

Lampu Lalulintas Adaptif untuk Simpangan Padat Menggunakan Simple Additive Weight

Andri Suhartono¹

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya, Surabaya, Indonesia

Corresponding author: Andri Suhartono (e-mail: andrisuh@sts.edu).

ABSTRACT The queue of vehicles at an intersection will hinder the flow of other intersection. Traffic lights that regulate traffic order and smoothness can cause traffic jams because of the inaccurate distribution of duration of the green traffic light and the red duration of the traffic light for each lane. The problem about timing on each track can be solved with adaptive traffic lights, which can adjust the duration of the traffic lights based on several criteria, namely the type of vehicle, the length of the vehicle queue, the presence of emergency vehicle, the number of pedestrians, and the length of time the green light has been on in each track. The criteria used are determining the criteria used in simple additive weight (SAW) method to determine which direction the traffic lights must be green and how long the green traffic lights must be on. The selection of the SAW method is based on its ability to make the right decision based on predetermined criteria and has a fast and simple calculation process. In addition to using the SAW method, minimum duration requirement for a green traffic light for each lane is also used for the convenience of both pedestrians and drivers. With this method in the simulation of an intersection with various numbers and types of vehicles, the reduction in vehicle queues of 28% is obtained but increases the change in the turn of the green light by about 70% if the method is applied for an extended period.

KEYWORDS Adaptive Traffic Light, Intersection, Simple Additive Weight, Traffic Jam

ABSTRAK Antrean kendaraan pada suatu simpangan akan menghambat arus pada simpangan lainnya. Lampu lalulintas yang mengatur ketertiban dan kelancaran lalulintas dapat menyebabkan kemacetan lalulintas karena kurang tepatnya pembagian durasi lampu lalulintas menyala hijau dan durasi lampu lalulintas menyala merah untuk setiap lintasan. Masalah pengaturan durasi pada setiap lampu lalu lintas dapat diselesaikan dengan lampu lalulintas adaptif berdasarkan beberapa kriteria, yaitu jenis kendaraan, panjang antrean kendaraan, keberadaan kendaraan darurat, jumlah kendaraan, jumlah pejalan kaki, dan durasi lampu hijau telah menyala di setiap lintasan. Kriteria yang digunakan ini menjadi kriteria penentu yang digunakan dalam metode *simple additive weight* (SAW) untuk menentukan lampu lalulintas arah mana yang harus hijau dan seberapa lama lampu lalulintas hijau tersebut harus menyala. Pemilihan metode SAW tersebut didasarkan pada kemampuan metode tersebut dalam mengambil suatu keputusan yang tepat berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan dan memiliki proses perhitungan yang cepat serta sederhana. Selain menggunakan metode SAW, persyaratan durasi minimal lampu lalulintas menyala hijau untuk setiap lintasan juga digunakan untuk kenyamanan pengguna jalan, baik penyeberang jalan maupun pengendara kendaraan. Dengan metode ini dalam simulasi persimpangan dengan berbagai jumlah dan jenis kendaraan, diperoleh pengurangan antrean kendaraan sebesar 28% tetapi meningkatkan perubahan pergantian lampu hijau sebesar 70% jika metode ini diterapkan untuk jangka waktu yang lama.

KATA KUNCI Kemacetan, Lampu Lalulintas Adaptif, Persimpangan, Simple Additive Weight

I. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu masalah yang cukup rumit di kota-kota besar [1]. Apalagi ditunjang dengan pertambahan kendaraan, pertambahan penduduk, meningkatnya ekonomi dan infrastruktur persimpangan. Salah satu langkah untuk mengurangi masalah ini adalah melakukan pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan [2]. Dengan pengaturan lampu lalu lintas yang baik, diharapkan tidak terjadi antrean yang panjang di jalan khususnya di persimpangan, sehingga dapat menunjang kelancaran lalu lintas di area tersebut.

Pada umumnya, lampu lalu lintas diatur berdasarkan waktu yang tetap. Tetapi banyaknya kendaraan yang tiba pada suatu persimpangan jalan tidaklah sama, hal ini menyebabkan kemacetan pada persimpangan jalan tersebut. Untuk itu perlu pengendalian yang baik agar dapat mengurangi kemacetan yang ditimbulkan karena pengaturan lampu lalu lintas yang kurang baik.

Ada 3 komponen yang menentukan dalam pengaturan lalu lintas, yaitu manusia yaitu pengguna jalan, berbagai kendaraan yang ada di jalan dan infrastruktur jalan yang saling berinteraksi dalam pergerakan kendaraan [3]. Masalahnya adalah bagaimana melakukan pengaturan lampu lalu lintas yang efektif untuk mengurangi waktu tunggu kendaraan sehingga tidak terjadi antrean yang panjang dan mengurangi waktu tunggu penyeberangan pejalan kaki pada suatu persimpangan yang padat lalu lintas.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan sistem lampu lalu lintas adaptif untuk mendukung pengambilan keputusan menggunakan metode *simple additive weight* (SAW) dalam penentuan durasi lampu lalu lintas hijau yang paling efisien bagi setiap arah di suatu simpang empat yang padat dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang berperan dalam suatu persimpangan yaitu, jumlah kendaraan yang mengantre di setiap arah, lama lampu lalu lintas merah setiap arah, lama lampu lalu lintas hijau telah menyala, jenis kendaraan yang mengantre di setiap arah, jumlah penyeberang jalan yang menunggu, dan keberadaan kendaraan yang perlu diprioritaskan di setiap arah.

II. KAJIAN PUSTAKA

Salah satu penerapan SAW yang dapat ditemukan adalah untuk membangun sistem pengambilan keputusan saat diadakan pembagian bonus untuk karyawan [4]. Dalam penerapan ini digunakan 4 buah kriteria, yaitu masa kerja, jabatan, fungsi kerja dan hasil kerja. Masing-masing kriteria diberi bobot berdasarkan tingkat kepentingannya, kemudian membuat matriks keputusan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan dan melakukan normalisasi matriks berdasarkan persamaan yang disesuaikan dengan jenis atributnya. Dengan perhitungan menggunakan metode SAW ini didapat hasil perhitungan yang obyektif.

Algoritma tersebut dirancang agar fleksibel dan mudah beradaptasi pada setiap konfigurasi persimpangan [5]. Sistem yang dikembangkan juga dapat dikendalikan oleh operator.

Dalam hal ini operator bisa mengatur variabel dari pusat kendali dan menentukan kebutuhan masing-masing arah persimpangan. Pada penelitian ini digunakan sebuah *conflicts matrix*, yang menunjukkan semua kemungkinan konflik yang terjadi pada suatu persimpangan jalan tersebut. Yang perlu diperhatikan di sini adalah bagaimana mengatur lampu lalu lintas, tetapi masih harus juga diperhatikan hal-hal yang lain, seperti pengaruh pusat kendali, pengaturan pejalan kaki, jalur kendaraan khusus (bus, taksi). Setiap persimpangan jalan mempunyai sifat atau keadaan yang berbeda, sehingga parameter yang digunakan tidaklah selalu sama.

Secara umum, penelitian tentang lampu lalu lintas difokuskan pada penjadwalan yang sesuai dengan fungsinya, yaitu mengurangi kemacetan, mengutamakan kendaraan yang khusus (misal ambulans atau pemadam kebakaran) dan pengaturan jadwal sesuai dengan situasi dan kondisi pejalan kaki [6]. Satu faktor lagi yang mempengaruhi pengaturan jadwal lampu lalu lintas adalah jam sibuk, yaitu jam-jam dimana kendaraan di jalan sedang padat-padat. Misalnya jam berangkat sekolah/kantor dan jam pulang kantor, tengah malam. Hal ini perlu menjadi pertimbangan untuk pengaturan lama tunggu pada setiap persimpangan. Karena banyaknya aspek yang harus dipertimbangkan, maka perlu adanya suatu sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan dalam sistem pengelolaan data, yang mampu meningkatkan pengendalian kemacetan dengan efektif.

Perhitungan dan pengaturan lampu lalu lintas adaptif perlu dilakukan pada saat lampu lalu lintas sedang beroperasi dan mengambil nilai-nilai dari keadaan saat itu juga untuk dilakukan perhitungan agar mendapatkan hasil yang nyata. Seperti pada penelitian yang menggunakan algoritma genetik untuk mengoptimasi pengendalian lampu lalu lintas [7]. Hasil yang didapatkan dalam percobaan pada jalan dengan tingkat kepadatan yang tinggi, sedang dan rendah adalah penurunan kemacetan sebesar 12,9% jika dibandingkan tanpa menggunakan sistem optimasi.

Penerapan suatu algoritma pada lampu lalu lintas adaptif dapat memiliki hasil yang berbeda-beda berdasarkan tingkat kepadatan jalur yang dijadikan objek pengamatan. Terdapat penelitian lampu lalu lintas adaptif yang difokuskan pada jalur perkotaan yang padat [2]. Metode yang digunakan adalah metode pemrograman dasar, yaitu pemrograman sekuensial namun ditambahkan dengan pembacaan keadaan sensor. Hasil dari penerapan metode tersebut adalah lalu lintas yang lebih lancar jika dibandingkan dengan lampu lalu lintas biasa tanpa menggunakan sensor.

Pada penelitian yang berjudul Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Estimasi Panjang Antrean Menggunakan Pengolahan Citra, penulis bertujuan mengatur lama lampu lalu lintas menyala berdasarkan panjang antrean pada persimpangan, dengan mengukur menggunakan kamera dan pengolahan citra digital yang kemudian dihitung dengan menggunakan logika *Fuzzy*, sehingga memperoleh hasil lama nyala lampu yang berubah-ubah sesuai dengan sebaran kepadatan antrean kendaraan [8]. Dari hasil penelitian ini

disebutkan bahwa hasil yang paling maksimal didapat pada siang hari atau pada saat cuaca cerah.

Sebelum menerapkan pada lalulintas yang sebenarnya, analisa dan perbaikan kualitas sistem dapat dilakukan menggunakan simulasi yang dapat menampilkan keadaan sebenarnya dari lalulintas yang dijadikan obyek penelitian. Simulasi dengan tujuan tersebut dapat dibangun dengan berbasis MATLAB [9]. Simulasi dapat dibangun semirip mungkin dengan keadaan yang ada di lapangan agar hasil yang diberikan oleh simulasi mendekati hasil di lapangan. Di samping pembuatan simulasi, metode optimasi pengaturan kemacetan juga dapat diterapkan pada simulasi tersebut yang nantinya dapat diterapkan pada sistem di lapangan.

Berbeda dengan penelitian yang berjudul Desain Pengatur Lampu Lalu Lintas Adaptif Dengan Kendali Logika *Fuzzy*, yang dilakukan Erwan, Oyas dan Selo. Metode yang dipakai juga dikendalikan menggunakan logika Fuzzy [10]. Penelitian ini menyebutkan bahwa metode Fuzzy digunakan untuk menentukan lamanya waktu nyala lampu hijau berdasarkan 3 *input*, yaitu jumlah antrean kendaraan, waktu tunggu dan prediksi kepadatan. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan hasil keputusan yang didapat dengan menggunakan beberapa metode *defuzzifikasi* pada fuzzy tipe Mamdani. Metode *defuzzifikasi* yang dibandingkan adalah metode *centroid*, *bisector*, *mean of maximum*, *largest of maximum* dan *smallest of maximum*. Dan hasil penelitian ini mengatakan bahwa metode *defuzzifikasi* yang memberikan hasil lebih baik adalah *centroid* dan *bisector*, karena perubahan keluaran yang dihasilkan cenderung lebih halus.

Evaluasi terhadap penerapan sistem lampu lalulintas adaptif telah dilakukan pada sistem nyata, salah satunya di Istanbul, Turki [11]. Sistem lalulintas adaptif yang dievaluasi adalah sistem yang menggunakan ATAK yang dikembangkan oleh ISBAK Inc., di Turki. Sistem tersebut menggunakan algoritma genetik dan algoritma fuzzy untuk mengoptimalkan kinerja sistem tersebut. Hasil penerapan sistem adaptif tersebut memberikan hasil yang cukup baik dengan meningkatkan kelancaran lalulintas sekitar 15% dari biasanya.

Simple Additive Weighting (SAW) merupakan suatu metode yang mendukung pengambilan keputusan dengan atribut lebih dari satu (*multiple attribute decision making*), yaitu dengan melakukan pembobotan pada semua kriteria dan alternatif, sehingga dapat menghasilkan nilai rujukan yang tepat. Konsep dasarnya adalah menjumlahkan bobot dari setiap alternatif pada semua atribut. Metode ini dipilih untuk penelitian tersebut karena masalah dalam penelitian ini melibatkan lebih dari satu kriteria, yaitu panjang antrean, jumlah dan jenis kendaraan, jumlah penyeberang, dan durasi lampu merah/hijau di suatu persimpangan. Diharapkan dengan menggunakan metode SAW ini, dapat mendukung pencapaian tujuan secara optimal, yaitu mengatur waktu tunggu berdasarkan jumlah kendaraan yang berada di sekitar suatu persimpangan jalan.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode SAW untuk menentukan solusi berdasarkan kriteria yang digunakan. Solusi yang dimaksud adalah penentuan lampu lalulintas mana yang harus menyala hijau dan sampai kapan lampu lalulintas tersebut menyala hijau berdasarkan kriteria yang digunakan. Kriteria yang berperan dalam pengambilan keputusan adalah: panjang antrean kendaraan di setiap arah, jumlah dan jenis kendaraan di setiap arah, jumlah penyeberang jalan yang hendak menyeberang, durasi lampu lalulintas hijau dan lampu lalulintas merah yang sedang menyala, dan keberadaan kendaraan darurat yang perlu diutamakan seperti mobil ambulance, dan mobil pemadam kebakaran.

Panjang antrean di setiap arah menjadi kriteria pengambilan keputusan karena hal tersebut menjadi salah satu hal yang mendasari kemacetan dan keresahan pengguna jalan. Panjangnya antrean umumnya disebabkan oleh padatnya jumlah kendaraan yang melewati arah tersebut namun memiliki faktor henti yang besar, seperti sempitnya ruas jalan, adanya kecelakaan dan juga durasi lampu hijau yang terlalu singkat pada simpangan jalan. Maka semakin panjang antrean kendaraan pada suatu lajur, semakin besar pula kemungkinan lajur tersebut mendapatkan giliran lampu lalulintas hijau.

Beberapa jenis kendaraan yang umum ditemukan di jalan umum adalah sepeda motor, mobil, dan bus. Jumlah mobil, sepeda motor, dan bus setiap arah akan berbeda berdasarkan jenis distrik pada arah tersebut. Jika pada satu arah hanya terdapat antrean 4 buah bus, sedangkan arah lainnya hanya terdapat 8 buah sepeda motor, jika sistem hanya memperhatikan panjang antrean saja tentu akan memilih antrean bus untuk dijalankan terlebih dahulu, padahal jika dilihat, penumpukan kendaraan lebih banyak kendaraan terjadi pada arah yang hanya terdiri dari sepeda motor saja. Untuk itu diperlukan juga pengambilan keputusan berdasarkan jumlah dan jenis kendaraan pada setiap arah. Semakin banyak jumlah kendaraan pada suatu arah, maka akan semakin tinggi kemungkinan arah tersebut diberikan giliran lampu lalulintas hijau.

Semakin lama lampu lalulintas hijau pada suatu arah persimpangan maka akan semakin baik bagi pengendara dari arah tersebut, namun akan mengecewakan penyeberang jalan yang harus menunggu terlalu lama. Tentu penyeberang jalan harus mengalah demi kelancaran lalu lintas, namun waktu tunggu penyeberang jalan akan cukup lama jika lampu lalulintas yang dipasang adalah lampu lalulintas adaptif karena akan mendahulukan kendaraan. Pada sistem lampu lalulintas yang diusulkan tersebut mempertimbangkan banyaknya jumlah penyeberang jalan yang mengantre pada arah yang sedang berlampu lalulintas hijau. Semakin banyak antrean penyeberang pada lalulintas tersebut maka akan lebih besar kemungkinan lampu lalulintas pada arah tersebut dimatikan demi keadilan bagi penyeberang jalan.

Jika arah pada suatu lintasan terlalu padat dan arah lain terbilang sepi, maka lajur yang padat tersebut akan mendapatkan kesempatan menyala lebih lama. Semakin lama durasi lampu lalulintas menyala hijau pada suatu arah,

semakin lama pula waktu tunggu pengendara di arah lain. Hal ini mengakibatkan kurang nyamannya pengguna jalan pada arah yang lain. Selain itu, jika di salah satu arah adalah distrik yang sangat sepi yang sangat berbeda dengan tiga arah lain, maka ada kemungkinan lajur sepi tersebut tidak akan mendapatkan kesempatan menyala lampu lalu lintas hijau. Hal tersebut membuat pengendara dari arah tersebut harus menunggu tak berkesudahan, dan ini merupakan hal yang tidak benar. Oleh karena itu, lama durasi lampu lalu lintas hijau dan merah perlu diperhatikan dalam menentukan lampu lalu lintas yang menyala. Semakin lama lampu hijau menyala pada suatu arah, maka semakin besar kemungkinan lajur lain akan terpilih. Semakin lama lampu lalu lintas merah telah menyala pada suatu arah, maka semakin besar kemungkinan arah tersebut mendapatkan giliran menyala lampu lalu lintas hijau.

Beberapa kendaraan khusus yang harus diutamakan perlu mendapat perlakuan khusus demi keselamatan bersama. Tentu kendaraan dari arah yang mendapatkan giliran lampu lalu lintas hijau perlu mengalah jika kendaraan yang perlu diutamakan berasal dari arah yang berlampu lalu lintas merah, namun terkadang pengguna kendaraan kurang memahami aturan tersebut ataupun merasa khawatir akan mengganggu lalu lintas sehingga membiarkan kendaraan yang perlu didahulukan menjadi tetap menunggu. Untuk menghindari masalah ini, lampu lalu lintas adaptif juga perlu menghidupkan lampu lalu lintas yang dari arahnya terdapat kendaraan yang perlu didahulukan.

Kelima kriteria yang diperhatikan ini menjadi kriteria yang diperlukan dalam pengambilan keputusan menggunakan metode SAW. Berdasarkan metode yang digunakan, setiap kriteria yang terlibat dalam metode SAW perlu dinormalisasi terlebih dahulu agar semua kriteria memiliki kesamaan nilai dalam perhitungannya ke depan. Nilai normal dari panjang antrean, jumlah kendaraan, jumlah penyeberang, dan lamanya lampu lalu lintas hijau telah menyala dihitung dengan rumus:

$$r_i = \frac{x_i}{\max_i(x_i)} \quad (1)$$

Dimana:

r_i : Nilai normal kriteria pada arah i

x_i : Nilai kriteria pada arah i

Kriteria lamanya lampu lalu lintas hijau menyala dicari dengan cara yang sedikit berbeda. Rumus normalisasi harus dimodifikasi dikarenakan pada sistem lampu lalu lintas ini dalam satu waktu hanya terdapat satu arah yang menyala hijau, sehingga jika dihitung nilai normalnya menggunakan rumus yang seharusnya akan selalu mendapatkan nilai normal 1. Untuk itu, rumus normalisasi dimodifikasi menjadi:

$$r_i = \frac{x_i}{s} \quad (2)$$

Dimana:

s : Durasi maksimum lampu lalu lintas hijau

Dalam penelitian ini, durasi maksimum lampu lalu lintas hijau ditentukan sebesar 24 detik yang merupakan durasi yang berimbang untuk lintasan minor yang mengakibatkan kepatuhan penyeberang jalan dan mengurangi penumpukan kendaraan [12]. Kriteria jumlah mobil yang perlu diutamakan tidak dilakukan normalisasi. Hal tersebut mengakibatkan arah yang terdapat kendaraan yang perlu didahulukan akan langsung mendapat giliran menyalakan lampu hijau.

Setelah semua kriteria mendapatkan nilai normalnya, dilakukan pembobotan kriteria. Bobot kriteria yang digunakan tertulis pada Tabel 1. Bobot kriteria ini ditentukan berdasarkan prioritas kriteria dan hasil uji coba pembobotan kriteria dengan beragam kombinasi persentase. Jumlah kendaraan darurat mendapatkan bobot 100% dikarenakan kriteria tersebut adalah kriteria prioritas dimana dalam penerapannya, lampu lalu lintas arah tersebut harus menyala hijau untuk memberi jalan kepada kendaraan darurat. Kriteria selain jumlah kendaraan darurat memperoleh bobot sedemikian besarnya dikarenakan persentase tersebut merupakan kombinasi persentase kriteria terbaik yang berhasil diperoleh ketika simulasi uji coba dilakukan dengan memperhatikan rata-rata durasi lampu lalu lintas hijau menyala, jumlah giliran setiap arah mendapatkan giliran lampu lalu lintas hijau dalam satu periode tertentu, panjangnya antrean kendaraan, serta antrean penyeberang.

TABEL 1
PEMBOBOTAN KRITERIA

Keterangan Kriteria	Bobot
Panjang antrean	30%
Jumlah kendaraan	40%
Jumlah penyeberang	10%
Jumlah kendaraan darurat	100%
Durasi lampu lalu lintas hijau	20%

Nilai bobot yang telah ditentukan kemudian dikalikan dengan nilai hasil normalisasi setiap kriteria dan kemudian semua nilai kriteria dijumlah dengan:

$$V_i = \sum_{j=1}^4 w_j r_{ij} - w_5 r_{i5}$$

(3)

Dimana:

V_i : Nilai prioritas arah ke- i

w_j : Nilai bobot kriteria ke- j

r_{ij} : Nilai normal arah ke- i kriteria ke- j

Arah dengan nilai V tertinggi akan mendapatkan prioritas untuk menyala lampu lalu lintas hijau setelah lampu lalu lintas terakhir menyala merah. Namun, jika hanya berdasarkan pada nilai V , arus lalu lintas akan menjadi sedikit kacau. Ketika nilai V setiap arah hanya memiliki sedikit selisih nilai maka persimpangan tersebut hanya dapat melewati sedikit kendaraan dan akan membingungkan kendaraan yang antre di belakangnya yang belum siap untuk berhenti. Oleh karena itu dibutuhkan waktu minimal untuk setiap arah. Waktu minimal yang ditentukan adalah 12 detik, dimana durasi tersebut adalah

setengah dari durasi maksimum yang sebelumnya telah ditentukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan dibangun menggunakan simulasi yang dapat memunculkan tumpukan antrean dengan jumlah acak dan dengan kapasitas tertentu yang disesuaikan seperti keadaan di jalan raya yang tingkat kepadatan lalulintas sedang. Jenis kendaraan yang dapat dihadirkan adalah sepeda motor, mobil, Bus dan kendaraan yang perlu diutamakan. Keempat jenis kendaraan tersebut memiliki perbedaan dimensi dan persentase kehadiran per detik yang dituliskan pada Tabel 2.

TABEL 2
 DIMENSI DAN PERSENTASE KEHADIRAN KENDARAAN DALAM SIMULASI

Jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan Panjang x Lebar (m)	Persentase Kehadiran
Tanpa Kendaraan	0x0	56%
Sepeda Motor	1x2	20%
Mobil	2x5	15%
Bus	2x10	8%
Kendaraan Utama	2x5	1%

Dimensi kendaraan pada Tabel 2 ditentukan berdasarkan dimensi kendaraan yang umumnya melintasi jalan-jalan di Indonesia. Terdapat berbagai macam ukuran kendaraan untuk setiap jenis kendaraan, sehingga dilakukan perhitungan rata-rata dimensi dan pembulatan nilai dimensi untuk mewakili dimensi yang digunakan dalam simulasi.

Dimensi kendaraan mempengaruhi panjang antrean kendaraan pada suatu jalan, dimana jalan yang disimulasikan memiliki lebar 4 meter, sehingga pada satu baris dapat berisikan 4 buah sepeda motor atau 2 buah kendaraan yang lain karena lebar kendaraan lain adalah 2 kali lebar sepeda motor. Persentase kehadiran adalah kemungkinan kendaraan tersebut muncul setiap detiknya. Setiap kendaraan memiliki kemungkinan untuk hadir pada detik yang sama dengan jumlah yang berbeda-beda sehingga total kendaraan pada setiap arah dapat berbeda-beda.

Kemunculan penyeberang di setiap arah juga menggunakan persentase kehadiran sebesar, yaitu 25% setiap detiknya dengan jumlah orang yang dapat perseorangan atau

berkelompok dengan jumlah orang tidak lebih dari 4 orang. Jumlah tersebut diambil berdasarkan hasil pengamatan pada suatu lalulintas yang memiliki aktivitas pejalan kaki dengan jumlah sedang.

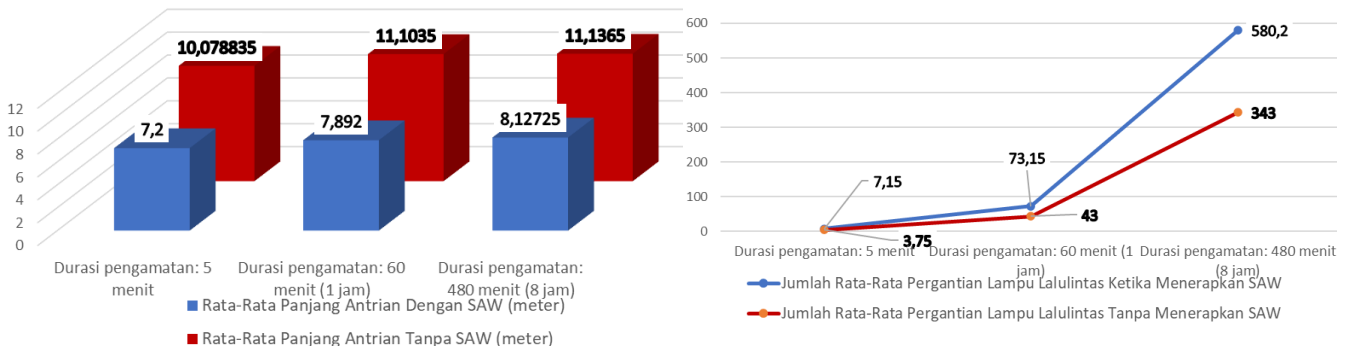
Percobaan dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari penerapan SAW pada lampu lalulintas yang dibandingkan dengan lampu lalulintas tanpa menggunakan metode apa pun (reguler). Data yang didapatkan adalah jumlah kendaraan yang melintas dari setiap arah, panjang antrean rata-rata selama durasi perhitungan, panjang antrean maksimum selama durasi perhitungan, dan total perubahan lampu hijau selama durasi perhitungan. Terdapat 3 buah durasi perhitungan untuk melihat hasil dari SAW pada durasi singkat, menengah dan panjang. Penelitian dalam durasi pendek menggunakan waktu pengamatan selama 5 menit, penelitian dalam durasi menengah menggunakan waktu pengamatan selama 1 jam, dan penelitian dalam durasi panjang menggunakan waktu pengamatan selama 8 jam. Data hasil penelitian tercantum pada Tabel 3.

Data pada Tabel 3 merupakan pencatatan data penelitian lengkap yang telah dilakukan. Terlihat bahwa terdapat perbedaan hasil ketika metode tersebut diterapkan dengan durasi yang berbeda. Pada durasi pendek, mayoritas rata-rata panjang antrean menjadi lebih pendek ketika menerapkan metode SAW, namun terdapat arah yang rata-rata panjang antreannya menjadi lebih panjang ketika menggunakan metode SAW. Pada durasi menengah dan durasi panjang, seluruh arah memiliki rata-rata panjang antrean yang lebih pendek ketika menerapkan metode SAW. Jumlah pergantian ke lampu hijau pada durasi yang pendek memiliki perbedaan yang cukup besar antara menggunakan metode SAW dan tidak menggunakan metode, namun pada durasi menengah dan panjang, persentase pertambahannya tidak sebesar ketika durasi pendek. Panjang antrean terpanjang pada durasi pendek ketika menerapkan metode SAW selalu lebih sedikit atau sama dengan ketika tidak menerapkan metode SAW, namun mayoritas pada durasi menengah dan panjang memiliki panjang antrean terpanjang yang lebih banyak daripada tanpa menerapkan metode SAW dengan selisih yang tergolong sedikit.

Tabel 3 Tabel Hasil Penelitian

Tes	Keterangan	Arah I			Arah II			Arah III			Arah IV		
		Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih
Durasi pengamatan: 5 menit													
1	Jumlah kendaraan yang melintas	363			249			224			289		
	Rata-rata panjang antrian	13,48	10,67	2,81 (20,8%)	10,47	7,42	3,05 (29,1%)	7,5167	4,18	3,34 (44,4%)	10,14	12,37	-2,23 (-22%)
	Panjang antrian terpanjang	35	30	5 (14,3%)	35	25	10 (28,6%)	22	14	8 (36,4%)	32	32	0 (0%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	4	10	-6 (-150%)	4	9	-5 (-125%)	4	9	-5 (-125%)	3	6	-3 (-100%)
2	Jumlah kendaraan yang melintas	275			297			289			310		
	Rata-rata panjang antrian	9,74	6,35	3,39 (34,8%)	10,92	6,18	4,74 (43,4%)	9,69	6,57	3,12 (32,2%)	9,49	5,74	3,75 (39,5%)
	Panjang antrian terpanjang	29	20	9 (31%)	30	19	11 (36,7%)	22	23	-1 (-4,5%)	27	17	10 (37%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	4	9	-5 (-125%)	4	8	-4 (-100%)	4	7	-3 (-75%)	3	6	-3 (-100%)
3	Jumlah kendaraan yang melintas	319			330			284			273		
	Rata-rata panjang antrian	11,41	7,96	3,45 (30,2%)	12,35	7,89	4,46 (36,1%)	9,74	7,4	2,34 (24%)	9,1	6,05	3,05 (33,5%)
	Panjang antrian terpanjang	29	23	6 (20,7%)	31	24	7 (22,6%)	29	24	5 (17,2%)	23	20	3 (13%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	4	8	-4 (-100%)	4	6	-2 (-50%)	4	6	-2 (-50%)	3	7	-4 (-133,3%)

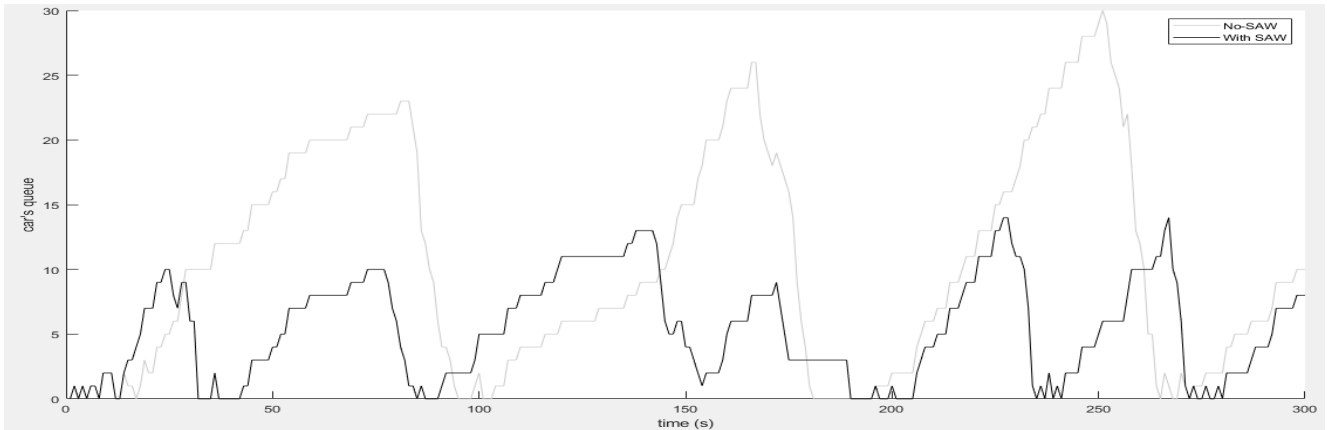
Tes	Keterangan	Arah I			Arah II			Arah III			Arah IV		
		Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih	Reg	SAW	Selisih
4	Jumlah kendaraan yang melintas	311			300			245			265		
	Rata-rata panjang antrian	11,63	10,74	0,89 (7,7%)	10,19	5,45	4,74 (46,5%)	8,41	6,01	2,4 (28,5%)	9,08	6,9	2,18 (24%)
	Panjang antrian terpanjang	38	33	5 (13,2%)	26	18	8 (30,8%)	22	16	6 (27,3%)	26	20	6 (23,1%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	4	7	-3 (-75%)	4	7	-3 (-75%)	4	7	-3 (-75%)	3	6	-3 (-100%)
5	Jumlah kendaraan yang melintas	281			305			318			274		
	Rata-rata panjang antrian	8,93	5,69	3,24 (36,3%)	9,6	7,11	2,49 (25,9%)	10,82	5,95	4,87 (45%)	8,87	7,37	1,5 (16,9%)
	Panjang antrian terpanjang	29	14	15 (51,7%)	31	20	11 (35,5%)	30	22	8 (26,7%)	29	23	6 (20,7%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	4	8	-4 (-100%)	4	6	-2 (-50%)	4	6	-2 (-50%)	3	5	-2 (-66,7%)
Durasi pengamatan: 60 menit (1 jam)													
1	Jumlah kendaraan yang melintas	3572			3536			3791			3491		
	Rata-rata panjang antrian	11,43	7,43	4 (35%)	10,76	7,37	3,39 (31,5%)	11,6	8,2	3,4 (29,3%)	10,59	7,76	2,83 (26,7%)
	Panjang antrian terpanjang	37	27	10 (27%)	38	24	14 (36,8%)	34	30	4 (11,8%)	31	27	4 (12,9%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	43	79	-36 (-83,7%)	43	75	-32 (-74,4%)	43	68	-25 (-58,1%)	43	71	-28 (-65,1%)
2	Jumlah kendaraan yang melintas	3543			3660			3756			3728		
	Rata-rata panjang antrian	11,13	7,22	3,91 (35,1%)	11,85	8,67	3,18 (26,8%)	11,08	7,96	3,12 (28,2%)	11,13	8,71	2,42 (21,7%)
	Panjang antrian terpanjang	34	33	1 (2,9%)	37	34	3 (8,1%)	36	33	3 (8,3%)	33	38	-5 (-15,2%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	43	75	-32 (-74,4%)	43	73	-30 (-69,8%)	43	73	-30 (-69,8%)	43	75	-32 (-74,4%)
3	Jumlah kendaraan yang melintas	3694			3686			3559			3358		
	Rata-rata panjang antrian	11,51	7,52	3,99 (34,7%)	10,75	8,07	2,68 (24,9%)	11,09	8,06	3,03 (27,3%)	10,2	7,39	2,81 (27,5%)
	Panjang antrian terpanjang	36	39	-3 (-8,3%)	36	34	2 (5,6%)	36	35	1 (2,8%)	36	29	7 (19,4%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	43	75	-32 (-74,4%)	43	72	-29 (-67,4%)	43	68	-25 (-58,1%)	43	71	-28 (-65,1%)
4	Jumlah kendaraan yang melintas	3571			3780			3519			3757		
	Rata-rata panjang antrian	11,3	8,03	3,27 (28,9%)	11,11	8,35	2,76 (24,8%)	10,37	7,08	3,29 (31,7%)	11,49	7,93	3,56 (31%)
	Panjang antrian terpanjang	37	35	2 (5,4%)	36	33	3 (8,3%)	31	24	7 (22,6%)	33	48	-15 (-45,5%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	43	81	-38 (-88,4%)	43	69	-26 (-60,5%)	43	73	-30 (-69,8%)	43	76	-33 (-76,7%)
5	Jumlah kendaraan yang melintas	3627			3362			3482			3609		
	Rata-rata panjang antrian	11,34	8,47	2,87 (25,3%)	11,19	8,83	2,36 (21,1%)	10,58	7,12	3,46 (32,7%)	11,57	7,67	3,9 (33,7%)
	Panjang antrian terpanjang	31	32	-1 (-3,2%)	33	39	-6 (-18,2%)	34	37	-3 (-8,8%)	40	31	9 (22,5%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	43	69	-26 (-60,5%)	43	68	-25 (-58,1%)	43	77	-34 (-79,1%)	43	75	-32 (-74,4%)
Durasi pengamatan: 480 menit (8 jam)													
1	Jumlah kendaraan yang melintas	29234			28841			28508			28758		
	Rata-rata panjang antrian	11,32	8,18	3,14 (27,7%)	11,18	8,52	2,66 (23,8%)	11,07	7,79	3,28 (29,6%)	11,28	8,19	3,09 (27,4%)
	Panjang antrian terpanjang	38	42	-4 (-10,5%)	43	43	0 (0%)	41	42	-1 (-2,4%)	42	51	-9 (-21,4%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	343	574	-231 (-67,3%)	343	564	-221 (-64,4%)	343	578	-235 (-68,5%)	343	577	-234 (-68,2%)
2	Jumlah kendaraan yang melintas	28931			28640			29175			28383		
	Rata-rata panjang antrian	11,28	8,23	3,05 (27%)	11,15	7,89	3,26 (29,2%)	11,2	8,135	3,065 (27,4%)	10,8	8,04	2,76 (25,6%)
	Panjang antrian terpanjang	40	41	-1 (-2,5%)	41	45	-4 (-9,8%)	39	36	3 (7,7%)	40	39	1 (2,5%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	343	578	-235 (-68,5%)	343	603	-260 (-75,8%)	343	588	-245 (-71,4%)	343	585	-242 (-70,6%)
3	Jumlah kendaraan yang melintas	28570			28383			28446			28556		
	Rata-rata panjang antrian	11,08	7,9	3,18 (28,7%)	10,89	8,1	2,79 (25,6%)	10,95	8,14	2,81 (25,7%)	11,15	7,95	3,2 (28,7%)
	Panjang antrian terpanjang	42	42	0 (0%)	40	45	-5 (-12,5%)	39	42	-3 (-7,7%)	37	39	-2 (-5,4%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	343	587	-244 (-71,1%)	343	574	-231 (-67,3%)	343	579	-236 (-68,8%)	343	590	-247 (-72%)
4	Jumlah kendaraan yang melintas	28669			28880			29071			29030		
	Rata-rata panjang antrian	11,06	8,15	2,91 (26,3%)	11,07	8,14	2,93 (26,5%)	11,42	8,25	3,17 (27,8%)	11,17	8,2	2,97 (26,6%)
	Panjang antrian terpanjang	38	39	-1 (-2,6%)	36	37	-1 (-2,8%)	41	46	-5 (-12,2%)	38	43	-5 (-13,2%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	343	580	-237 (-69,1%)	343	579	-236 (-68,8%)	343	570	-227 (-66,2%)	343	584	-241 (-70,3%)
5	Jumlah kendaraan yang melintas	28653			29017			28977			28808		
	Rata-rata panjang antrian	11,05	8,06	2,99 (27,1%)	11,24	8,49	2,75 (24,5%)	11,16	8,07	3,09 (27,7%)	11,21	8,12	3,09 (27,6%)
	Panjang antrian terpanjang	38	43	-5 (-13,2%)	40	40	0 (0%)	40	44	-4 (-10%)	36	42	-6 (-16,7%)
	Jumlah pergantian ke lampu hijau	343	587	-244 (-71,1%)	343	566	-223 (-65%)	343	583	-240 (-70%)	343	578	-235 (-68,5%)



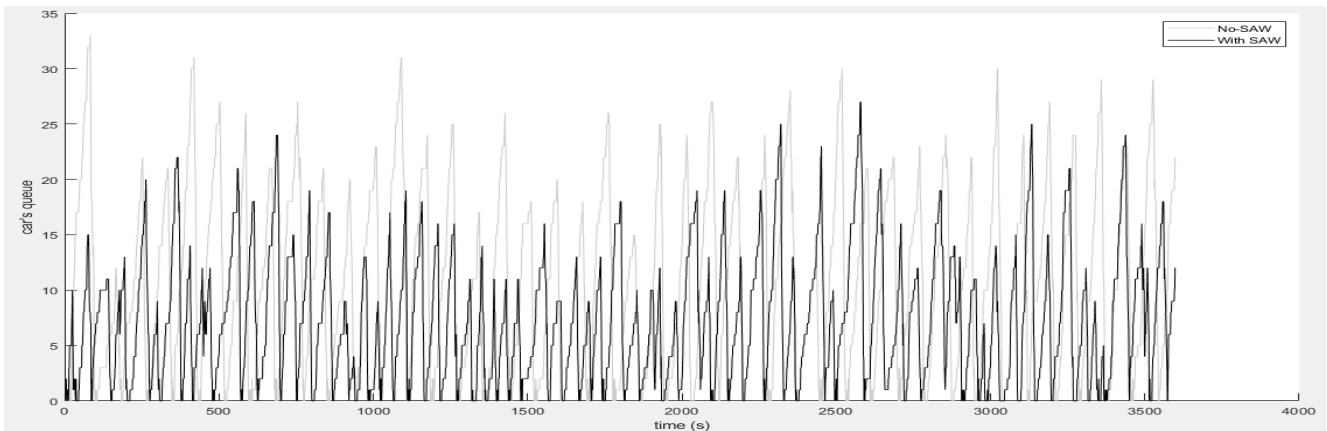
GAMBAR 1. Perbandingan rata-rata panjang antrian di setiap simpangan dan perbandingan jumlah rata-rata pergantian lampu lalulintas

Data pada Tabel 3 dapat dihitung nilai rata-rata dari panjang antrean dan jumlah pergantian lampu lalu lintas untuk setiap periode durasi dengan menerapkan SAW dan tanpa menerapkan SAW. Seperti yang telah disajikan pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa penerapan SAW untuk lampu lalu lintas adaptif tersebut berhasil memperpendek

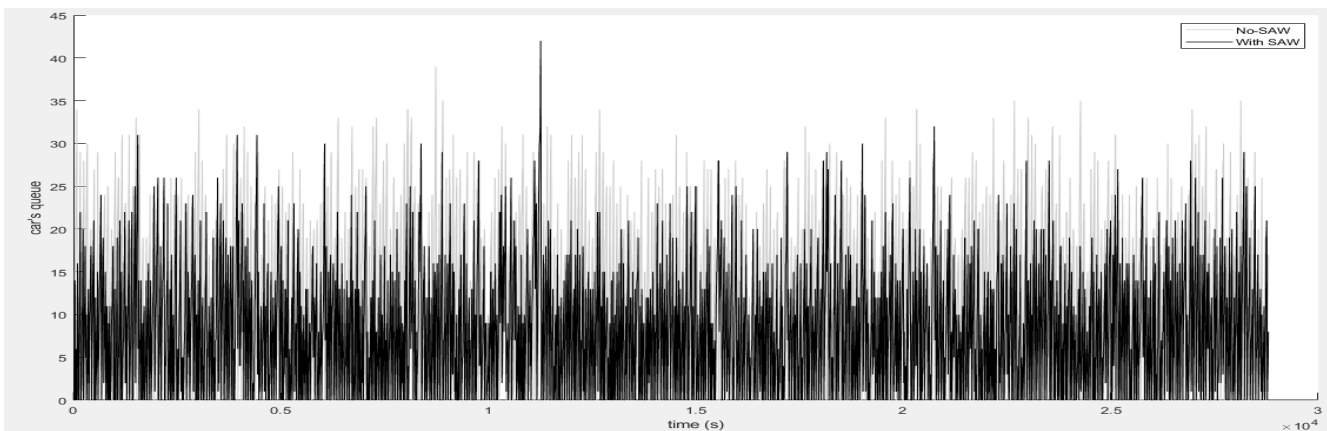
antrean sekitar 28% namun diimbangi dengan peningkatan jumlah pergantian lampu lalu lintas yang cukup signifikan terutama pada durasi pendek yaitu sekitar 90%, namun untuk durasi menengah dan panjang turun menjadi sekitar 70%.



GAMBAR 2. Pengamatan dengan durasi pendek (5 menit)



GAMBAR 3. Pengamatan dengan durasi sedang (1 jam)



GAMBAR 4. Pengamatan dengan durasi panjang (8 jam)

Selain berdasarkan data di Tabel 3 dan juga nilai rata-rata pada Gambar 1, perlu dilakukan peninjauan terhadap keadaan yang terjadi pada lalulintas. Keadaan pada lalulintas dapat dilihat dari grafik pada Gambar 2 hingga Gambar 4. Grafik tersebut membandingkan setiap arah yang menerapkan SAW dengan grafik yang tidak menerapkan SAW pada durasi pendek, menengah dan panjang. Sumbu horizontal grafik tersebut merupakan garis waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu vertikal merupakan panjang antrean kendaraan dalam satuan meter. Dari grafik dapat terlihat bahwa dalam durasi pendek, antrean kendaraan terpanjang lebih pendek setelah menerapkan SAW, serta pergantian lampu lalulintas semakin cepat yang dapat dilihat dari naik-turun jumlah antrean kendaraan. Berdasarkan grafik dengan durasi menengah, dapat di lihat bahwa beberapa gelombang pada sistem yang menerapkan SAW sebelum menyentuh dasar grafik atau jumlah antrean kendaraan 0 grafik kembali bergerak ke atas, dimana hal ini menjelaskan bahwa giliran lampu lalulintas hijau akan berpindah walaupun antrean kendaraan di arah tersebut belum habis. Dari grafik dengan durasi panjang terlihat bahwa lintasan yang menerapkan SAW memiliki rata-rata antrean kendaraannya yang lebih rendah daripada ketika tidak menerapkan SAW. Walaupun jumlah antrean kendaraan terpanjang dimiliki oleh lintasi yang menerapkan SAW, jumlah antrean yang banyak itu hanya terjadi hanya satu kali.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba, lampu lalulintas adaptif telah berhasil dibangun menggunakan metode SAW, yaitu lampu lalulintas yang dapat mengubah nyala lampu merah-hijau berdasarkan kondisi di lapangan dengan memperhatikan panjang antrean, jumlah dan jenis kendaraan, jumlah penyeberang jalan, keberadaan kendaraan darurat, dan lamanya lampu hijau yang sedang menyala. Metode SAW yang diterapkan pada lampu lalulintas dapat membantu penurunan jumlah tumpukan antrean pada persimpangan dengan rata-rata penurunan antrean sekitar 28% yang berarti lalulintas pada persimpangan tersebut menjadi lebih lancar. Di samping manfaat yang baik untuk lalulintas, terdapat sedikit masalah untuk pengguna jalan dikarenakan urutan arah yang mendapat lampu hijau jadi tidak menentu dan meningkatnya jumlah perpindahan giliran lampu hijau lalulintas dimana penambahan yang terjadi sebanyak 91% jika dihitung pada durasi yang singkat (5 menit), sekitar 70% jika dihitung pada durasi yang panjang.

PERAN PENULIS

Andri Suhartono: Berkontribusi pada seluruh proses pembuatan metode, pengumpulan data, uji coba, dan penulisan manuskrip penelitian ini.

COPYRIGHT



This work is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Wiering, J. van Veenen, J. Vreeken, and A. Koopman, "Intelligent traffic light control." Utrecht University: Information and Computing Sciences, 2004.
- [2] S. K. Subramaniam, M. Esro, and F. L. Aw, "Self-algorithm traffic light controllers for heavily congested urban route," *WSEAS Trans. Circuits Syst.*, vol. 11, no. 4, pp. 115–124, 2012.
- [3] F. Baker, "The technology that could end traffic jams," 2018. <https://www.bbc.com/future/article/20181212-can-artificial-intelligence-end-traffic-jams>.
- [4] M. A. Dewi, "Penggunaan Simple Additive Weighting Dalam Pengembangan Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Bonus Karyawan," *Ultim. InfoSys J. Ilmu Sist. Inf.*, vol. 9, no. 1, pp. 45–50, 2018.
- [5] S. Faye, C. Chaudet, and I. Demeure, "A distributed algorithm for adaptive traffic lights control," in *2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2012, pp. 1572–1577.
- [6] A. S. Arifin, F. Y. Zulkifli, and others, "Recent development of smart traffic lights," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 10, no. 1, p. 224, 2021.
- [7] J. Lee, B. Abdulhai, A. Shalaby, and E.-H. Chung, "Real-time optimization for adaptive traffic signal control using genetic algorithms," *J. Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 111–122, 2005.
- [8] A. Adzikirani, R. A. Asmara, D. K. P. A. Kusbianto, and others, "Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Estimasi Panjang Antrian Menggunakan Pengolahan Citra," *J. Inform. Polinema*, vol. 3, no. 3, p. 20, 2017.
- [9] F. Wang, C. Ye, Y. Zhang, and Y. Li, "Simulation analysis and improvement of the vehicle queuing system on intersections based on MATLAB," *Open Cybern. & Syst. J.*, vol. 8, no. 1, 2014.
- [10] E. E. Prasetyo, O. Wahyunggoro, and S. Sulistyono, "Desain Pengatur Lampu Lalu Lintas Adaptif dengan Kendali Logika Fuzzy," *SEMNAS TEKNOMEDIA ONLINE*, vol. 3, no. 1, pp. 3–7, 2015.
- [11] F. Gündoğlan, Z. Karagoz, N. Kocyigit, A. Karadag, H. Ceylan, and Y. Sazi Murat, "An evaluation of adaptive traffic control system in istanbul, turkey," *J. Traffic Logist. Eng. Vol.*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [12] N. A. o. C. T. Officials, "Urban Street Design Guide," National Association of City Transportation Officials." <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/intersection-design-elements/traffic-signals/signal-cycle-lengths/>.