

**IMPLEMENTASI METODE *HYBRID FUZZY MAMDANI MULTI-STAGE*
DAN *IMPROVED ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA PENGATURAN
LAMPU LALU LINTAS**

(Studi Kasus di Simpang Jalan Bypass Kota Cirebon)

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Matematika*



Disusun oleh:

Devi Dwi Andriyani

NIM. 2109117

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

LEMBAR HAK CIPTA

IMPLEMENTASI METODE *HYBRID FUZZY MAMDANI MULTI-STAGE* DAN *IMPROVED ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS (Studi Kasus di Simpang Jalan Bypass Kota Cirebon)

Oleh:

Devi Dwi Andriyani

2109117

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana
Matematika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Devi Dwi Andriyani 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

Juni 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

DEVI DWI ANDRIYANI

**IMPLEMENTASI METODE *HYBRID FUZZY MAMDANI MULTI-STAGE*
DAN *IMPROVED ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA PENGATURAN
LAMPU LALU LINTAS
(Studi Kasus di Simpang Jalan Bypass Kota Cirebon)**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing,

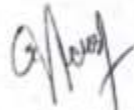
Pembimbing I



Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si.

NIP. 197711282008122001

Pembimbing II

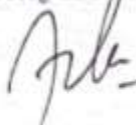


Dra. Encum Sumiaty, M.Si.

NIP. 196304201989032002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Kartika Yulianti, S.Pd., M.Si.

NIP. 198207282005012001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Implementasi Metode *Hybrid Fuzzy Mamdani Multistage* dan *Improved Ant Colony Optimization* untuk Pengaturan Fase dan Kendali Lalu Lintas" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar merupakan karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat akademik.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan atau adanya klaim dari pihak lain atas keaslian karya ini, saya bersedia menanggung segala konsekuensi yang timbul.

Bandung, Juni 2025

Devi Dwi Andriyani

NIM. 2109117

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Metode Hybrid Fuzzy Mamdani Multistage dan Improved Ant Colony Optimization untuk Pengaturan Fase dan Kendali Lalu Lintas”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika pada Program Studi Matematika, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bantuan dan dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si. dan Ibu Dra. Encum Sumiaty, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penulisan skripsi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua dan keluarga atas segala doa dan dukungan moral yang tak henti-hentinya. Tak lupa juga, terima kasih kepada teman-teman dan semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan ke depan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sistem cerdas dan pengendalian lalu lintas.

Bandung, Juni 2025

Devi Dwi Andriyani

NIM. 2109117

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, nikmat, serta kekuatan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Perjalanan ini tentu tidak lepas dari dukungan, doa, dan bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas kesehatan, ketenangan hati, dan jalan yang selalu diberikan hingga penulis mampu menyelesaikan studi dengan lancar.
2. Rektor Universitas Pendidikan Indonesia, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas bagi penulis dalam menempuh pendidikan di lingkungan kampus ini.
3. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, atas dukungan dan arahnya selama penulis menempuh studi di fakultas ini.
4. Ibu Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I, dan Ibu Dra. Encum Sumiaty, M.Si. selaku dosen pembimbing II, yang telah dengan sabar membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan skripsi ini.
5. Dosen penguji skripsi, yang telah memberikan masukan dan saran berharga untuk penyempurnaan hasil penelitian ini.
6. Ketua Program Studi Matematika, atas dukungan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
7. Ibu Hj. Dewi Rachmatin, S.Si., M.Si. selaku dosen wali, yang telah memberikan arahan dan perhatian selama penulis menjalani studi.
8. Kepala Dinas Perhubungan Kota Cirebon beserta seluruh staf, atas bantuan, kerjasama, dan izin yang diberikan kepada penulis dalam pengambilan data pada lokasi penelitian.
9. Kedua orang tua saya, Bapak Iman dan Ibu Nova, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup saya. Meskipun mereka tidak sempat merasakan bangku perkuliahan, namun selalu berjuang dan berkorban agar anak perempuannya ini bisa menempuh pendidikan setinggi-tingginya. Terima kasih atas kasih sayang, doa yang tak pernah putus, serta segala perhatian dan pengorbanan

yang tak ternilai. Semoga Ayah dan Mamah selalu sehat, panjang umur, dan bahagia.

10. Kepada kakak saya Ivan dan istrinya Winarti, terima kasih atas dukungan moral maupun materi, serta motivasi dan semangat yang terus diberikan kepada penulis hingga berhasil menyelesaikan studi sampai tahap akhir ini.
11. Teman-teman seperjuangan Matematika D21, yang telah menjadi teman berbagi suka dan duka selama perkuliahan, saling mendukung, dan memberi semangat di setiap proses yang kita lalui bersama.
12. Kepada pasangan saya, Ari Prasetyo, yang di tengah kesibukannya menjalankan tugas negara di tanah Papua, tetap menyempatkan waktu untuk memberikan dukungan, menemani dari jauh, dan menjadi sumber semangat tersendiri bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas segala pengertian, perhatian, dan doa yang selalu menyertai selama ini.
13. Untuk diri saya sendiri, Devi Dwi Andriyani, terima kasih sudah bertahan sampai sejauh ini. Terima kasih karena tidak menyerah saat semuanya terasa berat. Terima kasih karena tetap kuat meski dalam tekanan, tetap berjalan walau sering lelah, dan tetap rendah hati di tengah pencapaian ini. Ini bukan akhir, tapi awal dari perjalanan yang lebih besar. Tetap semangat, dan yakin bahwa semua yang sudah dijalani tidak sia-sia.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas masalah pengaturan lampu lalu lintas pada simpang empat, yang bertujuan untuk mengurangi kemacetan melalui pengaturan durasi lampu hijau yang lebih adaptif terhadap kondisi lalu lintas. Permasalahan ini diselesaikan menggunakan pendekatan hybrid, yaitu dengan menggabungkan metode Fuzzy Mamdani Multi-Stage dan algoritma Improved Ant Colony Optimization (IACO). Sistem fuzzy digunakan untuk menentukan prioritas fase dan tambahan durasi hijau berdasarkan data seperti panjang antrian, lama antrian, dan jumlah kendaraan tersisa. Sementara itu, algoritma IACO diimplementasikan untuk mengoptimalkan durasi hijau secara numerik, dengan meminimalkan total waktu tunggu kendaraan. Setiap semut dalam populasi merepresentasikan solusi kandidat berupa kombinasi durasi hijau, yang kemudian diperbaiki menggunakan proses mutasi dan local search sebelum iterasi dihentikan. Hasil implementasi menunjukkan bahwa kombinasi metode fuzzy dan IACO mampu menghasilkan pengaturan lampu lalu lintas yang lebih efisien dibandingkan metode statis. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan nilai parameter jejak feromon yang lebih besar dibandingkan dengan visibilitas jalur dalam algoritma IACO memberikan hasil probabilitas solusi terbaik yang lebih tinggi, sehingga memperkuat efektivitas pendekatan hybrid dalam sistem pengendalian lalu lintas.

Kata Kunci: *Fuzzy Mamdani, Multi-stage, Improved Ant Colony Optimization, Lampu Lalu Lintas, Optimasi.*

ABSTRACT

This research addresses the issue of traffic light control at a four-way intersection, aiming to reduce congestion by adjusting the green light duration to be more adaptive to traffic conditions. The problem is addressed using a hybrid approach, which combines the Multi-Stage Fuzzy Mamdani method with the Improved Ant Colony Optimization (IACO) algorithm. The fuzzy system is used to determine phase priorities and additional green time based on input data such as queue length, queue duration, and the number of remaining vehicles. Meanwhile, the IACO algorithm is applied to numerically optimize the green light duration by minimizing the total vehicle waiting time. Each ant in the population represents a candidate solution in the form of a green duration combination, which is refined through mutation and local search processes before the iteration ends. The implementation results show that the combination of the fuzzy method and IACO produces more efficient traffic light control compared to static methods. The study also indicates that assigning a greater weight to the pheromone trail parameter than to the path visibility in the IACO algorithm results in a higher probability of finding the optimal solution. This reinforces the effectiveness of the hybrid approach in traffic control systems.

Keywords: Fuzzy Mamdani, Multi-stage, Improved Ant Colony Optimization, Traffic Light, Optimization.

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Lalu Lintas	5
2.1.1 Persimpangan Jalan.....	5
2.1.2 Jenis-jenis Persimpangan Jalan	6
2.1.3 Bentuk Gerak pada Persimpangan Jalan	7
2.1.4 Titik Konflik pada Persimpangan jalan.....	9
2.1.5 Pengendalian Persimpangan	9
2.2 Logika <i>Fuzzy</i>	10
2.2.1 Himpunan <i>Crisp</i> (tegas)	10
2.2.2 Himpunan <i>Fuzzy</i>	11
2.2.3 Fungsi Keanggotaan.....	13
2.2.4 Semesta Pembicaraan.....	16
2.2.5 Domain.....	16
2.3 Operasi Dasar <i>Fuzzy Set</i>	16
2.3.1 Operator AND	17
2.3.2 Operator OR.....	17
2.3.3 Operator NOT	18
2.4 <i>Fuzzy Inference System</i>	18
2.4.1 <i>Fuzzy Tsukamoto</i>	19
2.4.2 <i>Fuzzy Sugeno</i>	19
2.4.3 <i>Fuzzy Mamdani</i>	20
2.5 Metode <i>Fuzzy Tsukamoto Multi-Stage</i>	21

2.5.1	Metode Fuzzy Tsukamoto	21
2.5.2	Metode Fuzzy Multi-Stage.....	22
2.6	Kelebihan dan Kekurangan Metode.....	23
2.7	Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	23
2.8	Algoritma <i>Improved Ant Colony Optimization (IACO)</i>	26
2.9	Penelitian Terdahulu.....	27
3.1	Deskripsi Masalah.....	29
3.2	Tahapan Penelitian	30
3.3	Asumsi dan Istilah.....	31
3.5	Teknik Penyelesaian.....	36
3.5.1	Logika <i>Fuzzy Mamdani Multi-Stage</i>	37
3.5.2	Algoritma <i>Improved Ant Colony Optimization</i>	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Contoh Kasus	48
4.2	Validasi.....	69
4.3	Implementasi.....	70
4.3.1	Data Penelitian	71
4.3.2	Penentuan Fase Lalu Lintas dengan Menggunakan <i>Fuzzy Mamdani Multistage (Fuzzy Tahap 1: Fuzzy Urgensi)</i>	76
4.3.3	Penentuan Tambahan Hijau dengan Menggunakan <i>Fuzzy Mamdani Multistage (Fuzzy Tahap 1: Fuzzy Tambah Hijau)</i>	81
4.3.4	Penentuan Keputusan dengan Menggunakan <i>Fuzzy Mamdani Multistage (Fuzzy Tahap 3: Fuzzy Keputusan)</i>	85
4.3.5	Hasil Implementasi <i>Fuzzy Multi-Stage</i>	87
4.3.6	Hasil Implementasi IACO.....	88
4.3.7	Analisis Parameter IACO.....	92
BAB V		95
KESIMPULAN DAN SARAN.....		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA.....		97
LAMPIRAN.....		99

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Aturan Fuzzy	42
Tabel 4. 1 Data Contoh Kasus.....	49
Tabel 4. 2 Komponen Dasar Fuzzy Contoh Kasus	49
Tabel 4. 3 Perhitungan Inferensi untuk Panjang Antrian pada Contoh Kasus	52
Tabel 4. 4 Tabel Perhitungan Inferensi untuk Lama Antrian pada Contoh Kasus.....	52
Tabel 4. 5 Output Fuzzy Urgensi.....	55
Tabel 4. 6 Komponen Dasar Fuzzy Tambah Hijau	56
Tabel 4. 7 Data Sisa Kendaraan.....	56
Tabel 4. 8 Output Fuzzy Tambah Hijau.....	59
Tabel 4. 9 Komponen Dasar Fuzzy Keputusan	60
Tabel 4. 10 Output Fuzzy Keputusan.....	62
Tabel 4. 11 Perhitungan Waktu Tunggu Total pada Semua Kandidat Durasi	64
Tabel 4. 12 Nilai Visibilitas dan Feromon Jalan Pemuda.....	65
Tabel 4. 13 Perhitungan Probabilitas Contoh Kasus Jalan Pemuda.....	65
Tabel 4. 14 Update Feromon pada Contoh Kasus	66
Tabel 4. 15 Tabel Perhitungan Waktu Tunggu pada Solusi Lokal	68
Tabel 4. 16 Tabel Perhitungan Probabilitas pada Solusi Lokal	68
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan IACO Contoh Kasus.....	69
Tabel 4. 18 Data Jumlah Kendaraan dalam Antrian Hari Jumat	71
Tabel 4. 19 Data Rata-Rata Jumlah Kendaraan dalam Antrian Hari Jumat.....	72
Tabel 4. 20 Data Banyaknya Kendaraan dalam Antrian Hari Sabtu.....	72
Tabel 4. 21 Data Rata-Rata Jumlah Kendaraan dalam Antrian Hari Sabtu	73
Tabel 4. 22 Data Banyaknya Kendaraan dalam Antrian Hari Minggu.....	73
Tabel 4. 23 Data Rata-Rata Jumlah Kendaraan dalam Antrian Hari Minggu	74
Tabel 4. 24 Data Banyaknya Kendaraan dalam Antrian Hari Senin.....	74
Tabel 4. 25 Data Rata-Rata Jumlah Kendaraan dalam Antrian Hari Senin	75
Tabel 4. 26 Rata-Rata Jumlah Kendaraan Lokasi Penelitian.....	75
Tabel 4. 27 Siklus Durasi Lalu Lintas Lokasi Penelitian	76
Tabel 4. 28 Komponen Dasar Fuzzy Urgensi pada Data Penelitian	77

Tabel 4. 29 Output Fuzzy Urgensi	80
Tabel 4. 30 Hasil Kendaraan Tersisa pada Data Penelitian.....	81
Tabel 4. 31 Komponen Dasar Fuzzy Tambah Hijau pada Data Penelitian	82
Tabel 4. 32 Output Fuzzy Tambah Hijau pada Data Penelitian	84
Tabel 4. 33 Komponen Dasar Fuzzy Keputusan pada Data Penelitian	86
Tabel 4. 34 Output Fuzzy Keputusan pada Data Penelitian.....	87
Tabel 4. 35 Durasi Lampu Hijau Usulan untuk Sesi Pagi	90
Tabel 4. 36 Durasi Lampu Hijau Usulan untuk Sesi Sore	90
Tabel 4. 37 Perbandingan Durasi Lampu Lalu Lintas Sesi Pagi Saat Ini dengan Hasil Usulan	90
Tabel 4. 38 Perbandingan Durasi Lampu Lalu Lintas Sesi Sore Saat Ini dengan Hasil Usulan	91
Tabel 4. 39 Hasil Uji Coba Parameter IACO	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rute Kendaraan yang Berpisah (Diverging)	7
Gambar 2. 2 Arus yang bergabung (Merging)	8
Gambar 2. 3 Arus yang Berpotongan (Crossing)	8
Gambar 2. 4 Arus yang Menyilang (Weaving)	8
Gambar 2. 5 Titik-Titik Konflik di Persimpangan	9
Gambar 2. 6 Nilai keanggotaan secara grafis.....	11
Gambar 2. 7 Gambar Kurva Linear.....	13
Gambar 2. 8 Gambar Kurva Linear Turun	14
Gambar 2. 9 Gambar Kurva Segitiga	14
Gambar 2. 10 Gambar Kurva Trapesium	15
Gambar 2. 11 Gambar Kurva Bahu.....	16
Gambar 2. 12 Ilustrasi Semut.....	24
Gambar 2. 13 Mutasi Invers (a), Mutasi Sisipan (b), Mutasi Perpindahan (c), dan Reciprocal Exchange Motation (d)	27
Gambar 3.1 Gmaps Persimpangan Jalan Pemuda Kota Cirebon	29
Gambar 3.2 Skema Optimasi	36
Gambar 3. 3 Skema Logika Fuzzy	37
Gambar 4. 1 Fungsi Keanggotaan Panjang Antrian	50
Gambar 4. 2 Fungsi Keanggotaan Lama Antrian.....	51
Gambar 4. 3 Fungsi Keanggotaan Derajat Urgensi	51
Gambar 4. 4 Fungsi Keanggotaan Kendaraan yang Tersia	57
Gambar 4. 5 Fungsi Keanggotaan Durasi Lampu Hijau	58
Gambar 4. 6 Fungsi Keanggotaan Tambahan Hijau	58
Gambar 4. 7 Fungsi Keanggotaan Fuzzy Keputusan	60
Gambar 4. 8 Hasil Outout IACO dengan Python.....	70
Gambar 4. 9 Fungsi Keanggotaan Lama Antrian pada Data Penelitian.....	78
Gambar 4. 10 Fungsi Keanggotaan Lama Antrian pada Data Penelitian.....	79
Gambar 4. 11 Fungsi Keanggotaan Derajat Urgensi pada Data Penelitian.....	79
Gambar 4. 12 Fungsi Keanggotaan Banyak Sisa Kendaraan pada Data Penelitian	82

Gambar 4. 13 Fungsi Keanggotaan Durasi Lampu Hijau pada Data Penelitian...	83
Gambar 4. 14 Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tambah Hijau pada Data Penelitian ..	84
Gambar 4. 15 Output IACO dengan Python	89