhan fungsional dan nonfungsional hingga perencanaan *testing*.

BAB V. HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Bab ini memaparkan tentang hasil dan analisis yang didapatkan dari proses pengujian berdasarkan skenario-skenario yang telah ditentukan dengan menggunakan alat penelitian berupa aplikasi yang telah dikembangkan sebelumnya.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan hasil penelitian yang didapatkan secara rinci serta memberikan saran-saran terkait penelitian yang dapat dilakukan ke depannya.

1.8 Kesimpulan

Bab ini telah membahas mengenai penelitian yang akan dilaksanakan, yakni memprediksi besaran nilai curah hujan di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan, menggunakan metode FIS Tsukamoto yang nilai batas keanggotaannya dioptimasi dengan menggunakan algoritma optimasi berupa algoritma genetika. Proses penelitian akan dilaksanakan dengan mengembangkan perangkat lunak yang akan mengetahui perbandingan nilai akurasi hasil prediksi. Adapun data yang digunakan adalah data iklim (Azizi, 2022). Selanjutnya, teori-teori yang berkaitan dengan penelitian akan dibahas di bab kedua.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, F.M. et al. (2012). "Analisa Data Curah Hujan Stasiun Klimatologi Semarang dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan". *Berkala Fisika*, 15(1): 21-26.
- Arkeman, Y., K.B. Seminar., & H. Gunawan. (2012). *Algoritma Genetika: Teori dan Aplikasinya untuk Bisnis dan Industri*. IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Azizi, M.R. (2022). *Optimasi Fuzzy Tsukamoto dalam Memprediksi Curah Hujan di Kabupaten Banyuasin Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony*. Skripsi Program Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya (tidak dipublikasikan).
- Cox, E. (1994). *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. Academic Press Professional, Massachusetts, USA.
- Dennis, A., B.H. Wixom., & R.M. Roth. (2012). *System Analysis and Design*. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Ernawati., R. Jumiyanti, & R. Effendi. (2019). "Implementasi Algoritma Genetika dalam Penentuan Prioritas Kekumuhan Kelurahan di Kota Bengkulu". *Seminar Nasional APTIKOM (SEMNASTIK)*, 426-433.
- Frecenta, H., E.Y. Puspaningrum., & H. Maulana. (2022). "Prediksi Curah Hujan di Kabupaten Malang Menggunakan LSTM (Long Short Term Memory)". *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi (JIFoSI)*, 3(1): 51-55.
- Gen, M. & R. Cheng. (1997). *Genetic Algorithms & Engineering Design*. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Handoyo, S. & P.S. Prasajo. (2017). *Sistem Fuzzy Terapan dengan Software R*. UB Press, Malang, Indonesia.
- Haupt, R.L. & S.E. Haupt. (2004). *Practical Genetic Algorithms (2nd Edition)*. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Hutahaean, D.J., N.H. Wardani., & W. Purnomo. (2019). "Pengembangan Sistem Informasi Penyewaan Gedung Berbasis Web dengan Metode Rational Unified Process (RUP)". *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(6): 5789-5798.

- Iswanto. (2018). *Mengenal Cuaca dan Iklim di Indonesia*. Pakar Raya, Bandung, Indonesia.
- Josi, A. (2017). "Implementasi Algoritma Genetika pada Aplikasi Penjadwalan Perkuliahan Berbasis Web dengan Mengadopsi Model Waterfall". *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT (JPIT)*, 2(2): 77-83.
- Kruchten, P. (2004). *The Rational Unified Process: an Introduction*. Addison-Wesley Professional, Boston, USA.
- Kusumadewi, S. & H. Purnomo. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- Kusumadewi, S. & S. Hartati. (2010). *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- Kotimah, Q., W.F. Mahmudy., & V.N. Wijyaningrum. (2017). "Optimization of Fuzzy Tsukamoto Membership Function Using Genetic Algorithm to Determine the River Water". *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 7(5): 2838-2846.
- Makridakis, S. (1993). "Accuracy measures: theoretical and practical concerns". *International Journal of Forecasting*, 9(4): 527-529.
- Mulyono, D. (2016). "Analisis Karakteristik Curah Hujan di Wilayah Kabupaten Garut Selatan". *Jurnal Konstruksi*, 13(1): 1-9.
- Mühlenbein, H., & D. Schlierkamp-Voosen. (1993). "Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm I. Continuous Parameter Optimization". *Evolutionary Computation*, 1(1): 25-49.
- Nasir, A.A. et al. (2017). *Klimatologi Dasar*. IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Paramitha, P. (2021). *Optimasi Derajat Keanggotaan Fuzzy Tsukamoto Menggunakan Genetic Algorithm untuk Menentukan Kecukupan Gizi pada Pola Makanan Balita*. Skripsi Program Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya (tidak dipublikasikan).
- Rahmawati, D. et al. (2021). *Sistem Kendali Logika Fuzzy dan Aplikasinya*. MNC Publishing, Malang, Indonesia.
- Reynaldi., W. Syafrizal., & M.F.A. Hakim. (2021). "Analisis Perbandingan Akurasi Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno dalam Prediksi Penentuan Harga Mobil Bekas". *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2): 73-80.

- Rufaida, A.D. (2011). *Mengenal Cuaca & Iklim*. Penerbit Cempaka Putih, Klaten, Indonesia.
- Rusli, M. (2017). *Dasar Perancangan Kendali Logika Fuzzy*. UB Press, Malang, Indonesia.
- Saepullah, A., & R.S. Wahono. (2015). "Comparative Analysis of Mamdani, Sugeno, And Tsukamoto Method of Fuzzy Inference System for Air Conditioner Energy Saving". *Journal of Intelligent Systems*, 1(2): 143-147.
- Sujarwata. (2018). *Buku Ajar Sistem Fuzzy dan Aplikasinya*. Deepublish, Yogyakarta, Indonesia.
- Thamrin, F. (2012). *Studi Inferensi Fuzzy Tsukamoto untuk Penentuan Faktor Pembebanan Trafo PLN*. Tesis Program Sistem Informasi Sekolah Pasca Sarjana Universitas Diponegoro (tidak dipublikasikan).
- Wahyuni, I., W.F. Mahmudy., & A. Iriany. (2016). "Rainfall Prediction in Tengger Region Indonesia using Tsukamoto Fuzzy Inference System". *2016 1st International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 130-135.
- Wahyuni, I., & W.F. Mahmudy. (2017). "Rainfall Prediction in Tengger Indonesia Using Hybrid Tsukamoto FIS and Genetic Algorithm". *Journal of ICT Research and Applications*, 11(1): 38-55.
- Wahyuni, I., & F.A. Ahda. (2018). "Pemodelan Fuzzy Inference System Tsukamoto untuk Prediksi Curah Hujan Studi Kasus Kota Batu". *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 12(2): 115-124.
- Wijayaningrum, V.N. (2021). *Konsep dan Penerapan Algoritma Genetika*. Syiah Kuala University Press, Banda Aceh, Indonesia.
- Wilson, E.M. (1990). *Engineering Hydrology (4th Edition)*. Macmillan, London, UK.
- Yusuf, M., A. Setyanto., & K. Aryasa. (2022). "Analisis Prediksi Curah Hujan Bulanan Wilayah Kota Sorong Menggunakan Metode Multiple Regression". *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, 6(1): 405-417.
- Zukhri, Z. (2014). *Algoritma Genetika: Metode Komputasi Evolusioner untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi*. Penerbit Andi, Yogyakarta, Indonesia.