

**DETEKSI DAN PREDIKSI PANJANG ANTRIAN KENDARAAN
BERBASIS DATA REAL-TIME CCTV DAN CUACA UNTUK
PENGENDALIAN LAMPU LALU LINTAS ADAPTIF**

TESIS



Oleh :
SYUKRI AKBAR
NIM. 24.131.001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI ELEKTRONIKA KONTROL

PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2026

**DETEKSI DAN PREDIKSI PANJANG ANTRIAN KENDARAAN
BERBASIS DATA REAL-TIME CCTV DAN CUACA UNTUK
PENGENDALIAN LAMPU LALU LINTAS ADAPTIF**

TESIS

Diajukan kepada

Institut Teknologi Nasional Malang

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro
Peminatann Elektronika Kontrol**

Oleh

SYUKRI AKBAR

NIM. 24.131.001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

KONSENTRASI ELEKTRONIKA KONTROL

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FEBRUARI

2026

BERITA ACARA UJIAN TESIS

PROGRAM STUDI : MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

NAMA : SYUKRI AKBAR
NIM : 24.131.001
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : ELEKTRONIKA KONTROL
JUDUL : DETEKSI DAN PREDIKSI PANJANG ANTRIAN KENDARAAN
BERBASIS DATA REAL-TIME CCTV DAN CUACA UNTUK
PENGENDALIAN LAMPU LALU LINTAS ADAPTIF

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Ujian Tesis Jenjang Program Studi Pascasarjana
Magister Teknik Elektro (S2)

Pada Hari : Jum`at
Tanggal : 13 Februari 2026
Dengan Nilai :

PANITIA UJIAN TESIS

Ketua



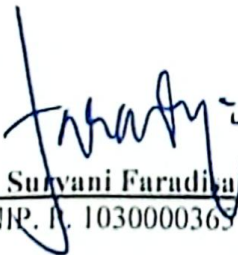
Prof. Dr. Eng. Arvanto Soetedjo, ST., MT
NIP. Y. 1030800417

Sekretaris



Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT
NIP. P. 1030100361

Penguji I



Dr. Irmalia Suryani Faradika, ST., MT.
NIP. P. 1030000365

Penguji II



Dr. Michael Ardhita, ST., MT.
NIP. P. 1031000434

Tesis oleh (Syukri Akbar) (NIM 24.131.001), telah diperiksa dan disetujui dalam ujian.

Malang, Februari 2026

Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Arvanto Soetedjo, ST., MT
NIP. Y. 1030800417

Pembimbing II

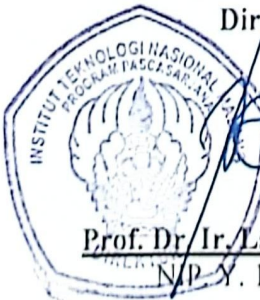


Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT
NIP. P. 1030100361

Mengetahui :

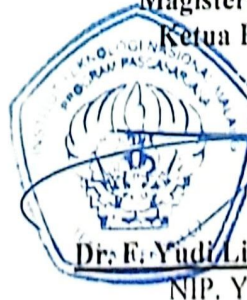
Institut Teknologi Nasional Malang
Program Pascasarjana

PPs ITN Malang
Direktur,

Prof. Dr. Ir. Lalu Mulvadi, MT
NIP. Y. 1018700153

Magister Teknik Elektro
Ketua Program Studi

Dr. E. Yudi Limpraptono, ST., MT
NIP. Y. 1039500274

PERNYATAAN

ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur "*plagiasi*", saya bersedia Tesis ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Magister Teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Februari 2026



Syukri Akbar
NIM. 24.131.001

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di wilayah perkotaan menyebabkan kemacetan lalu lintas yang semakin serius, khususnya pada jam-jam sibuk. Sistem pengendalian lampu lalu lintas di Indonesia umumnya masih menggunakan sistem *fixed time*, yaitu pengaturan sinyal dengan durasi waktu yang statis dan tidak mempertimbangkan kondisi lalu lintas aktual secara real-time. Pendekatan ini kurang adaptif terhadap fluktuasi arus kendaraan maupun faktor eksternal seperti cuaca, sehingga sering menimbulkan penumpukan antrian dan peningkatan waktu tunggu kendaraan di simpang.

Penelitian ini mengusulkan rancangan sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif berbasis integrasi data real-time dari kamera CCTV dan data cuaca daring. Data kendaraan diperoleh melalui deteksi objek menggunakan metode *You Only Look Once version 8 (YOLOv8)* untuk mengukur panjang antrian kendaraan pada setiap fase sinyal. Data hasil deteksi kemudian digabungkan dengan data cuaca dari layanan *Application Programming Interface (API)* OpenWeather dan digunakan sebagai dataset untuk pelatihan model prediksi berbasis *Long Short-Term Memory (LSTM)*.

Hasil prediksi panjang antrian dari model LSTM digunakan sebagai input pada simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak SUMO (*Simulation of Urban Mobility*), di mana sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif dirancang dengan metode *fuzzy logic* untuk menyesuaikan durasi lampu hijau secara dinamis sesuai kondisi lalu lintas yang diprediksi. Kinerja sistem adaptif dibandingkan dengan sistem *fixed time* berdasarkan data observasi lapangan di pertigaan Belimbing–Borobudur, Kota Malang. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan parameter *waiting time* (waktu tunggu rata-rata kendaraan) sebagai indikator efisiensi sistem.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pengendalian lampu lalu lintas berbasis *fuzzy logic* yang memanfaatkan prediksi panjang antrian dari model LSTM mampu menurunkan *waiting time* kendaraan secara signifikan dibandingkan sistem *fixed time*. Keunggulan rancangan ini terletak pada integrasi multi-sumber data real-time (CCTV dan cuaca), penerapan model prediksi berbasis *deep learning*, serta penerapan kontrol cerdas berbasis *fuzzy logic* yang mendukung pengembangan *Smart Traffic Management* dalam ekosistem *Smart City*.

Kata Kunci : YOLOv8, LSTM, *fuzzy logic*, SUMO, *fixed time*, panjang antrian, *waiting time*, CCTV, data cuaca, *Smart Traffic Management*, *Smart City*

ABSTRACT

The rapid growth of motor vehicles in urban areas has led to increasingly severe traffic congestion, especially during peak hours. Traffic light control systems in Indonesia generally still employ fixed-time mechanisms, where signal durations remain static and do not account for real-time traffic conditions. This approach is less adaptive to fluctuations in traffic flow and external factors such as weather, often resulting in long vehicle queues and increased waiting times at intersections.

This study proposes the design of an adaptive traffic light control system based on the integration of real-time data from CCTV cameras and online weather services. Vehicle data were obtained through object detection using the You Only Look Once version 8 (YOLOv8) algorithm to measure the queue length of vehicles at each signal phase. The detection results were combined with weather data retrieved from the OpenWeather Application Programming Interface (API) and used as a dataset for training a prediction model based on Long Short-Term Memory (LSTM).

The predicted queue length from the LSTM model was then used as input in a traffic simulation conducted using SUMO (Simulation of Urban Mobility). Within the simulation, an adaptive traffic light control system was developed using the fuzzy logic method to dynamically adjust green light durations based on predicted queue conditions. The performance of the adaptive system was compared with the fixed-time system using field observation data collected at the Belimbing–Borobudur intersection in Malang City. The evaluation was conducted using average vehicle waiting time as the main performance indicator.

The simulation results indicate that the fuzzy logic-based adaptive traffic control system, powered by LSTM queue length prediction, significantly reduces vehicle waiting time compared to the fixed-time system. The advantages of this design lie in the integration of multi-source real-time data (CCTV and weather), the application of deep learning-based prediction models, and the use of intelligent fuzzy logic control, which collectively contribute to the development of Smart Traffic Management within the Smart City ecosystem.

Keywords : *YOLOv8, LSTM, fuzzy logic, SUMO, fixed time, queue length, waiting time, CCTV, weather data, Smart Traffic Management, Smart City*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya dalam menyelesaikan tesis ini dengan judul “Deteksi Dan Prediksi Panjang Antrian Kendaraan Berbasis Data Real-time CCTV Dan Cuaca Untuk Pengendalian Lampu Lalu Lintas Adaptif.”

Tesis ini merupakan persyaratan akademis dalam memperoleh gelar Magister Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Tesis ini tidak akan berhasil dengan baik tanpa adanya bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tidak lupa peneliti mengucapkan banyak terima kasih yang terhingga kepada :

1. Kedua orang tua saya beserta saudara saya, Bapak Fanani, Ibu Ria Fitri R., dan Kakak Elisa Trifani Sobirina atas doa, dukungan, dan dorongan yang tiada henti.
2. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT, selaku Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. F. Yudi Limpraptono, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT. selaku dosen pembimbing II
7. Segenap dosen-dosen, karyawan administrasi dan perpustakaan, serta teman-teman Program S-2 Teknik Elektro atas bantuan dan dukungan yang diberikan.
8. Dinas Perhubungan Kota Malang atas izin akses dan dukungan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian tesis ini.

Dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan – kekurangan walaupun peneliti sudah berusaha menampilkan yang terbaik. Oleh karena itu peneliti membutuhkan saran dan kritik dari pembaca demi penyempurnaan tesis ini, dan kami berharap semoga bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Februari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	I
ABSTRACT	II
KATA PENGANTAR.....	III
DAFTAR ISI	IV
DAFTAR TABEL	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VII
ARTI SINGKATAN, SIMBOL DAN ISTILAH	VIII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Lalu Lintas Perkotaan dan Permasalahan Umum	6
2.2 Konsep <i>Smart City</i> dan <i>Smart Traffic Management</i>	7
2.3 Sistem Pengendalian Lalu Lintas Adaptif	7
2.4 Pemanfaatan Data Real-Time untuk Analisis Lalu Lintas	8
2.4.1 CCTV sebagai Sumber Data Kendaraan	8
2.4.2 Data Cuaca Daring.....	9
2.5 Model Prediksi Panjang Antrian dengan LSTM	10
2.5.1 Studi Ablasi Pengaruh Fitur Multivariat (Cuaca).....	11
2.6 Metode Fuzzy Logic untuk Pengendalian Lampu Lalu Lintas.....	12
2.7 Simulasi Lalu Lintas dengan SUMO	13
2.8 Ringkasan Literatur dan <i>Research Gap</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	15
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	16
3.3 Arsitektur Sistem	17
3.4 Teknik Analisis Data	19
3.4.1 Akuisisi Data	19
3.4.2 Deteksi Panjang Antrian Kendaraan (YOLOv8).....	21
3.4.3 Integrasi Data Cuaca dan Kendaraan.....	22
3.4.4 Pra-Pemrosesan Data	23
3.4.5 Pembangunan Model Prediksi LSTM	24
3.4.6 Penerapan Hasil Prediksi pada Sistem Fuzzy Adaptive	26
3.5 Pengendalian Adaptif Menggunakan Fuzzy Logic	27
3.5.1 Struktur Sistem Fuzzy	28
3.5.2 Fungsi Keanggotaan (Membership Functions).....	28
3.5.3 Aturan Dasar (Rule Base).....	30

3.5.4	Proses Inferensi dan Defuzzifikasi	31
3.5.5	Integrasi dengan Model Prediksi	33
3.6	Simulasi dan Evaluasi dengan SUMO.....	33
3.6.1	Desain Simulasi	34
3.6.2	Parameter Simulasi	35
3.6.3	Parameter Sinyal Fixed-Time (Hasil Observasi Lapangan)	35
3.6.4	Evaluasi Kinerja Sistem.....	36
3.6.5	Ringkasan Alur Simulasi	37
3.7	Alur Penelitian.....	37
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS		40
4.1	Lingkungan Simulasi.....	40
4.2	Deteksi Panjang Antrian (YOLOv8)	41
4.2.1	Akuisisi dan Pengolahan Data Visual	41
4.2.2	Penentuan Area Deteksi (Region of Interest – ROI)	41
4.2.3	Estimasi Panjang Antrian	41
4.2.4	Hasil Deteksi YOLOv8	42
4.2.5	Hasil Panjang Antrian atau Ground Truth.....	44
4.3	Prediksi Panjang Antrian (LSTM).....	46
4.3.1	Pengolahan Dataset untuk LSTM.....	46
4.3.2	Penyusunan Dataset untuk LSTM	46
4.3.3	Arsitektur Model LSTM.....	47
4.3.4	Pelatihan dan Validasi Model.....	47
4.3.5	Penerapan Hasil Prediksi pada Sistem Kontrol Adaptif.....	50
4.4	Simulasi dan Evaluasi (SUMO)	51
4.5	Hasil Simulasi.....	53
4.5.1	Waktu Tunggu (Waiting Time)	54
4.5.2	Panjang Antrian (Queue Length).....	56
4.5.3	Throughput	57
4.5.4	Implikasi Operasional.....	57
4.5.5	Ringkasan	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Keterbatasan Penelitian	60
5.3	Saran Pengembangan.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		62

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil data CSV dari OpenWeather.....	20
Tabel 3. 2 Hasil data CSV dari YOLOv8.....	21
Tabel 3. 3 Hasil data CSV Penggabungan dari YOLOv8 & OpenWeather.....	23
Tabel 3. 4 Hasil data CSV yang siap digunakan untuk model LSTM.....	24
Tabel 3. 5 Variabel Input dan Output Sistem Fuzzy Logic.....	28
Tabel 3. 6 Rentang Keanggotaan Output ΔT_{green} (Fuzzy Logic).....	29
Tabel 3. 7 Aturan Dasar (Rule Base) Mamdani (3×3) untuk Penentuan Tgreen	30
Tabel 3. 8 Parameter dan Pengaturan Simulasi SUMO (Skenario Fixed-Time vs Fuzzy Adaptive).....	35
Tabel 3. 9 Konfigurasi Sinyal Fixed-Time – Hasil Observasi	35
Tabel 4. 1 Spesifikasi Lingkungan Simulasi	40
Tabel 4. 2 Metrik Evaluasi untuk Model YOLOv8.....	45
Tabel 4. 3 Ringkasan kinerja Fuzzy vs Fixed-Time (06.00-18.00, step 1 s).....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Arsitektur Sistem Pengendalian Lampu Lalu Lintas Adaptif Berbasis Prediksi Panjang Antrian Kendaraan dan Fuzzy Logic.....	18
Gambar 3. 2 Membership INPUT (panjang antrian kendaraan)	30
Gambar 3. 3 Membership OUTPUT (durasi lampu hijau).....	30
Gambar 3. 4 Defuzzifikasi kondisi rendah	32
Gambar 3. 5 Defuzzifikasi kondisi sedang.....	33
Gambar 3. 6 Defuzzifikasi kondisi tinggi.....	33
Gambar 3. 7 Diagram Alur Sistem Pengendalian Lampu Lalu Lintas Adaptif Berbasis Prediksi Panjang Antrian Kendaraan dan Fuzzy Logic.....	39
Gambar 4. 1 Hasil deteksi kendaraan dan panjang antrian menggunakan YOLOv8 CCTV1 - Jl. Borobudur arah barat (queue length $\approx$ 72.00 m).....	42
Gambar 4. 2 Hasil deteksi kendaraan dan panjang antrian menggunakan YOLOv8 CCTV2 - Jl. A. Yani arah selatan (queue length $\approx$ 93.00 m)	43
Gambar 4. 3 Hasil deteksi kendaraan dan panjang antrian menggunakan YOLOv8 CCTV3 - Jl. A. Yani arah utara (queue length $\approx$ 73.00 m)	43
Gambar 4. 4 Deteksi kondisi “STOP-ZONE terisi ??? SKIP CSV” pada sistem YOLOv8	44
Gambar 4. 5 Grafik Perbedaan Prediksi dan Aktual	44
Gambar 4. 6 Prediksi Panjang Antrian - CCTV1 (06.00-18.00 WIB)	50
Gambar 4. 7 Prediksi Panjang Antrian - CCTV2 (06.00-18.00 WIB)	50
Gambar 4. 8 Prediksi Panjang Antrian - CCTV3 (06.00-18.00 WIB)	50
Gambar 4. 9 Skema Skenario Fixed Time (Baseline) di Pertigaan Belimbing-Borobudur, Kota Malang.....	52
Gambar 4. 10 Skema Skenario Fuzzy Adaptive Control di Pertigaan Belimbing-Borobudur, Kota Malang	52
Gambar 4. 11 Running mean WEST	55
Gambar 4. 12 Perbandingan waiting time - linear.....	55
Gambar 4. 13 Perbandingan waiting time - skala log.....	56
Gambar 4. 14 Perbandingan Queue Length per Arah	56
Gambar 4. 15 Throughput per detik per arah	57

ARTI SINGKATAN, SIMBOL DAN ISTILAH

AI	: Artificial Intelligence
API	: Application Programming Interface
BBox	: Bounding Box
CCTV	: Closed Circuit Television
CV	: Computer Vision
FIS	: Fuzzy Inference System
FPS	: Frames Per Second
IoT	: Internet of Things
ITS	: Intelligent Transportation Systems
LSTM	: Long Short-Term Memory
MAE	: Mean Absolute Error
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error
MF	: Membership Function (fungsi keanggotaan)
MSE	: Mean Squared Error
p95	: 95th percentile (persentil ke-95)
RMSE	: Root Mean Square Error
ROI	: Region of Interest
SMAPE	: Symmetric Mean Absolute Percentage Error
SUMO	: Simulation of Urban Mobility
STM	: Smart Traffic Management
YOLOv8	: You Only Look Once version 8
FL	: Fuzzy Logic
WT	: Waiting Time

Daftar Simbol

α	: Faktor kalibrasi kamera (meter/piksel)
Lq	: Panjang antrian kendaraan (meter)
ΔLq	: Laju perubahan panjang antrean
N_{pass}	: <i>Throughput</i>
t	: Waktu pengamatan (menit/jam)
Δt	: Langkah waktu simulasi (detik)
Lq_{pred}	: Prediksi panjang antrian kendaraan (hasil LSTM)
T_{green}	: Durasi lampu hijau (detik)
ΔT_{green}	: Penyesuaian durasi lampu hijau (detik) untuk fase aktif
WT	: <i>Waiting time</i> rata-rata per kendaraan (detik)
WT_{p95}	: <i>Waiting time</i> persentil-95 (detik)

Daftar Istilah

<i>Adaptive traffic control</i>	: Sistem pengendalian lampu lalu lintas yang menyesuaikan durasi sinyal secara dinamis berdasarkan kondisi arus kendaraan aktual atau hasil prediksi.
<i>Cycle/green split</i>	: Lama satu siklus sinyal dan porsi hijau per fase.
<i>Defuzzification</i>	: Tahap mengubah keluaran fuzzy menjadi nilai crisp; kamu memakai metode <i>centroid</i> .
<i>Edge/Lane (SUMO)</i>	: Segmen jalan/lajur pada jaringan SUMO (mis. e1, e3, e5).
<i>Fixed time</i>	: Sistem pengendalian lampu lalu lintas dengan waktu sinyal yang statis dan tidak mempertimbangkan kondisi real-time.

<i>Fuzzy logic</i>	: Metode kecerdasan buatan yang meniru cara manusia mengambil keputusan berdasarkan aturan linguistik dan derajat keanggotaan.
<i>Homography</i>	: Transformasi perspektif untuk mengonversi piksel ke ukuran fisik pada ROI.
<i>Object detection</i>	: Teknik <i>computer vision</i> untuk mengenali dan menghitung objek seperti kendaraan dalam citra atau video.
<i>Phase</i>	: Urutan status sinyal untuk satu pendekat atau kombinasi pendekat pada simpang.
<i>Queue length</i>	: Panjang barisan kendaraan yang menunggu di suatu persimpangan sebelum lampu hijau menyala, biasanya diukur dalam meter.
<i>Rule base</i>	: Kumpulan aturan IF–THEN pada pengendali fuzzy.
<i>Seed (random)</i>	: Nilai inisialisasi acak untuk memastikan replikasi simulasi/rute identik.
<i>Smart City</i>	: Konsep kota berbasis teknologi informasi yang bertujuan meningkatkan efisiensi, kenyamanan, dan keberlanjutan lingkungan perkotaan.
<i>Traffic simulation</i>	: Representasi kondisi lalu lintas dalam lingkungan virtual menggunakan perangkat lunak seperti SUMO untuk menguji skenario pengendalian lalu lintas.
<i>Waiting time</i>	: Rata-rata waktu tunggu kendaraan di simpang, digunakan sebagai indikator utama efisiensi sistem pengendalian lampu lalu lintas.
95th percentile (p95)	: Nilai ambang yang melampaui 95% data; dipakai untuk menilai ekor distribusi waiting time.