

# Pemodelan matematika arus lalu lintas dan solusi waktu tunggu optimal di persimpangan jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya

<sup>1</sup>Rona Mentari, <sup>2</sup>Rosni Dwi Nurhayati, <sup>3</sup>Sandy Ihsan Amarullah  
<sup>1,2,3</sup>Universitas Siliwangi, Indonesia

## INFO ARTIKEL

### Sejarah artikel:

Diterima  
20 Oktober 2024  
Disetujui  
12 November 2024  
Diterbitkan  
25 November 2024

### Penulis Korespondensi\*:

Rona Mentari  
Universitas Siliwangi,  
Indonesia  
212151512@student.unsil.a  
c.id



©2023 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Akuntansi, Institut Koperasi Indonesia. Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC BY NC (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

## ABSTRAK

Salah satu persimpangan dengan arus lalu lintas yang padat di Kota Tasikmalaya adalah di persimpangan Jl. Padayungan. Sehingga dibutuhkan upaya untuk perbaikan dalam manajemen lalu lintas, serta waktu sinyal agar diperoleh kinerja arus lalu lintas yang optimal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan pemodelan arus lalu lintas dan menentukan waktu tunggu total optimal menggunakan pendekatan Graf Kompatibel. Graf Kompatibel memodelkan hubungan antara arus lalu lintas sebagai simpul (vertex) dan pasangan arus yang dapat berjalan bersamaan tanpa konflik sebagai sisi (edge). Dengan menggunakan asumsi belok kiri mengikuti lampu, waktu tunggu total optimal di persimpangan ini adalah 75 detik. Sementara itu, asumsi belok kiri tidak mengikuti lampu menghasilkan waktu tunggu total optimal sebesar 45 detik. Kedua hasil tersebut lebih efisien dibandingkan waktu tunggu aktual yang diterapkan, yaitu 109 dan 150 detik. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan graf kompatibel dapat mengoptimalkan manajemen lalu lintas di persimpangan, sehingga dapat mengurangi kemacetan dan meningkatkan kinerja lalu lintas secara keseluruhan.

Kata Kunci: Graf Kompatibel; Manajemen Lalu Lintas; Waktu Tunggu Optimal.

## ABSTRACT

*One of the intersections with heavy traffic flow in Tasikmalaya City is at the Jl. Padayungan intersection. Therefore, efforts are needed to improve traffic management and signal timing to achieve optimal traffic flow performance. This study aims to develop traffic flow modeling and determine the optimal total waiting time using the Compatible Graph approach. The Compatible Graph models the relationship between traffic flows as nodes (vertices) and pairs of flows that can move simultaneously without conflict as edges. Assuming left turns follow the traffic light, the optimal total waiting time at this intersection is 75 seconds. Meanwhile, assuming left turns do not follow the traffic light, the optimal total waiting time is 45 seconds. Both results are more efficient compared to the actual waiting times currently implemented, which are 109 and 150 seconds, respectively. This study demonstrates that the application of a compatible graph can optimize traffic management at intersections, thereby reducing congestion and improving overall traffic performance.*

*Keywords: Compatible Graph; Traffic Management; Optimal Waiting Time.*

## PENDAHULUAN

Persimpangan Jl. Padayungan di Kota Tasikmalaya merupakan salah satu titik lalu lintas yang sering mengalami kemacetan, terutama pada jam-jam sibuk, yaitu pada pagi, siang, dan sore hari. Persimpangan ini menghubungkan beberapa jalan utama yang sering dilalui kendaraan dari berbagai arah, sehingga arus kendaraan yang padat menjadi masalah yang perlu diatasi. Kemacetan pada persimpangan ini menyebabkan waktu tunggu yang lama bagi pengguna jalan, berdampak pada meningkatnya waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, dan polusi udara. Sehingga diperlukan solusi untuk mengoptimalkan waktu tunggu di persimpangan ini, agar lalu lintas dapat mengalir lebih lancar dan efisien. Maka dari itu, pada project ini penulis akan membuat pomodelan arus lalu lintas di persimpangan Jl. Padayungan dengan, serta menentukan solusi waktu tunggu optimal yang dapat meminimalkan kemacetan dan meningkatkan efisiensi arus lalu lintas.

Teori arus lalu lintas merupakan suatu kajian yang mempelajari pergerakan pengemudi dan kendaraan dari satu titik ke titik lain dan bagaimana interaksi antara pengemudi dan kendaraan mempengaruhi perilaku di jalan. Arus lalu lintas merupakan suatu peristiwa yang kompleks (Thalib, 2016). Arus lalu lintas tidak hanya dipengaruhi oleh pergerakan mobil dan sepeda motor saja, tetapi juga dipengaruhi oleh perilaku pengemudi, kondisi jalan, kepadatan kendaraan, sistem pengaturan lalu lintas dan kondisi cuaca. Menurut Lalenoh et al., 2015 (Dewi et al., 2023) arus lalu lintas merupakan banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik tertentu diruas jalan dalam periode waktu tertentu, seperti per detik, per menit, atau per jam. Berdasarkan beberapa pendapat tersebut, melalui analisis sintesis arus lalu lintas merupakan kajian mengenai pergerakan kendaraan dan pengemudi dari satu titik ke titik lain, yang dipengaruhi oleh interaksi antar- pengemudi, kondisi jalan, kepadatan, sistem pengaturan lalu lintas, serta faktor cuaca dalam periode waktu tertentu.

Waktu tunggu optimal lampu merah adalah durasi berhenti yang paling efisien di persimpangan sehingga kendaraan dapat bergerak lancar dan bergantian secara teratur tanpa menyebabkan penumpukan yang berlebihan atau keterlambatan yang tidak perlu (Huang, 2024). Durasi ini ditetapkan untuk menyeimbangkan arus lalu lintas dari setiap arah, meminimalkan waktu tunggu total bagi semua kendaraan di persimpangan, Serta memaksimalkan kapasitas jalan berdasarkan jumlah kendaraan yang melintasi titik tersebut. Selain itu, waktu tunggu ini bertujuan untuk menyeimbangkan arus lalu lintas dari setiap arah, meminimalkan waktu tunggu total bagi seluruh kendaraan, dan mengurangi potensi kemacetan. Dengan waktu tunggu optimal, efisiensi penggunaan kapasitas jalan dapat ditingkatkan berdasarkan jumlah kendaraan yang melintas di titik tersebut. Hal ini tidak hanya membantu mengurangi stres pengendara tetapi juga mendukung kelancaran transportasi secara keseluruhan.

Penelitian ini relevan dengan beberapa penelitian terdahulu yang berfokus pada pemodelan matematika arus lalu lintas dan pengoptimalan waktu tunggu di persimpangan. Diantaranya adalah studi oleh Wang et al. (2019) menggunakan model dinamis stokastik untuk mengelola aliran lalu lintas perkotaan, dengan fokus pada optimasi throughput, pengurangan kemacetan, dan kepuasan pengemudi melalui algoritma kontrol optimal. Studi ini menunjukkan pentingnya menggunakan algoritma adaptif berbasis prinsip optimalitas Bellman untuk menyelesaikan masalah lalu lintas di persimpangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Lusiani et al. (2020) memanfaatkan graf kompatibel untuk menentukan waktu tunggu optimal di persimpangan, seperti pada kasus persimpangan Pasteur, Bandung. Dengan pendekatan ini, mereka mengurangi waktu tunggu rata-rata dari 282 detik menjadi 135 detik. Selain itu, Heidemann (1991) mengembangkan pendekatan teori antrian untuk mendistribusikan panjang antrian dan waktu tunggu di persimpangan prioritas dengan asumsi distribusi kedatangan kendaraan mengikuti hukum Poisson. Model ini relevan untuk menghitung waktu tunggu rata-rata dan distribusi antrian kendaraan, yang dapat diterapkan pada studi di Tasikmalaya. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan pendekatan sebelumnya dalam penggunaan teori antrian, model graf, dan algoritma optimasi untuk mengurangi waktu tunggu di persimpangan. Temuan-temuan tersebut dapat digunakan sebagai landasan untuk menerapkan model matematika yang lebih spesifik dan solusi optimal di Kota Tasikmalaya.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pemodelan arus lalu lintas dan menentukan waktu tunggu total optimal menggunakan pendekatan Graf Kompatibel. Graf Kompatibel adalah salah satu cabang ilmu yang umumnya digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan mengatur data dalam urutan tertentu (Kusmira & Taufiqurrochman, 2017; Tanveer, 2017). Graf Kompatibel memodelkan hubungan antara arus lalu lintas sebagai simpul (vertex) dan pasangan arus yang dapat berjalan bersamaan tanpa konflik sebagai sisi (*edge*) (Farida et al., 2020). Melalui pendekatan ini, setiap arus lalu lintas diwakili dalam graf, di mana analisis dilakukan untuk menemukan subgraf yang paling sederhana dan efisien (Fanani, 2021). Proses ini mencakup analisis waktu siklus lampu merah dan pengelompokan arus lalu lintas yang kompatibel. Dengan demikian, graf kompatibel digunakan untuk menghitung waktu tunggu optimal dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan waktu sinyal lalu lintas. Hasil akhirnya diharapkan dapat meningkatkan kelancaran lalu lintas dan mengurangi kemacetan pada persimpangan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode observasi untuk mengumpulkan data. Data primer yang diperoleh meliputi jumlah jalur, volume arus lalu lintas, dan waktu tunggu di persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya. Fokus pengamatan arus lalu lintas adalah kendaraan yang bergerak lurus dari arah Utara ke Selatan serta dari arah Timur ke Barat.

Waktu pengamatan dibagi menjadi tiga berdasarkan aktivitas puncak lalu lintas. Pada pagi hari, yaitu pukul 07.00 hingga 08.00 WIB, diasumsikan bahwa volume kendaraan tinggi karena banyaknya pekerja dan pelajar/mahasiswa yang berangkat beraktivitas. Selanjutnya, pengamatan dilanjutkan pada siang hari, pukul 12.00 hingga 13.00 WIB, dengan asumsi bahwa arus lalu lintas meningkat karena waktu istirahat bekerja dan belajar, sehingga mereka mencari makan ke luar menggunakan kendaraan. Pada sore hari, antara pukul 16.00 hingga 17.00 WIB, volume kendaraan diperkirakan kembali meningkat seiring dengan jam pulang kerja dan sekolah, sehingga menciptakan arus lalu lintas yang padat di kawasan persimpangan tersebut.

Pada pemodelan ini akan dibuat dua asumsi mengenai kondisi belok kiri pada empat persimpangan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap waktu tunggu total dan efisiensi arus lalu lintas. Pada asumsi pertama, yaitu belok kiri mengikuti lampu lalu lintas, kendaraan yang ingin berbelok kiri diharuskan menunggu hingga lampu hijau menyala, sehingga waktu tunggu menjadi lebih lama. Asumsi ini umumnya diterapkan untuk menghindari bersebrangan arus dengan kendaraan lain. Sementara itu, pada asumsi kedua, belok kiri tidak mengikuti lampu lalu lintas, kendaraan yang akan berbelok kiri diperbolehkan langsung melintas meskipun lampu sedang merah. Asumsi ini bertujuan mengurangi waktu tunggu, memperlancar arus lalu lintas, dan mengurangi potensi penumpukan kendaraan terutama pada jam-jam sibuk di tiap persimpangan.

Selain itu, dalam model ini faktor eksternal diabaikan agar analisis lebih sederhana dan fokus pada hal-hal utama. Faktor eksternal yang diabaikan adalah jumlah kendaraan yang melintas. Artinya, model ini tidak memperhitungkan perubahan jumlah kendaraan yang melintas pada waktu-waktu tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kerumitan analisis dan perhitungan waktu tunggu optimal di persimpangan.

Dalam sistem lampu lalu lintas ini, diasumsikan bahwa lampu bekerja dalam siklus tetap yang berlangsung selama 60 detik. Artinya, setiap 60 detik lampu lalu lintas akan melalui rangkaian lampu hijau, kuning, dan merah secara bergantian dengan waktu yang sama setiap kali. Siklus ini diulang terus-menerus tanpa perubahan durasi untuk setiap warna lampu. Asumsi ini dibuat agar perhitungan waktu tunggu kendaraan lebih mudah dilakukan dan analisis arus lalu lintas di persimpangan menjadi lebih sederhana.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil

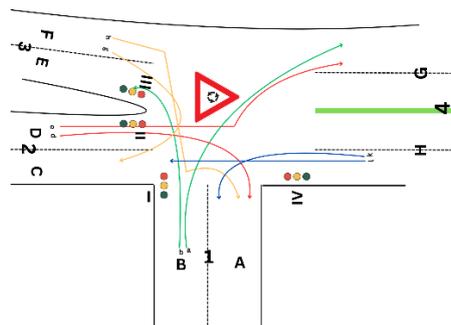
a. Sistem Pengaturan Lalu Lintas di Persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya

**Tabel 1. Lama Siklus Awal Lampu Lalu Lintas pada Persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya**

No. Lampu	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Lampu I	109	3	32
Lampu II	109	3	32
Lampu III	109	3	32
Lampu IV	150	3	60

Hasil observasi yang dilakukan pada waktu berbeda, yaitu pagi, siang, dan sore hari, menunjukkan pola siklus lampu lalu lintas di persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya. Waktu tunggu tersebut sebenarnya kurang efisien karena gkat kepadatan kendaraan yang melintas bervariasi pada pagi, siang, dan sore hari. Selain itu, ketidakseimbangan waktu tunggu menyebabkan penumpukan kendaraan di setiap persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya.

Sistem lalu lintas yang diterapkan di persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1. Sistem Lalu Lintas pada Persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya**

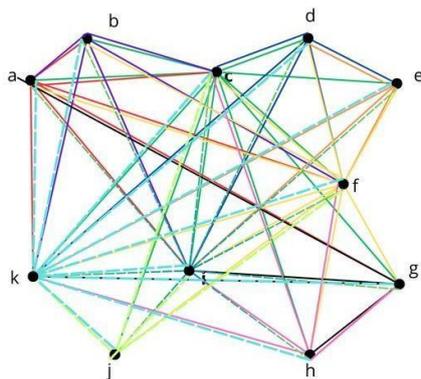
Keterangan:

1. Jl. Siliwangi
2. Jl. Perintis Kemerdekaan
3. Jl. Pembangunan
4. Jl. HZ. Mustofa

Notasi A, B, C, D, E, F, G dan H merujuk pada titik-titik lintasan di persimpangan tersebut. Sedangkan notasi a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, dan k menggambarkan arus lalu lintas dari setiap jalur.

b. Pemodelan Graf Kompatibel Arus Lalu Lintas Persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya

Arus lalu lintas dianggap kompatibel jika kedua arus yang berjalan bersamaan tidak menyebabkan kecelakaan. Berdasarkan siklus lampu lalu lintas di persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya telah dibuat model graf yang kompatibel seperti yang terlihat pada gambar 2.



**Gambar 2. Bentuk Graf yang Kompatibel pada Persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya**

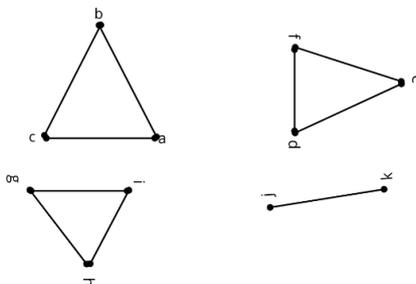
Jalur a dapat digabungkan dengan jalur b, c, f, g, i, dan k. Jalur b dapat digabungkan dengan jalur a, c, f, i, dan k. Jalur c kompatibel dengan seluruh jalur lainnya. Jalur d dapat digabungkan dengan jalur c, e, f, i, dan k. Jalur e dapat digabungkan dengan jalur d, f, i, k, dan l. Jalur f kompatibel dengan semua jalur lainnya. Jalur g dapat digabungkan dengan jalur a, h, i, k, dan l. Jalur h dapat digabungkan dengan jalur c, f, g, i, dan k. Jalur i kompatibel dengan seluruh jalur lainnya. Jalur j dapat digabungkan dengan jalur c, f, i, k, dan l. Jalur k kompatibel dengan dengan semua jalur lainnya.

c. Penerapan Graf Kompatibel untuk Menentukan Waktu Tunggu Optimal

Penentuan waktu tunggu total optimal di persimpangan Jl. Padayungan, Kota Tasikmalaya, didasarkan pada dua asumsi utama: belok kiri mengikuti aturan lampu lalu lintas dan belok kiri tanpa mengikuti aturan lampu lalu lintas.

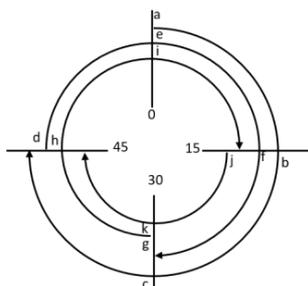
d. Asumsi belok kiri mengikuti lampu rambu-rambu lalu lintas

Sistem lalu lintas dengan asumsi belok kiri mengikuti lampu lalu lintas didasarkan pada pola arus lalu lintas yang telah dijelaskan sebelumnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Selanjutnya, sistem lalu lintas pada Gambar 1 dimodelkan menjadi subgraf lengkap yang ditampilkan di Gambar 3.



**Gambar 3. Subgraf dengan Asumsi Belok Kiri Mengikuti Lampu Lalu Lintas**

Keempat subgraf lengkap pada Gambar 3 terdiri dari dua titik dan satu titik. Visualisasinya dalam bentuk diagram jam ditampilkan pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4. Diagram Jam dengan Asumsi Belok Kiri Mengikuti Lampu Lalu Lintas**



## 5. Pembahasan

Berikut adalah perbandingan antara waktu tunggu total yang telah diterapkan dengan waktu tunggu total optimal:

**Tabel 2. Perbandingan Waktu Tunggu**

No. Lampu	Waktu Tunggu di Lapangan (detik)	Waktu Tunggu dengan Graf Kompatibel (detik) dengan asumsi belok kiri tidak mengikuti rambu-rambu lalu lintas	Waktu Tunggu dengan Graf Kompatibel (detik) dengan asumsi belok kiri mengikuti rambu-rambu lalu lintas
Lampu I	109	45	75
Lampu II	109	45	75
Lampu III	109	45	75
Lampu IV	150	45	75

Di lapangan, waktu tunggu untuk Lampu I, II, dan III masing-masing adalah 109 detik, sedangkan untuk Lampu IV lebih tinggi, yaitu 150 detik. Waktu tunggu yang lebih tinggi pada Lampu IV mungkin disebabkan karena adanya peningkatan volume lalu lintas, pengaturan persimpangan, atau faktor-faktor lain di lapangan. Dengan asumsi bahwa kendaraan yang belok kiri tidak mengikuti lampu lalu lintas, waktu tunggu untuk setiap lampu lalu lintas menjadi jauh lebih singkat, yaitu hanya 45 detik. Ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas menjadi lebih efisien karena kendaraan yang belok kiri tidak perlu menunggu lampu hijau, sehingga waktu tunggu secara keseluruhan berkurang. Jika kendaraan yang belok kiri harus mengikuti lampu lalu lintas, maka waktu tunggu untuk setiap lampu meningkat menjadi 75 detik. Meskipun lebih lama dibandingkan skenario pertama (belok kiri tidak mengikuti rambu), waktu tunggu ini masih lebih pendek dibandingkan dengan waktu tunggu di lapangan.

Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian (Farida et al., 2020) khususnya pada skenario belok kiri mengikuti lampu lalu lintas, di mana waktu tunggu optimal yang diperoleh sama-sama sebesar 75 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan pada kedua penelitian menghasilkan temuan yang konsisten dalam kondisi tersebut. Namun, terdapat sedikit perbedaan pada skenario belok kiri tidak mengikuti lampu lalu lintas. Penelitian ini menghasilkan waktu tunggu sebesar 45 detik, yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya sebesar 60 detik. Meskipun terdapat perbedaan angka, secara umum, kedua penelitian sepakat bahwa waktu tunggu tanpa mengikuti lampu jauh lebih efisien dibandingkan skenario mengikuti lampu. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak bertentangan dengan penelitian sebelumnya, melainkan memperkuat argumen bahwa pengaturan belok kiri tidak mengikuti lampu dapat mengurangi waktu tunggu secara signifikan, dengan variasi yang mungkin disebabkan oleh perbedaan kondisi lapangan atau metode analisis.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan model graf kompatibel, baik dengan asumsi belok kiri mengikuti atau tidak mengikuti rambu, dapat mengurangi waktu tunggu dibandingkan kondisi di lapangan. Skenario "belok kiri tidak mengikuti rambu" memberikan waktu tunggu paling optimal (45 detik). Sementara itu, skenario "belok kiri mengikuti rambu" memberikan waktu tunggu yang sedikit lebih tinggi tetapi masih lebih efisien dibandingkan kondisi aktual di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

Dewi, K., Krisdiyanto, A., Yasak, I., & Rafferti, K. A. (2023). Analisis Pengaruh Penyempitan Jalan Dan Parkir Badan Jalan Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas. *Jurnal Cahaya*

*Mandalika* ISSN 2721-4796 (Online), 4(1), 71–89.

- Fanani, A. (2021). Optimasi Waktu Tunggu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan. *MathVision: Jurnal Matematika*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.55719/mv.v3i1.240>
- Farida, Y., Fanani, A., Purwanti, I., Wulandari, L., & Zaen, N. J. (2020). Pemodelan Arus Lalu Lintas Dan Waktu Tunggu Total Optimal Di Persimpangan Jl. Jemur Andayani – Ahmad Yani Sebagai Upaya Mengurai Kemacetan. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 14(3), 389–398. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss3pp389-398>
- Heidemann, D. (1991). Queue length and waiting-time distributions at priority intersections. *Transportation Research Part B*, 25(4), 163–174. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90001-Y](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90001-Y)
- Huang, Y. (2024). Optimal control of traffic light signals using stochastic simulation. *Applied and Computational Engineering*, 45(1), 63–67. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/45/20241027>
- Kusmira, M., & Taufiqurrochman. (2017). Pemanfaatan Aplikasi Graf Pada Pembuatan Jalur Angkot 05 Tasikmalaya. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 11, 1–6.
- Lusiani, A., Sartika, E., Binarto, A., & Habinuddin, E. (2020). Compatible Graphs on Traffic Lights Waiting Time Optimization. 198(Issat), 467–471. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.077>
- Tanveer, S. (2017). Application of Graph Theory for Scheduling of Traffic Lights. *International Journal of Mathematics and Computer Applications Research*, 7(5), 21–24. <https://doi.org/10.24247/ijmcaroct20172>
- Thalib, M. T. N. (2016). Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo*, 6(1), 59–68.
- Wang, S., Ahmed, N. U., & Yeap, T. H. (2019). Optimum Management of Urban Traffic Flow Based on a Stochastic Dynamic Model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(12), 4377–4389. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2884463>