

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di kota-kota besar Indonesia, termasuk Kota Malang, menimbulkan tantangan serius bagi kelancaran arus lalu lintas, efisiensi waktu perjalanan, dan kualitas lingkungan. Temuan berbasis data lokal menunjukkan kebutuhan pemantauan kondisi jalan yang lebih andal untuk mendukung pengambilan keputusan lalu lintas [1]. Di banyak simpang, pengendalian sinyal fixed-time masih dominan durasi fase ditetapkan statis tanpa mempertimbangkan kondisi real-time sehingga mudah tidak selaras dengan fluktuasi arus dan memicu penumpukan panjang antrian.

Dalam kerangka Smart City, integrasi IoT dan AI memungkinkan peralihan menuju pengendalian adaptif berbasis data real-time. Infrastruktur tepi-jaringan/edge dan arsitektur IoT untuk manajemen lalu lintas telah ditunjukkan layak secara teknis dan operasional [2], [3]. Di sisi integrasi data, pendekatan multi-source/data-fusion misalnya menggabungkan pengamatan lalu lintas dengan fitur cuaca terbukti meningkatkan kualitas prediksi/estimasi untuk pengambilan keputusan [4], [5], [6], [7].

Untuk deteksi visual, keluarga YOLO, khususnya YOLOv8, banyak diadopsi pada skenario transportasi karena kecepatan inferensi dan akurasi pada lingkungan urban yang beragam, termasuk objek kecil dan kondisi cahaya menantang [8], [9], [10], [11], [12]. Hasil deteksi ini dapat diturunkan menjadi indikator operasional seperti panjang antrian per lengan simpang.

Pada sisi peramalan, Long Short-Term Memory (LSTM) menjadi baseline kuat untuk prediksi deret waktu lalu lintas karena kemampuannya menangkap ketergantungan jangka panjang dan pola non-linier. Tinjauan mutakhir dan studi kasus menunjukkan LSTM kompetitif termasuk saat fitur cuaca dilibatkan untuk memprediksi besaran terkait kepadatan/antrian [4], [13], [14], [15].

Hasil prediksi selanjutnya dapat digunakan untuk kontrol sinyal adaptif. Di sini, fuzzy logic relevan karena mampu memetakan pengetahuan linguistik menjadi aksi kontrol yang halus di tengah ketidakpastian. Validasi pada SUMO menunjukkan bahwa fuzzy-based adaptive control mengungguli fixed-time dalam menurunkan tundaan dan antrian [16], efektivitas fuzzy juga dilaporkan pada implementasi perkotaan lain [17], [18]. Arah riset terkini

bahkan mengeksplor hibrida fuzzy dengan pembelajaran penguatan untuk sinyal yang lebih cerdas [19], [20].

Berangkat dari perkembangan tersebut, penelitian ini membangun rantai integratif: deteksi antrian berbasis YOLOv8 → prediksi panjang antrian dengan LSTM (multivariat termasuk cuaca) → pengendalian adaptif fuzzy → validasi kinerja di SUMO. Evaluasi empiris membandingkan Fuzzy Adaptive terhadap Fixed-Time berdasarkan waktu tunggu rata-rata (waiting time), queue length (panjang antrian), dan throughput (jumlah kendaraan terlayani) pada simpang pertigaan Belimbing–Borobudur, Kota Malang [15], [16]. Secara praktis, kerangka ini ditujukan untuk mengurangi waktu tunggu, menurunkan panjang antrian, serta menjaga throughput, sehingga mendukung implementasi Smart Traffic Management di lingkungan Smart City.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan latar belakang diatas, maka peneliti dapat merumuskan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Bagaimana melakukan deteksi panjang antrian kendaraan secara real-time menggunakan metode *object detection* YOLOv8 dan mengolah hasilnya menjadi dataset untuk pelatihan model prediksi menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)*?
2. Bagaimana hasil prediksi panjang antrian kendaraan dari model LSTM dapat digunakan dalam simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak SUMO (*Simulation of Urban Mobility*)?
3. Bagaimana menerapkan metode *fuzzy logic* sebagai sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif berdasarkan hasil prediksi panjang antrian kendaraan, dan bagaimana perbandingannya terhadap sistem *fixed time* berdasarkan parameter *waiting time* (waktu tunggu rata-rata kendaraan), panjang antrian (queue length), dan throughput (jumlah kendaraan terlayani)?
4. Bagaimana merancang sistem integrasi end-to-end berbasis data (CCTV dan cuaca daring/API) yang mencakup sinkronisasi temporal, estimasi panjang antrian berbasis YOLOv8, prediksi multivariat berbasis LSTM, pengendalian lampu adaptif berbasis fuzzy, serta validasi kinerja melalui simulasi SUMO untuk mendukung analisis antrian kendaraan di wilayah perkotaan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Melakukan deteksi panjang antrian kendaraan secara real-time menggunakan metode *object detection* YOLOv8 dan mengolah hasil deteksi tersebut menjadi dataset untuk pelatihan model prediksi.
2. Membangun dan menguji model prediksi panjang antrian kendaraan menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)* berdasarkan data deteksi CCTV dan kondisi cuaca.
3. Menerapkan hasil prediksi ke dalam simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) untuk merancang sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif berbasis *fuzzy logic*.
4. Mengevaluasi kinerja sistem pengendalian lalu lintas adaptif berbasis *fuzzy logic* dengan membandingkannya terhadap sistem *fixed time* menggunakan parameter *waiting time* (waktu tunggu rata-rata kendaraan), *queue length* (panjang antrian), dan *throughput* (jumlah kendaraan terlayani).
5. Mengembangkan sistem terpadu end-to-end berbasis data real-time yang mengintegrasikan kamera CCTV dan data cuaca daring (API), meliputi deteksi antrian (YOLOv8), prediksi antrian (LSTM multivariat), perancangan pengendalian lampu adaptif (*fuzzy logic*), serta validasi kinerja menggunakan simulasi SUMO untuk analisis antrian di wilayah perkotaan.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Data kendaraan diperoleh dari hasil deteksi objek menggunakan metode *object detection* YOLOv8 pada kamera CCTV publik milik Pemerintah Kota Malang yang berlokasi di pertigaan Belimbing–Borobudur.
2. Data cuaca diperoleh dari layanan *Application Programming Interface (API)* OpenWeather dengan interval data per jam, mencakup variabel suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin.
3. Data yang digunakan dibatasi pada periode 06.00–18.00 WIB selama satu bulan penuh, sehingga tidak mencakup kondisi lalu lintas malam hari.
4. Model prediksi yang digunakan terbatas pada algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)* untuk memprediksi volume kendaraan berdasarkan hasil deteksi dan data

cuaca; model lain seperti GRU, CNN, atau Transformer tidak dibahas dalam penelitian ini.

5. Sistem pengendalian lalu lintas adaptif dirancang menggunakan metode *fuzzy logic* yang diimplementasikan dalam lingkungan simulasi menggunakan perangkat lunak SUMO (*Simulation of Urban Mobility*).
6. Penelitian ini tidak mencakup implementasi langsung di lapangan, melainkan dibatasi pada evaluasi hasil simulasi berbasis data real-time. Evaluasi difokuskan pada perbandingan kinerja sistem *fuzzy adaptive* dengan sistem *fixed time* berdasarkan parameter *waiting time* (waktu tunggu rata-rata kendaraan), *queue length* (panjang antrian), dan *throughput* (jumlah kendaraan terlayani).

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran yang mudah dimengerti dan komprehensif mengenai isi dalam penulisan tesis ini, secara global dapat dilihat dari sistematika pembahasan tesis dibawah ini:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini akan menjelaskan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Selain itu, bab ini memberikan gambaran umum mengenai metodologi penelitian, ruang lingkup simulasi, dan arah pengembangan sistem.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi uraian tentang teori-teori dan penelitian terdahulu yang relevan, mencakup sistem lalu lintas perkotaan, konsep *Smart City* dan *Smart Traffic Management*, sistem pengendalian lalu lintas adaptif, pemanfaatan data real-time dari CCTV dan layanan cuaca daring, teori algoritma YOLOv8, model prediksi LSTM, metode *fuzzy logic*, serta penggunaan SUMO sebagai alat simulasi.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan pendekatan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, jenis dan sumber data, tahapan pengumpulan dan pengolahan data, pembangunan model LSTM, serta perancangan sistem kontrol adaptif berbasis *fuzzy logic*. Selain itu, dibahas pula rancangan eksperimen menggunakan SUMO untuk menguji efektivitas sistem dalam menurunkan panjang antrian (*queue length*), waktu tunggu kendaraan (*waiting time*), serta meningkatkan jumlah kendaraan yang terlayani (*throughput*).

BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS HASIL

Pada bab ini menyajikan hasil eksperimen dan analisis meliputi deteksi panjang antrian kendaraan menggunakan YOLOv8, prediksi hasil LSTM, penerapan *fuzzy logic* dalam pengaturan durasi sinyal, serta analisis hasil simulasi di SUMO. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan sistem *fuzzy adaptive* dengan sistem *fixed time* menggunakan parameter *waiting time, queue length, throughput*.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Fokus utama kesimpulan adalah efektivitas sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif berbasis data real-time dengan integrasi YOLOv8, LSTM, dan *fuzzy logic* yang disimulasikan melalui SUMO sebagai bagian dari upaya menuju implementasi *Smart Traffic Management* di lingkungan *Smart City*.