

Latar Belakang

Pada tahun 2010-an, Pemerintah Kota Surabaya memutuskan untuk mengganti sistem tersebut dengan teknologi SCATS yang didanai oleh pemerintah Australia dan kemudian menjadi bagian dari strategi SITS. Namun, pada tahun 2025, diketahui bahwa sebagian besar persimpangan di Surabaya tidak lagi menggunakan kontrol adaptif, melainkan kontrol berbasis waktu tetap karena kerusakan pada sensor yang ada. Sedangkan biaya untuk memperbaiki sensor akan membutuhkan biaya yang signifikan bagi kota Surabaya. Di Jakarta, dengan jarak antar simpang kurang dari 1 km, pemelajaran penguatan berbasis siklus dalam pengendalian lalu lintas dapat mengungguli metode kontrol konvensional, dengan meningkatkan aliran lalu lintas dan mengurangi waktu tunggu (Brahmana & Junaedi, 2021; Fuad & Fernandez, 2022; Hamzah, 2024). Meskipun kemajuan tersebut signifikan dalam mengoptimalkan efisiensi lalu lintas, tantangan utama yang dihadapi adalah ketahanan sistem terhadap gangguan yang bersifat tidak terduga, seperti serangan adversarial atau ketidakpastian dari sensor yang ada (Behzadan & Munir, 2017). Penelitian ini akan mengeksplorasi alternatif metode kontrol lalu lintas yang dapat menggantikan atau memperbaiki kontrol waktu tetap yang ada dalam SITS Surabaya.

Tujuan Penelitian

- Merekonstruksi keadaan lalu lintas melalui simulasi sistem lalu lintas pada kawasan kota Surabaya.
- Merumuskan dan membandingkan model kontrol lalu lintas, konvensional dengan algoritma pemelajaran penguatan, berbasis siklus dibandingkan dengan berbasis non-siklus yang dipakai serta mengimplementasikannya dalam simulasi untuk meminimalisir wilayah L4 di MFD dan meningkatkan *throughput*.
- Membandingkan kinerja agen pemelajaran penguatan robas dengan agen pemelajaran penguatan standar berbasis siklus dan berbasis non-siklus dalam menghadapi kondisi adversarial.



Metodologi Penelitian

Model

Pemodelan dilakukan menggunakan PTV VISSIM dan SUMO. SUMO akan menghasilkan data aliran kendaraan acak dari fungsi RandomTrips yang memasukkan satu kendaraan setiap detik ke jalan manapun dan akan disebut aliran acak. Kemudian fungsi RouteSampler memasukkan aliran kendaraan dari data SCATS kota Surabaya tanggal 01 Januari 2022 pada 103 persimpangan yang masih aktif dan akan disebut aliran aktual. Simulasi dijalankan antara pukul 5 hingga 23.

Pengontrol

Kontrol	Reward	Action	State
Uniform	-	Penentuan durasi siklus tetap sebesar dua puluh lima detik	-
Max-pressure	-	Perubahan fase lampu setiap lima detik	Fase lampu dan tekanan persimpangan (pressure)
Webster	-	Perubahan durasi siklus, minimal 40 detik, maksimal 180 detik	Fase lampu, interval waktu tetap (durasi siklus), dan saturasi lajur
DQN	Panjang antrian (queue)	Penentuan fase sinyal setiap sepuluh detik	Fase sinyal, panjang antrian (queue); tingkat kedatangan kendaraan (approach), total waktu tunggu kendaraan, total laju setiap kendaraan, seluruhnya dinormalisasi (dibagi 100)
	Tekanan persimpangan (pressure)		
	Setengah dari queue dan pressure		
	Eksponensial/adaptif dari queue dan pressure		

Serangan

Malfungsi sensor adalah hal yang bisa terjadi dan ditandai dengan bertambah atau berkurangnya kendaraan yang terdeteksi. Pada pemelajaran mesin, Madry dkk. (2017) menyatakan serangan *Projected Gradient Descent* (PGD) merupakan salah satu metode serangan adversarial yang paling kuat dan banyak digunakan. Bersamaan memproyeksikan hasil perturbasi ke dalam batasan yang ditentukan, PGD melakukan iterasi *gradient ascent* pada fungsi kerugian model, biasanya berupa bola dengan radius ϵ .

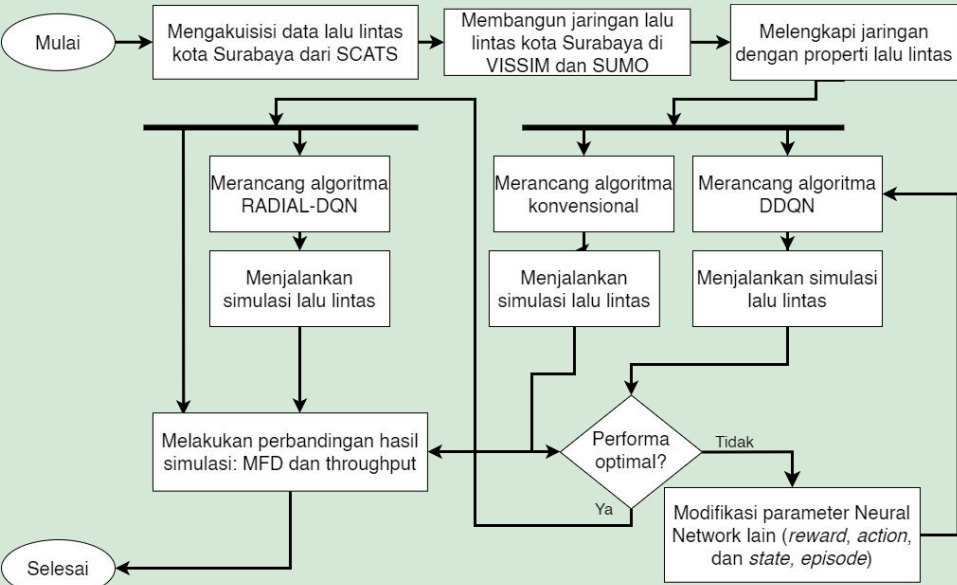
Kesimpulan

- Telah dilakukan rekonstruksi model semirip mungkin dengan kawasan Surabaya diperlukan pengaturan model, mendapatkan data aliran masuk kendaraan; pembuatan rute mikroskopik menggunakan RandomTrips dan RouteSampler; mengatur fase pada setiap persimpangan serta konfigurasi karakteristik kendaraan.
- Mempertimbangkan fenomena pada model SUMO, kinerja metoda kontrol berbasis siklus (*webster, uniform*) lebih optimal (*throughput* lebih dari 85%) dibandingkan metoda kontrol berbasis non-siklus (*max-pressure, DDQN*). Jika dibandingkan dengan Flexilink, maka seluruh metoda jauh lebih optimal kecuali DDQN (*throughput* terbaik 43%) yang berbasis non-siklus dan bisa jadi disebabkan karena jarak antar simpang yang cukup jauh.
- Kinerja metoda konvensional berbasis siklus mengalami gangguan sangat besar hingga -50% *throughput*, sedangkan metoda berbasis non-siklus mengalami dampak kecil atau bersifat lebih robas sebanyak -5% *throughput*. Adapun agen pemelajaran penguatan robas memberikan resiliensi lebih baik (*throughput* terbaik meningkat 35% dan *throughput* terburuk berkurang 15%) dibandingkan dengan agen pemelajaran penguatan tidak robas (*throughput* terbaik berkurang 8% dan *throughput* terburuk berkurang 43%).

Saran

- Menguji pembuatan arsitektur model CNN variasi lain guna meningkatkan performa dan mempercepat pelatihan serta pengujian model.
- Menguji penggunaan DDPG ataupun DDQN yang bisa berbasis siklus pada kontrol kawasan kota Surabaya, menggunakan state yang sama ataupun berbeda.
- Menguji reward jenis lainnya seperti waktu tunggu (*wait time*), waktu tempuh (*trip time*), ataupun gabungan dari keduanya serta queue.
- Mencari atau membuat platform pemodelan lain yang mudah serta akurat dioperasikan dengan kontrol konvensional dan pemelajaran penguatan. Komponen lain seperti ragam jenis transportasi, penyeberangan orang, dan masuk/keluar kendaraan ke/dari kota Surabaya perlu dipertimbangkan.

Alur Penelitian



Hasil Penelitian

