

## ANALISIS WAKTU LAMPU LALU LINTAS DAN DESAIN ARAH ARUS LALU LINTAS DI PEREMPATAN KARANGWARU KABUPATEN TUBAN

Ahmad Zaenal Arifin<sup>1\*</sup>, Saeful Mizan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Universitas PGRI Ronggolawe

<sup>2</sup>Program Studi PGSD, Universitas PGRI Ronggolawe

\*Email: az\_arifin@unirow.ac.id

### ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas dapat menyebabkan waktu tempuh perjalanan menjadi lebih lama dan kebutuhan sehari-hari terhambat sehingga manajemen operasional lalu lintas perlu untuk dikembangkan terutama pada persimpangan. Persimpangan lalu lintas merupakan titik sentral dalam pelaksanaan manajemen lalu lintas guna mencegah terjadinya kemacetan dimana penumpukan kendaraan akibat pengaturan waktu tunggu lampu lintas yang dinilai terlalu lama dan konflik antar pengguna jalan yang disebabkan arah arus lalu lintas pada persimpangan kurang sesuai. Oleh sebab itu, perlu adanya peraturan lalu lintas seperti halnya pengaturan waktu tunggu lampu lalu lintas dan arah arus lalu lintas yang optimum sehingga lalu lintas yang aman, nyaman, efektif, dan efisien dapat terwujud. Graf merupakan diagram yang memuat informasi hubungan antara suatu objek terhadap objek lainnya. Salah satu graf yang digunakan untuk menyelesaikan lalu lintas adalah graf kompatibelsedangkan untuk masalah pengaturan durasi waktu lampu lalu lintas dapat digunakan metode webster. Hasil Analisa dari desain arah arus lama adalah 137 detik, sedangkan desain arah arus baru yang adalah 91 detik. Desain arah arus baru lebih direkomendasikan karena memenuhi kondisi waktu ideal dalam 1 siklus di Kabupaten Tuban yaitu 80 -130 detik.

**Kata Kunci:** Kemacetan; Graf; Webster

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang mengalami kemajuan dibidang industri, teknologi, dan ekonomi yang pesat. Oleh karena itu, Alat transportasi menjadi faktor penting sebagai penunjang keberhasilan negara Indonesia dalam mencapai kemajuan tersebut. Alat transportasi memegang fungsi penting dalam berbagai kegiatan sehari-hari guna memenuhi kebutuhan utama manusia [1]. Kemajuan dibidang teknologi dan transportasi yang signifikan menyebabkan produksi kendaraan bermotor diproduksi secara massal. Hal tersebut, menyebabkan jalanan dipadati oleh manusia dan kendaraan bermotor sehingga jalanan rawan akan kemacetan dan konflik kendaraan [2].

Resiko konflik kendaraan merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan pada pengaturan arus lalu lintas karena dapat menjadi penyebab kecelakaan serta kemacetan [3]. Kemacetan adalah situasi tersendatnya atau terhentinya arus lalu lintas yang disebabkan terhambatnya mobilitas kendaraan [4]. Kemacetan lalu lintas dapat menyebabkan waktu tempuh perjalanan menjadi lebih lama dan kebutuhan sehari-hari terhambat sehingga

manajemen operasional lalu lintas perlu untuk dikembangkan terutama pada persimpangan [5], [6].

Persimpangan lalu lintas [7] merupakan titik sentral dalam pelaksanaan manajemen lalu lintas guna mencegah terjadinya kemacetan dimana penumpukan kendaraan akibat pengaturan waktu tunggu lampu lintas (*traffic light*) yang dinilai terlalu lama dan konflik antar pengguna jalan yang disebabkan arah arus lalu lintas pada persimpangan kurang sesuai. Oleh sebab itu, perlu adanya peraturan lalu lintas seperti halnya pengaturan waktu tunggu lampu lalu lintas dan arah arus lalu lintas yang optimum sehingga lalu lintas yang aman, nyaman, efektif, dan efisien dapat terwujud.

Persimpangan Karangwaru Tuban memiliki empat lengan simpang yang mencakup Jl. Lukman Hakim, Jl. Gajah Mada, dan Jl. Majapahit dengan kondisi rawan konflik kendaraan lalu lintas cukup tinggi. Kondisi tersebut disebabkan oleh arah arus lintas yang berpotongan antara arus jalan A dan B berpotongan. Kabupaten Tuban memiliki riwayat angka kecelakaan cukup tinggi dikutip dari Surabaya.Tribunnews.com pada tahun 2020 angka kecelakaan mencapai 589 kasus

sedangkan pada 2021 terjadi 541 kasus [8]. Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan adalah perpotongan arus lalu lintas seperti yang terjadi pada persimpangan Karangwaru Tuban. sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait arah arus persimpangan Karangwaru Tuban untuk mengurangi resiko konflik kendaraan khususnya di kabupaten Tuban.

Konflik kendaraan sering terjadi pada saat jam padat atau hari libur dimana intensitas volume kendaraan naik cukup signifikan. Banyaknya volume kendaraan dan durasi lampu merah yang cukup lama mengakibatkan kemacetan di persimpangan Karangwaru Tuban. Faktor lain yang menjadi penyebab kemacetan di persimpangan Karangwaru Tuban adalah perpotongan (*crossing*) antar arus kendaraan sehingga konflik kendaraan pada ruas arus yang berpotongan sering terjadi dan laju kendaraan terhambat. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui durasi waktu tunggu lampu lalu lintas yang tepat serta menentukan arah arus lalu lintas yang optimum sehingga resiko konflik kendaraan pada persimpangan Karangwaru Tuban dapat dikurangi. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut teori Graf dapat digunakan sebagai solusi alternatif yang tepat.

Graf merupakan diagram yang memuat informasi hubungan antara suatu objek terhadap objek lainnya [9]. Graf sering digunakan untuk menggambarkan berbagai struktur, misalnya rute jalan, ikatan kimia, struktur organisasi, penjadwalan mata kuliah, hingga pengaturan lalu lintas [10], [11]. Dengan menginterpretasikan informasi dari data yang didapat secara tepat, metode graf mampu memberikan visualisasi objek sehingga lebih mudah dimengerti. Salah satu graf yang digunakan untuk menyelesaikan lalu lintas adalah graf kompatibel seperti [12], [13] dimana penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil optimal. Graf kompatibel sesuai untuk digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan pengaturan urutan data tertentu dan arus lalu lintas. Arus lalu lintas dapat dikatakan kompatibel apabila kedua arus tidak menghasilkan konflik kendaraan pada kedua arus [14]–[16].

Pengaturan arus lalu lintas dapat dilaksanakan dengan cara mengatur durasi lampu lalu lintas pada persimpangan terkait. Dengan memanfaatkan pengaturan lampu lalu lintas maka hambatan akibat perbedaan arus jalan bagi kendaraan dapat dihindari. Salah satu

metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan durasi lampu lalu lintas adalah metode webster. Metode webster adalah metode yang digunakan untuk menentukan durasi nyala lampu lalu lintas [17]. Metode ini dikembangkan oleh F.V Webster dan terbukti mampu menghasilkan ketentuan durasi nyala lampu lalu lintas yang optimal. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk memecahkan masalah terkait lampu lintas menggunakan metode ini antara lain : Chairani dkk. [18] dari hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa metode Webster terbukti efektif dimana tiap kaki simpang yang bervolume tinggi dengan lebar jalan lebih kecil mendapatkan penambahan dan pengurangan durasi nyala lampu lintas. Penelitian lain juga telah dilakukan dan dipublikasikan oleh Miftahurrahmah [19] pada penelitian tersebut didapatkan hasil penerapan metode Webster mampu menghasilkan durasi nyala lampu lalu lintas yang lebih optimal dibandingkan kondisi nyata yang ada dilapangan.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas serta kajian dari penelitian-penelitian sebelumnya, penulis mengusulkan penelitian ini dengan tujuan melalui penelitian yang akan dilakukan mampu memberikan solusi pada pengaturan lalu lintas kota Tuban melalui pengaplikasian teori Graf dan Webster untuk menyelesaikan permasalahan arah arus lalu lintas dan durasi nyala lampu lalu lintas di persimpangan Karangwaru Tuban.

## METODE WEBSTER

Metode Webster adalah metode yang digunakan untuk menentukan waktu penyalaan lampu lalu lintas yang telah dikembangkan oleh F.V. Webster [19]. Untuk menentukan durasi waktu penyalaan lampu lalu lintas dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan arus jenuh.

Untuk mengetahui arus jenuh dari ruas jalan yang diteliti, maka arus jenuh =  $1 \times 525$  (smp/j). Ratio arus normal terhadap arus jenuh ( $y$ ), adalah

$$y = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

Keterangan :

S adalah arus jenuh (smp/jam)

Q adalah Arus nyata

Ukuran kemacetan dinyatakan sebagai Ratio Fase,  $Fr = \sum y_{max}$

- Faktor yang diperlukan untuk menghitung siklus waktu maksimum (the optimum cycletime setting) adalah waktu hilang (L), yaitu lama waktu satu siklus penuh pada saat tidak ada kendaraan. Waktu yang terbuang dihitung dengan rumus :

$$Lt = 2n + R$$

Keterangan:

$Lt$  didefinisikan sebagai jumlah kurun waktu hijau dikurangi satu detik setiap hijau  $n$  adalah banyak fase

$R$  adalah waktu semua merah

Waktu hilang yang diperkenankan terhadap nilai  $y$  pada setiap arah :

$$C_o = \frac{1,5 \times Lt + R}{1 - FR} \quad (2)$$

$$\frac{FR_1}{FR_2} = \frac{Q_1 + 1}{Q_2 + 1} \text{ Sehingga;}$$

$$g_1 = \frac{y_1(C_o - Lt)}{FR} - 1 \text{ detik} \quad (3)$$

$$g_2 = \frac{y_2(C_o - Lt)}{FR} - 1 \text{ detik} \quad (4)$$

Tundaan :

$$d = 0,9 \frac{S(C_o - g)^2}{2C_o(S - q)} \times \frac{1800 \times q \times C_o^2}{q \times S(q \cdot S - q \cdot C_o)} \quad (5)$$

Keterangan :  $d$  = tundaan (detik/smp)

$C_o$  = waktu siklus (detik)

$g$  = kurun waktu hijau (detik)

$q$  = arus kendaraan (kend/jam)

$S$  = arus Jenuh

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan tuliskan di sini. Uraikan temuan penelitian di bagian ini. Berikan pembahasan yang jelas agar dapat dibaca dengan mudah oleh penulis lain.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah volume kendaraan, waktu tunggu, dan desain lama arah arus lalu lintas Simpang 4 Karang Waru Tuban. Berdasarkan hasil observasi lapangan yang telah dilakukan didapatkan akan dijelaskan sebagai berikut :

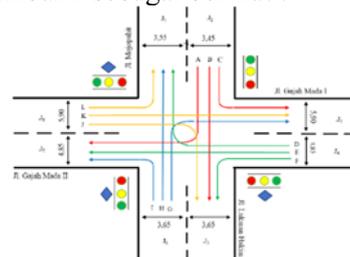
Tabel 1. Lebar Jalan Simpang 4 Karang Waru

Nama Jalan	Jalur Masuk	Jalur Keluar
Jl. Mojopahit	3.45 m	3.55 m
Jl. Gajah mada I	4.85 m	5.90 m
Jl. Lukman Hakim	3.65 m	3.65 m
Jl. Gajah Mada II	5.90 m	4.85 m

Tabel 2. Data volume kendaraan Simpang 4 Karang Waru Tuban

Nama Jalan	MC	LV	HV	Jumlah
Jl. Mojopahit	203.8	94	5.2	303
	172.8	102	5.2	280
	126.2	111	0	237.2
Jl. Gajah Mada I	308.6	195	14.3	517.9
	287.6	171	15.6	474.2
	174.4	205	2.6	382
Jl. Lukman Hakim	121.6	34	0	155.6
	116.2	32	0	148.2
	148	86	0	234
Jl. Gajah Mada II	226	172	245.7	643.7
	216.6	142	395.2	753.8
	135.6	147	416	698.6

Persimpangan tersebut divisualisasikan pada gambar 1 sebagai berikut :



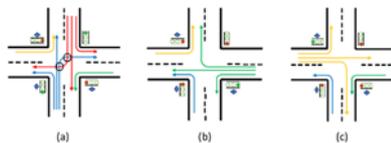
Gambar 1. Gambaran Sistem Lalu Lintas Simpang 4 karangwaru

Keterangan :

- = Arus Jl. Gajah Mada II
- = Arus Jl. Gajah Mada I
- = Belok kiri langsung
- = Arus Jl. Mojopahit
- = Arus Jl. Lukman Hakim
- = Lampu lalu lintas

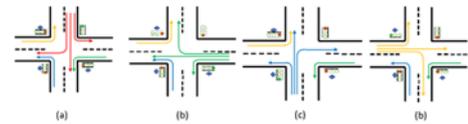
- |  |  |
|--|--|
| J1 = Jalur masuk Jl. Mojopahit         | J5 = Jalur masuk Jl. Lukman Hakim      |
| J2 = Jalur keluar Jl. Mojopahit        | J6 = Jalur keluar Jl. Lukman Hakim     |
| J3 = Jalur masuk Jl. Gajah Mada I      | J7 = Jalur masuk Jl. Gajah Mada II     |
| J4 = Jalur keluar Jl. Gajah Mada I     | J8 = Jalur keluar Jl. Gajah Mada II    |
| ABC = Arah arus dari Jl. Mojopahit     | GHI = Arah arus dari Jl. Lukman Hakim  |
| DEF = Arah arus dari Jl. Gajah Mada II | JKL = Arah arus dari Jl. Gajah Mada II |

Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa persimpangan Karangwaru memiliki 4 ruas jalan dengan 9 arus lalu lintas yang berbeda. Persimpangan Karangwaru saat ini menggunakan desain dengan 3 fase. Dimana pada salah satu fase yang dijalankan terdapat 2 ruas jalan yang berjalan secara bersamaan. Pada waktu yang sama keadaan tersebut mengakibatkan potensi konflik kendaraan cukup tinggi karena ada beberapa arus pada persimpangan mengalami perpotongan. Adapun 3 fase pada persimpangan Karangwaru akan divisualisasikan pada Gambar 2 sebagai berikut:



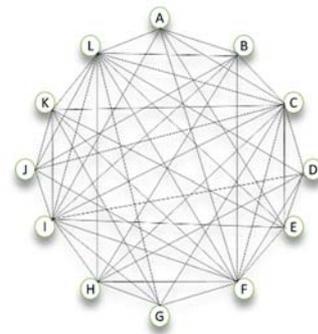
Gambar 2. (a) Fase 1 (b) Fase 2 (c) Fase 3

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa pada fase 1 terjadi perpotongan pada beberapa arah arus yang berbeda saat lampu hijau berlangsung. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan konflik kendaraan dengan konsekuensi lain diantaranya kecelakaan dan kemacetan. Pada penelitian ini pengaturan arah arus lalu lintas akan dikondisikan dengan lebih sesuai pada desain baru. Desain baru ini akan mengubah pengaturan lalu lintas dipersimpangan Karangwaru Tuban dimana sebelumnya terdiri dari 3 fase akan diubah menjadi 4 fase. Dengan memanfaatkan dukungan dari penerapan Graf dan metode Webster. Adapun fase 4 yang disebut akan divisualisasikan pada Gambar 4.3 sebagai berikut :



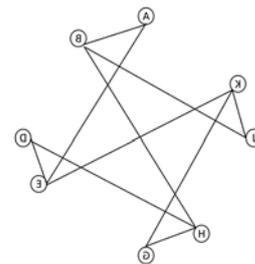
Gambar 3. (a) Fase 1 (b) Fase 2 (c) Fase 3 (d) Fase 4

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada setiap fase arah arus kendaraan dipersimpangan Karangwaru Tuban akan berjalan bersamaan dengan sesuai tanpa adanya perpotongan pada setiap arus. Selanjutnya untuk menyelesaikan pengaturan lalu lintas di Persimpangan Karangwaru, desain baru yang telah disiapkan akan dimodelkan ke dalam Graf Kompatibel.



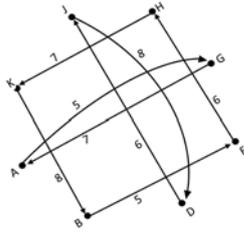
Gambar 4. Graf Kompatibel Simpang 4 Karang Waru Tuban

Graf kompatibel yang telah tersusun selanjutnya dikonversi kedalam bentuk graf sederhana



Gambar 5. Graf Sederhanan dari konversi Graf Kompatibel

Graf kompatibel yang telah disederhanakan selanjutnya diubah menjadi graf berganda berbobot yang diberi nilai bobot melalui pengamsusian.



Gambar 6. Graf Berganda Berbobot dari Simpang 4 Karang Waru Tuban

Bobot dari masing-masing ruas jalan yang telah didapatkan dari simpang 4 adalah Jl. Mojopahit 10, Jl. Gajah Mada I 12, Jl. Lukman Hakim 14, dan Jl. Gajah Mada II 16. Berdasarkan perbedaan nilai bobot yang didapatkan pada keempat ruas jalan di simpang 4 Karangwaru Tuban maka pada desain baru ini adalah 4.

Desain baru dengan total fase aalah 4 yang didapatkan menggunakan metode graf selanjutnya dioptimasi menggunakan metode Webster untuk mendapatkan durasi nyala lampu yang optimal.

1. Waktu Kuning

Durasi nyala lampu kuning yang gunakan (R) adalah 5

2. Arus Jenuh

Arus jenuh pada desain baru yang diperoleh sebagai berikut :

Jalan Mojopahit :  $3,55 \times 525 : 1864$  smp/jam

Jalan Gajah Mada I :  $4,85 \times 525 : 2546$  smp/jam

Jalan Lukman Hakim :  $3,65 \times 525 : 1916$  smp/jam

Jalan Gajah Mada II :  $5,9 \times 525 : 3097$  smp/jam

3. Mengukur Tingkat Kemacetan

Untuk mengetahui tingkat kemacetan pada arus persimpangan maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui Ratio arus normal terhadap arus jenuh  $y = \frac{Q}{S}$ , sehingga didapatkan ukuran kemacetan yang dinyatakan sebagai Ratio Fase ( $Fr = \sum y \text{ max}$ ).

a. Jalan Mojopahit :  $\frac{303}{1864} = 0,1625$  smp/jam

b. Jalan Gajah Mada I :  $\frac{518}{2546} = 0,2035$  smp/jam

c. Jalan Lukman Hakim :  $\frac{234}{1916} = 0,1221$  smp/jam

d. Jalan Gajah Mada II :  $\frac{754}{3097} = 0,2435$  smp/jam

Maka diapatkan Ratio Fase adalah:

$$Fr = 0,1625 + 0,2035 + 0,1221 + 0,2435 = 0,7316 \text{ smp/jam}$$

4. Total Waktu Hilang

Untuk mendapatkan nilai waktu yang hilang menggunakan  $Lt = 2n + R$  maka didapatkan :

$$Lt = 2(4) + 5 = 13 \text{ detik} \quad (6)$$

Maka siklus waktu optimum adalah

$$C_o = \frac{1,5 Lt + R}{1 - fr} \quad (7)$$

$$C_o = \frac{1,5(13) + 5}{1 - 0,7316} \quad (8)$$

$$C_o = \frac{24,5}{0,2684} = 91,3 \approx 91 \text{ detik} \quad (9)$$

Setelah total waktu siklus didapatkan selanjutnya menentukan siklus lampu hijau menggunakan  $C_o - Lt = 91 - 13 = 78$  detik

5. Menentukan Waktu Hijau

Total siklus nyala lampu yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk menentukan durasi nyala lampu hijau pada setiap fase.

a. Fase 1 (jalan Mojopahit) :  $\frac{0,1625 \times 78}{0,7316} =$

$$\frac{12,675}{0,7316} = 17,3 \approx 17 \text{ detik}$$

b. Fase 2 (jalan Gajah Mada I) ;  $\frac{0,2035 \times 78}{0,7316} =$

$$\frac{15,873}{0,7316} = 21,7 \approx 22 \text{ detik}$$

c. Fase 3 (jalan Lukman Hakim) :  $\frac{0,1221 \times 78}{0,7316} =$

$$\frac{9,5238}{0,7316} = 7,1 \approx 7 \text{ detik}$$

d. Fase 4 (jalan Gajah Mada II) :  $\frac{0,2435 \times 78}{0,7316} =$

$$\frac{18,993}{0,7316} = 25,9 \approx 26 \text{ detik}$$

6. Menentukan Waktu merah

Durasi nyala lampu lalu lintas pada tiap fase ditentukan menggunakan rumus; *waktu merah = C<sub>o</sub> - waktu hijau - waktu kuning*.

a. Fase 1 : waktu merah =  $91 - 17 - 5 = 69$

b. Fase 2 : waktu merah =  $91 - 22 - 5 = 64$

c. Fase 3 : waktu merah =  $91 - 7 - 5 = 79$

d. Fase 4 : waktu merah =  $91 - 26 - 5 = 60$

Durasi siklus nyala lampu lalu lintas menunjukkan waktu optimum sesuai dengan rekomendasi durasi waktu optimal pada persimpangan 4 fase. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode webster durasi nyala lampu merah, kuning, dan hijau

desain baru sistem lalu lintas simpang 4 Karangwaru akan dijelaskan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 3. Durasi nyala lampu pada desain lama simpang 4 Karangwaru Tuban

Fase ke-	Merah	Kuning	Hijau	Waktu Siklus
1	115	3	19	137
2	112	3	22	137
3	61	3	73	137

Tabel 4. Durasi nyala lampu pada desain baru simpang 4 Karangwaru Tuban

Fase ke-	Merah	Kuning	Hijau	Waktu Siklus
1	69	5	17	91
2	64	5	22	91
3	79	5	7	91
4	60	5	26	91

Berdasarkan hasil yang telah diuraikan sebelumnya, pengaplikasian teori graf dan Webster untuk pembuatan desain baru pengaturan lampu lalu lintas di simpang 4 Karang Waru Tuban mendapatkan hasil yang optimal dimana semua arus lalu lintas dapat berjalan secara bersamaan tanpa mengalami perpotongan arus dan durasi nyala lampu lalu lintas yang sesuai dengan panjang waktu yang disarankan.

### KESIMPULAN

Perbaikan desain baru simpang 4 Karang Waru Tuban dengan memodelkan persimpangan kedalam Graf dan pengaplikasian metode Webster untuk mengoptimasi waktu siklus nyala lampu lalu lintas di desain baru pengaturan sistem lalu lintas simpang 4 Karang Waru Tuban didapatkan total siklus 91 detik. Penerapan Graf dan Webster pada penelitian dinilai efektif untuk menyelesaikan permasalahan persimpangan lalu lintas karena mampu membeikan hasil yang optimal pada pengaturan sistem lalu lintas simpang 4 Karang Waru Tuban. Dimana arus kendaraan dapat berjalan bersama-sama tanpa mengalami perpotongan serta mendapatkan durasi nyala lampu lalu lintas yang optimal sesuai durasi waktu siklus yang disarankan.

Adapun saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini yaitu penelitian lebih lanjut pada perbaikan sistem lalu lintas menggunakan metode lain yang lebih relevan, serta

pengembangan lebih lanjut pada desain baru simpang 4 Karang Waru Tuban melalui rancangan dan simulasi program komputer.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Rachman, "Pengaruh Transportasi Kota Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kota," *J. Perenc. Wil. Dan Kota*, 2015.
- [2] N. Tanan, "Penanganan Konflik Lalu Lintas di Persimpangan Gatot Subroto-Gedung Empat Cimahi," *J. Jalan dan Jemb.*, vol. 25, no. 3, pp. 291–313, 2008.
- [3] R. Nasmirayanti, "Perencanaan Ulang Pengaturan Fase Alat Pengatur Lalu Lintas pada Persimpangan Bersinyal di Persimpangan Jl. Jend. Sudirman–Kis Mangun Sarkoro," *Rang Tek. J.*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [4] Y. Yusnita, "Simulasi Arus Lalu Lintas Dengan Menggunakan Kecepatan Model Kerner Konhäuser," *J. Dimens.*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [5] S. Fatimah, *Pengantar Transportasi*. Myria Publisher, 2019.
- [6] R. H. Pratiwi, "Dampak Kemacetan Terhadap Kondisi Sosial Dan Ekonomi Pengguna Jalan Di Jakarta Utara (Studi Kasus: Pegawai Kantor Kecamatan Cilincing dan Pegawai Rumah Sakit Umum Kecamatan (RSUK) Cilincing Jakarta Utara)." Fakultas Ekonomi dan Bisnis Unpas Bandung, 2016.
- [7] G. Y. B. Lumintang, L. I. R. Lefrandt, J. A. Timboeleng, and M. R. E. Manoppo, "Kinerja Lalu Lintas Persimpangan Lengan Empat Bersinyal (Studi Kasus: Persimpangan Jalan Walanda Maramis Manado)," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 3, 2013.
- [8] M. . Sudarsono, "Angka Kecelakaan di Tuban Disebut Menurun, Sedangkan Kematian Naik.," *Tribun Jatim*, 2021.
- [9] P. W. Wirawan, D. E. Riyanto, and K. Khadijah, "Pemodelan Graph Database Untuk Moda Transportasi Bus Rapid Transit," *J. Inform. Ahmad Dahlan*, vol. 10, no. 2, p. 102928, 2016.
- [10] M. DANIAL, E. Yuliza, and E. S. Kresnawati, "Implementasi Pewarnaan Graf Dengan Algoritma Welch-Powell Pada Lampu Lalu Lintas Simpang Charitas Dan Simpang Polda Palembang." Sriwijaya University, 2021.
- [11] B. S. Sulastio, H. Anggono, and A. D. Putra, "Sistem Informasi Geografis Untuk

- Menentukan Lokasi Rawan Macet Di Jam Kerja Pada Kota Bandarlampung Pada Berbasis Android,” *J. Teknol. Dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 104–111, 2021.
- [12] A. Fanani, “Optimasi waktu tunggu lampu lalu lintas dengan menggunakan graf kompatibel sebagai upaya mengurangi kemacetan,” *J. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 2, no. 1, pp. 45–50, 2016.
- [13] A. K. Nisa and L. Muzdalifah, “Optimasi Waktu Tunggu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan,” *MathVision J. Mat.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [14] J. Jufri, “Simulasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas (Traffic Light) Berbasis Mikokontroler.” Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, 2013.
- [15] V. Nurvaida, “Analisis Perbandingan Hasil Metode Webster Dan Logika Fuzzy Pada Optimasi Sistem Kendali Lalu Lintas.” Institut Teknologi Kalimantan, 2020.
- [16] I. Y. Yolanda and K. Kartono, “Analisis Kepadatan Lalu Lintas di Perlimaan Jalan (Studi Kasus di Jalan Soekarno Hatta-tlogosari-supriyadi-medoho),” *J. Mat.*, vol. 3, no. 4, 2014.
- [17] I. Poernamasari, R. Tumilaar, and C. E. J. C. Montolalu, “Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar),” *d’CARTESIAN J. Mat. dan Apl.*, vol. 8, no. 1, pp. 27–35, 2019.
- [18] C. Chairani, I. Jaya, and H. Cipta, “Optimasi Waktu Tunggu Total Dengan Metode Webster dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso,” *FARABI J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 4, no. 2, pp. 175–180, 2021.
- [19] Miftahurrahman, “Aplikasi Teori Graf dalam Pengaturan Lampu Lalu Lintas,” *Apl. Teor. Graf Dalam Pengaturan Lampu Lalu Lintas*, 2016.