

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan kemacetan lalu lintas merupakan isu krusial yang dihadapi oleh berbagai kota besar di Indonesia, termasuk Kota Bandung. Sebagai pusat ekonomi, pendidikan, dan pariwisata di Jawa Barat, tekanan arus lalu lintas di kota ini tergolong sangat tinggi. Berdasarkan laporan TomTom Traffic Index 2024, Bandung menempati peringkat ke-12 kota termacet di dunia, bahkan melampaui Jakarta dalam hal waktu tempuh rata-rata harian. Pada jam sibuk, rata-rata waktu tempuh di Kota Bandung mencapai 32 menit 37 detik untuk menempuh jarak 10 kilometer, menandakan tingkat efisiensi mobilitas yang sangat rendah[1].

Kondisi tersebut diperparah oleh ketidakseimbangan antara pertumbuhan kendaraan pribadi dan kapasitas infrastruktur jalan. Menurut Dinas Perhubungan Kota Bandung 2025, jumlah kendaraan bermotor telah melampaui 2,5 juta unit, dengan pertumbuhan ruas jalan hanya sekitar 0,5 % per tahun. Sementara itu, tingkat penggunaan transportasi publik masih rendah, yakni hanya sekitar 13 % penduduk Bandung yang rutin menggunakan moda angkutan umum seperti angkot, bus kota, atau BRT[2].

Dampak nyata dari ketimpangan tersebut terlihat pada persimpangan lalu lintas, yang menjadi titik paling rawan penumpukan kendaraan. Penelitian terbaru mencatat bahwa pada persimpangan dengan pengaturan waktu tetap (fixed-time control), Berdasarkan Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKIP) Dinas Perhubungan Kota Bandung Tahun 2024, hasil survei terhadap 115 ruas jalan menunjukkan bahwa 36 ruas jalan masih dalam kategori macet dengan Level of Service (LOS) D dan E. Salah satu penyebab utama kemacetan tersebut adalah pengaturan APILL di persimpangan yang belum optimal dalam menangani volume lalu lintas yang tinggi. [3].

Titik persimpangan jalan berfungsi sebagai simpul konflik utama dalam jaringan transportasi dan menjadi kontributor terbesar terhadap penumpukan kendaraan. Masalah inti yang mendasari inefisiensi ini adalah keterbatasan sistem lampu lalu lintas konvensional. Pengaturan sinyal yang menggunakan interval fixed-time terbukti tidak responsif terhadap dinamika arus kendaraan secara real-time. Ketidakadaptifan ini menyebabkan penumpukan kendaraan yang tidak proporsional di satu jalur sementara jalur lain lengang, waktu tunggu yang berlebihan, dan idle time yang tidak perlu. Akibatnya, terjadi pemborosan energi dan waktu, yang juga berdampak sekunder pada peningkatan emisi gas buang akibat manuver stop-and-go yang tidak efisien.

Seiring dengan berkembangnya Intelligent Transportation Systems (ITS), berbagai pendekatan telah dilakukan untuk mengatasi hambatan pengaturan lalu lintas. Pemanfaatan data VANET memungkinkan sistem mendapatkan informasi posisi dan kecepatan kendaraan secara presisi melalui pesan *Basic Safety Message* (BSM), *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANETs) memungkinkan kendaraan untuk berbagi data kontekstual yang kaya seperti jumlah kendaraan, kecepatan, posisi, dan kepadatan per jalur kepada Roadside Unit (RSU) secara real-time. Penelitian sebelumnya telah mencoba memanfaatkan data context-aware ini dengan algoritma berbasis aturan heuristik atau model DRL berbasis nilai diskret, seperti Deep Q-Network (DQN). Meskipun pendekatan ini memberikan peningkatan efisiensi dibandingkan fixed-time, performanya sering terhambat oleh keterbatasan ruang aksi[5]. Algoritma berbasis nilai diskret seringkali memaksa kontroler untuk memilih hanya antara "ubah fase" atau "pertahankan fase," sehingga durasi lampu hijau harus ditentukan oleh aturan statis atau diskretisasi paksa. Hal ini dapat menyebabkan quantization error dan menghasilkan kebijakan yang suboptimal dalam mengakomodasi fluktuasi demand yang sangat halus, terutama jika tujuannya adalah meminimalkan waktu tunggu total secara presisi.

Dalam mengatasi masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan inovatif dalam penjadwalan lampu lalu lintas cerdas menggunakan Proximal Policy Optimization (PPO). Dengan memanfaatkan PPO, sebuah algoritma Policy Gradient yang unggul dalam mengoptimalkan ruang aksi

kontinu, agen pengontrol sinyal dapat secara dinamis dan adaptif menentukan durasi fase lampu hijau secara tepat dan kontinu, bukan hanya memilih fase.

Kemampuan PPO untuk beradaptasi dengan data dengan memanfaatkan data kendaraan terhubung dari VANET memungkinkan agent untuk menghasilkan kebijakan yang lebih halus dan efisien, serta secara eksplisit mengintegrasikan dinamika lalu lintas yang kompleks, seperti panjang antrean dan kepadatan dalam fungsi reward[6]. Dengan demikian, diharapkan sistem ini dapat menyesuaikan durasi lampu hijau secara dinamis berdasarkan kondisi lalu lintas real-time yang diperoleh dari kendaraan terhubung, sehingga dapat mengurangi waktu tunggu rata-rata dan panjang antrean kendaraan pada persimpangan tunggal.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merumuskan arsitektur Proximal Policy Optimization (PPO) yang efektif untuk mengoptimalkan penjadwalan sinyal lampu lalu lintas adaptif berbasis data VANET di persimpangan tunggal?
2. Bagaimana kinerja algoritma PPO dalam mengurangi rata-rata waktu tunggu dan panjang antrean kendaraan di persimpangan tunggal?

1.3.Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap fokus dan terarah, maka ruang lingkupnya dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan pengujian algoritma Proximal Policy Optimization (PPO).
2. Objek penelitian dibatasi pada simulasi satu persimpangan tunggal dan tidak mencakup optimasi jaringan multi-persimpangan khususnya pada Motor dan Mobil.
3. Implementasi dan pengujian dilakukan menggunakan simulator lalu lintas SUMO dan antarmuka TraCI.

4. Penilaian kinerja sistem akan berfokus pada metrik kemacetan utama, yaitu rata-rata waktu tunggu dan panjang antrean. Penelitian ini tidak menganalisis secara spesifik skenario kendaraan darurat atau dampak langsung terhadap emisi gas buang.
5. Penelitian ini memanfaatkan dataset hasil dari SUMO dengan menggunakan peta Persimpangan Pahlawan atau Persimpangan Kiara Condong (intersection) dan tidak melakukan pengumpulan data primer di lapangan.
6. Penelitian ini Menggunakan Metodologi penelitian DSR hanya sampai tahap evaluasi untuk mengukur kinerja dari algoritma PPO.
7. Aspek komunikasi jaringan VANET seperti delay, packet loss, dan tingkat penetrasi kendaraan terhubung tidak dimodelkan, sehingga evaluasi dilakukan pada skenario V2I ideal.

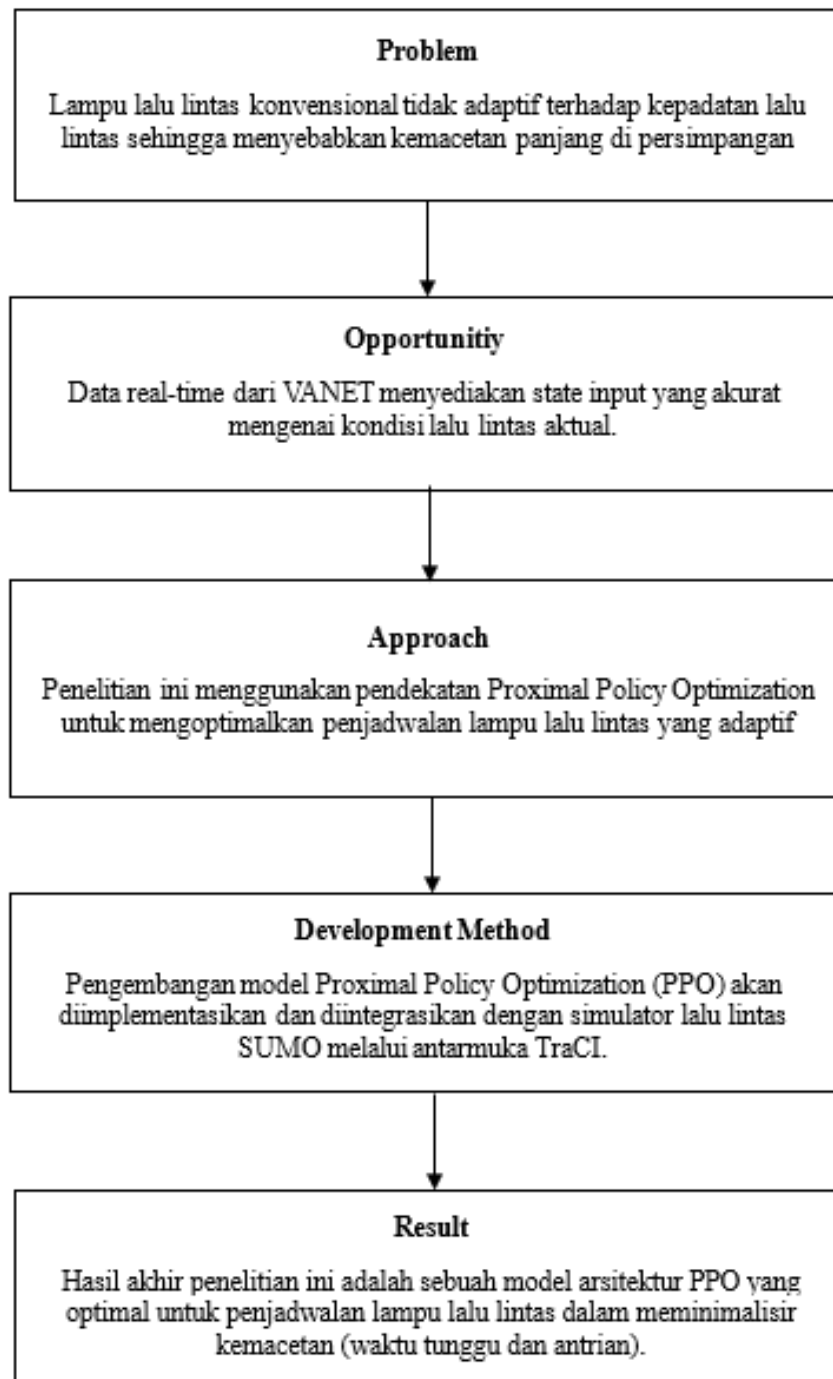
1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merumuskan arsitektur Proximal Policy Optimization untuk mengoptimalkan penjadwalan lampu lalu lintas adaptif berbasis data VANET di persimpangan tunggal.
2. Menguji kinerja algoritma Proximal Policy Optimization dalam mengurangi rata-rata waktu tunggu dan panjang antrean kendaraan di persimpangan tunggal.

1.5. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran pada penelitian ini menggambarkan alur berpikir peneliti dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat. Adapun kerangka pemikiran tersebut digambarkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Pemikiran