

PERBAIKAN ARAH ARUS LALU LINTAS DAN ANALISIS WAKTU NYALA LAMPU LALU LINTAS DENGAN METODE WEBSTER (STUDI KASUS: SIMPANG 4 KARANG WARU TUBAN)

Ahmad Yunus Rathomi^{1*}, Ahmad Zaenal Arifin², Nia Nurfitri³

^{1,2,3} Program Studi Matematika, Universitas PGRI Ronggolawe

*Email: ayr364@gmail.com

ABSTRAK

Simpang 4 Karang Waru Tuban merupakan salah satu persimpangan dengan kondisi sering mengalami kemacetan dan rawan konflik kendaraan yang diakibatkan tingginya volume kendaraan serta desain lalu lintas yang kurang sesuai. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain baru dan durasi nyala lampu lalu lintas yang optimal menggunakan Graf Kompatibel dan metode Webster. Data penelitian yang digunakan adalah volume kendaraan, waktu tunggu, dan desain lama arah arus lalu lintas. Penelitian ini terbatas pada lingkup permasalahan Simpang 4 Karang Waru Tuban. Graf kompatibel digunakan untuk menentukan fase dan mengatur arah arus sehingga kendaraan yang melintas dapat berjalan dengan sesuai secara bersamaan. Sedangkan metode Webster digunakan untuk mengetahui durasi nyala lampu optimal pada desain baru yang akan diterapkan. Hasil penelitian yang didapatkan adalah terdapat 4 fase pada desain baru dengan durasi total siklus 91 detik. Metode yang digunakan terbukti efektif karena mampu mendapatkan hasil optimal sesuai rekomendasi jumlah fase dan durasi siklus yang disarankan.

Kata Kunci: Kemacetan; Konflik Kendaraan; Graf; Webster

PENDAHULUAN

Simpang 4 Karang Waru Tuban merupakan salah satu persimpangan yang berada di Kota Tuban Jawa Timur yang memiliki empat lengan simpang yang mencakup Jl. Lukman Hakim, Jl. Gajah Mada, dan Jl. Majapahit dengan kondisi rawan konflik kendaraan lalu lintas cukup tinggi. Resiko konflik kendaraan merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan pada pengaturan arus lalu lintas karena dapat menjadi penyebab kecelakaan serta kemacetan [1]. Sedangkan kemacetan adalah suatu kondisi arus lalu lintas tersendat atau terhenti akibat mobilitas kendaraan yang terhambat [2].

Persimpangan lalu lintas merupakan titik sentral dalam pelaksanaan manajemen lalu lintas guna mencegah terjadinya kemacetan dan konflik kendaraan [3]. Salah satu penyebab terjadinya penumpukan kendaraan lalu lintas yaitu pengaturan waktu tunggu lampu lalu lintas (traffic light) yang dinilai terlalu lama dan konflik antar pengguna jalan yang disebabkan arah arus lalu lintas pada persimpangan kurang sesuai [4]. Oleh karena itu perlu dilakukan pengoptimalan untuk durasi waktu tunggu lampu lalu lintas yang tepat serta menentukan arah arus lalu lintas yang optimum sehingga

resiko konflik kendaraan pada Simpang 4 Karang Waru Tuban dapat dikurangi.

Untuk menyelesaikan permasalahan arus lalu lintas, teori graf dapat digunakan sebagai solusi alternatif yang tepat [5]. Graf kompatibel merupakan bagian dari teori graf yang sesuai untuk digunakan memecahkan masalah berkaitan dengan pengaturan urutan data tertentu dan arus lalu lintas [6]. Arus lalu lintas dapat dikatakan kompatibel apabila dua atau lebih arus dapat berjalan tanpa mengakibatkan konflik kendaraan pada arus tersebut [7], [8]. Dengan dukungan alternatif lain 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 merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan durasi nyala lampu lalu lintas [9], [10]. Dimana dalam menentukan durasi nyala lampu lalu lintas yang optimal didasarkan pada kepadatan volume lalu lintas yang terjadi dilapangan. Dalam hal ini untuk mendapatkan durasi nyala lampu yang optimal didasarkan pada rekomendasi durasi nyala lampu lalu lintas sehingga didapatkan durasi yang sesuai pada

sistem lalu lintas berdasarkan jumlah fase yang digunakan [11]. Dengan adanya jumlah waktu siklus yang telah disesuaikan pada tiap-tiap fase yang diberlakukan maka pengoptimalan lampu lalu lintas dapat dinilai sesuai dan terukur.

Tabel 1. Rekomendasi Waktu Siklus Persimpangan

Fase	Panjang Waktu Siklus Disarankan
2	40-80 detik
3	50-100 detik
4	80-130 detik

Penelitian ini bertujuan untuk 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 Simpang 4 Karang Waru Tuban

METODE WEBSTER

Metode Webster merupakan metode yang digunakan guna menentukan waktu penyalan lampu lalu lintas setelah oleh F.V. Webster berhasil mengembangkannya [11]. Untuk menentukan durasi waktu penyalan 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 = 1×525 (smp/j). Ratio arus normal terhadap arus jenuh (y), adalah:

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

Keterangan : S = Arus jenuh (smp/j)

Q = Arus nyata (smp/j)

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

2. 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 :

$$L_t = 2n + R$$

Keterangan : L_t = Dapat juga didefinisikan sebagai jumlah kurun waktu hijau dikurangi satu detik setiap hijau

n = Banyaknya fase

R = Waktu semua merah dan waktu merah/merah/kuning

Waktu hilang yang diperbolehkan pada nilai y terhadap masing-masing arah :

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

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

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

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

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)

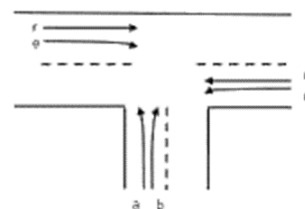
g = kurun waktu hijau (detik)

q = arus kendaraan (kend/jam)

S = arus Jenuh

GRAF KOMPATIBEL

Definisi arus lalu lintas yang kompatibel, yaitu dua buah arus lalu lintas dikatakan kompatibel jika keduanya dapat berjalan bersamaan dengan aman atau tidak berpotongan [6]. Perhatikan persimpangan jalan pada gambar 1.



Gambar 1. Contoh Persimpangan Jalan

Keterangan :

= Arus lalu lintas

= Penghubung titik kompatibel

Arus lalu lintas yang terdapat pada persimpangan jalan di atas dikatakan kompatibel. Artinya, arus tersebut dapat berjalan dalam waktu yang bersamaan tanpa saling membahayakan [12]. Dalam persimpangan jalan tersebut, arus a kompatibel dengan arus b, c, d, e dan f. Kemudian arus b kompatibel dengan arus a, c dan f, dan seterusnya. Arus lalu lintas pada persimpangan jalan tersebut dapat dibentuk dalam graf kompatibel, yang disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Graf Kompatibel Arus Lalu Lintas pada Persimpangan Jalan

Pada gambar graf kompatibel diatas titik a menunjukkan arus lalu lintas di a, titik menunjukkan arus lalu lintas di b, titik c menunjukkan arus lalu lintas di c, dan begitu pula dengan titik d, e, f.

PERSIMPANGAN LALU LINTAS

Persimpangan jalan dapat didefinisikan sebagai dua jalur atau lebih pada ruas jalan yang berpotongan, dan termasuk sarana di dalamnya berupa jalur jalan serta tepi jalan [13]. Pada suatu persimpangan perlu diadakan perencanaan dan pengaturan lalu lintas diantaranya dalam bentuk penggunaan lampu lalu lintas [14], [15]. Pengaturan lampu lalu lintas digunakan untuk mengatur kendaraan yang melintas, dimana masing-masing aliran kendaraan harus saling bergantian pada kondisi tundaan, pemberhentian, dan antrian [16]. Dengan penyesuaian sistem lalu lintas persimpangan diharapkan dapat mengurangi antrian yang dialami oleh kendaraan dan juga kemungkinan terjadinya kecelakaan di persimpangan akan dapat dikurangi.

Pengurangan tingkat rawan konflik kendaraan di persimpangan dapat melalui penyesuaian sistem lalu lintas dengan memperbaiki arah arus lalu lintas dan pengoptimalan durasi nyala lampu lintas. Dimana pada penelitian ini dilaksanakan di Simpang 4 Karang Waru Tuban.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan sejak April sampai Juli 2022. Data dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder dengan mengambil data menggunakan metode observasi melalui pengamatan langsung di Simpang 4 Karang Waru Tuban. Pengamatan di Simpang 4 Karang Waru Tuban dilakukan pada 3 hari dari seminggu di jam yang sama, sehingga dapat mendekati kondisi nyata di lapangan. Data penelitian ini adalah volume kendaraan, waktu tunggu, dan desain lama arah arus lalu lintas. Data yang di dapatkan dari pengumpulan data akan di klasifikasikan secara sistematis selanjutnya diolah dan dianalisa sesuai tahapan penelitian yang telah tersusun.

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data volume kendaraan, waktu tunggu, dan desain lama arah arus lalu lintas.
2. Menyusun desain baru arah arus lalu lintas persimpangan Karangwaru Tuban
3. Menggambarkan desain baru arah arus lalu lintas persimpangan Karangwaru Tuban
4. Mengkonversikan desain baru arah arus lalu lintas persimpangan ke dalam model graf kompatibel
5. Menyederhanakan desain baru arah arus lalu lintas yang telah dikonversikan ke model graf kompatibel
6. Mengubah graf kompatibel yang telah disederhanakan ke graf berarah berbobot
7. Menentukan siklus waktu optimum
8. Menentukan waktu tunggu merah, kuning, dan hijau pada tiap fase
9. Penarikan kesimpulan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan tuliskan di sini. Uraikan temuan penelitian di bagiakan 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 2. Lebar Jalan Simpang 4 Karang Waru

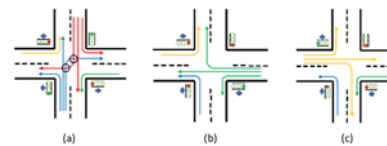
Nama Jalan	Jalur Masuk	Jalur Keluar
Jl. Mojopahit	3.45 m	3.55 m
Jl. Gajah mada I	4.85 m	5.90 m
Jl. Lukman Hakim	3.65 m	3.65 m
Jl. Gajah Mada II	5.90 m	4.85 m

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

Tabel 3 Data volume kendaraan Simpang 4 Karang Waru Tuban

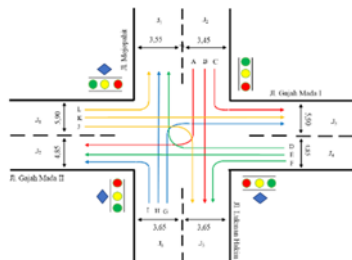
Nama Jalan	MC	LV	HV	Jumlah
Jl. Mojopahit	203.8	94	5.2	303
	172.8	102	5.2	280
	126.2	111	0	237.2
Jl. Gajah Mada I	308.6	195	14.3	517.9
	287.6	171	15.6	474.2
	174.4	205	2.6	382
Jl. Lukman Hakim	121.6	34	0	155.6
	116.2	32	0	148.2
	148	86	0	234
Jl. Gajah Mada II	226	172	245.7	643.7
	216.6	142	395.2	753.8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

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 yan 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 4. (a) Fase 1 (b) Fase 2 (c) Fase 3

Persimpangan tersebut divisualisasikan pada gambar 1 sebagai berikut :

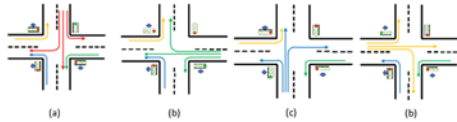


Gambar 3. Gambaran Sistem Lalu Lintas Simpang 4 karangwaru

Keterangan :

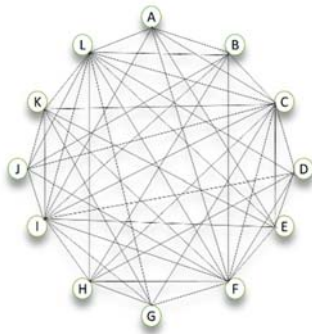
- = Arus Jl. Gajah Mada II
- = Arus Jl. Gajah Mada I
- ◇ = Belok kiri langsung
- J1 = Jalur masuk Jl. Mojopahit
- J2 = Jalur keluar Jl. Mojopahit
- = Arus Jl. Mojopahit
- = Arus Jl. Lukman Hakim
- ◻ (with traffic light) = Lampu lalu lintas
- J5 = Jalur masuk Jl. Lukman Hakim
- J6 = Jalur keluar Jl. Lukman Hakim

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 dumna sebelumnya terdiri dari 3 fase akan diubah menjadi 4 fase. Dengan memnfaatkan dukungan dari penerapan Graf dan metode Webster. Adapun fase 4 yang disebut akan divisualisasikan pada Gambar 4.3 sebagai berikut :



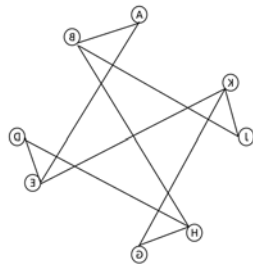
Gambar 5. (a) Fase 1 (b) Fase 2 (c) Fase 3 (d) Fase 4

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.



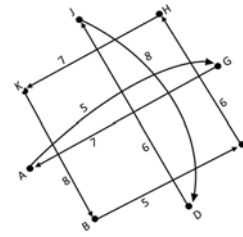
Gambar 6. Graf Kompatibel Simpang 4 Karang Waru Tuban

Graf kompatibel yang telah tersusun selanjutnya dikonversi kedalam bentuk graf sederhana



Gambar 7. Graf Sederhan dari konversi Graf Kompatibel

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



Gambar 8. 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 ($Fr = \sum y \max$).

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 didapatkan Ratio Fase adalah:
 $Fr = 0,1625 + 0,2035 + 0,1221 + 0,2435 = 0,7316$ 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) : $\frac{0,1625 \times 78}{0,7316} = \frac{12,675}{0,7316} = 17,3 \approx 17$ detik

b. Fase 2 (jalan Gajah Mada I) ; $\frac{0,2035 \times 78}{0,7316} = \frac{15,873}{0,7316} = 21,7 \approx 22$ detik

c. Fase 3 (jalan Lukman Hakim) : $\frac{0,1221 \times 78}{0,7316} = \frac{9,5238}{0,7316} = 7,1 \approx 7$ detik

d. Fase 4 (jalan Gajah Mada II) : $\frac{0,2435 \times 78}{0,7316} = \frac{18,993}{0,7316} = 25,9 \approx 26$ detik

6. Menentukan Waktu merah

Durasi nyala lampu lalu lintas pada tiap fase ditentukan menggunakan rumus; $waktu\ merah = C_o - waktu\ hijau - waktu\ kuning$.

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 4. 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 5. 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] 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.
- [2] Y. Yusnita, "Simulasi Arus Lalu Lintas Dengan Menggunakan Kecepatan Model Kerner Konhäuser," *J. Dimens.*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] M. R. Salianto, H. Pramanda, and B. Bunyamin, "PENGARUH KEEFEKTIFAN TRAFFIC LIGHT PADA SIMPANG BERSINYAL SIMPANG SURABAYA," *J. Tek. Sipil dan Teknol. Konstr.*, vol. 7, no. 2, 2021.
- [4] F. Y. PUTRA, "Kewenangan Diskresi Dan Pertanggungjawaban Hukum Dalam Pelaksanaan Tugas Dan Fungsi Kepolisian." Universitas Hasanuddin, 2013.
- [5] A. K. Nisa and L. Muzdalifah, "Optimasi Waktu Tunggu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan," *MathVisioN*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [6] R. D. Hardianti, R. Rochmad, and R. Arifudin, "Penerapan Graf Kompatibel pada Penentuan Waktu Tunggu Total Optimal di Persimpangan Jalan Kaligarang Kota Semarang," *UNNES J. Math.*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [7] V. Nurvaida, "Analisis Perbandingan Hasil Metode Webster dan Logika Fuzzy pada Optimasi Sistem Kendali Lalu Lintas." Institut Teknologi Kalimantan, 2020.
- [8] I. Y. Yolanda and K. Kartono, "Analisis Kepadatan Lalu Lintas di Perlindungan Jalan (Studi Kasus di Jalan Soekarno Hatta-tlogosari-supriyadi-medoho)," *J. Mat.*, vol. 3, no. 4, 2014.
- [9] 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.
- [10] F. Nasution, "Traffic Light Control Menggunakan Metode Webster Pada Kasus Persimpangan Luar Kota." Universitas Komputer Indonesia, 2020.
- [11] Miftahurrahman, "Aplikasi Teori Graf dalam Pengaturan Lampu Lalu Lintas.," *Apl. Teor. Graf Dalam Pengaturan Lampu Lalu Lintas*, 2016.
- [12] P. Subbaraj, R. Rengaraj, and S. Salivahanan, "Enhancement of Self-adaptive real-coded genetic algorithm using Taguchi method for Economic dispatch problem," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 83–92, 2011.
- [13] 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.
- [14] F. A. Arisandi, M. Lubis, and M. H. M. Hasibuan, "PENERAPAN MANAGEMEN LALU LINTAS PADA JARINGAN JALAN DI KOTA KISARAN KABUPATEN ASAHAN," *Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 2, pp. 134–141, 2020.
- [15] R. Sambuaga, "Manajemen Penanggulangan Kemacetan Transportasi Publik Di Dinas Perhubungan Kota Manado," *J. Ilm. Soc.*, vol. 1, no. 24, p. 4, 2017.
- [16] N. Royan, "Analisa perencanaan traffic light di persimpangan bandara SMB II Palembang," *Berk. Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 837–855, 2015.