

PEMANFAATAN GRAF PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS PASAR CISALAK MENGGUNAKAN *ALGORITMA WELCH POWELL*

UTILIZING GRAPHS IN TRAFFIC LIGHT CONTROL AT CISALAK MARKET USING THE WELCH POWELL ALGORITHM

Purni Munah Hartuti^{1§}, Rini Widia Putri Z², Roni Al Maududi³

¹Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia[purniibunyanum@yahoo.co.id]

²Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia[riniwidia2901@gmail.com]

³Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia[ronialmaududi@gmail.com]

[§]Corresponding Author

Received 07th Feb 2025; Accepted 29th Jun 2025; Published 30th Jun 2025;

Abstrak

Tingginya mobilitas dan jumlah kendaraan yang melewati perempatan Pasar Cisalak pada jam-jam tertentu membuat macet panjang dari segala arah. Durasi lampu merah dan hijau yang kurang seimbang juga membuat perempatan semakin kacau. Tujuan penelitian ini adalah 1) Mengetahui jumlah minimal pembagian jalur-jalur lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak, Kota Depok, yang dapat berjalan bersamaan agar tidak terjadi tabrakan. 2) Mengetahui tingkat efektivitas durasi waktu lampu merah dan lampu hijau pada masing-masing jalur di perempatan Pasar Cisalak pada saat tertentu. Penataan lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak ini menggunakan teknik pewarnaan simpul graf menggunakan *algoritma Welch Powell*. Pewarnaan simpul akan mengidentifikasi jalur-jalur yang dapat berjalan bersamaan jika tidak saling bersilangan. Metode penelitian ini adalah survei di lokasi lampu merah Pasar Cisalak dan studi pustaka dari beberapa literatur kemudian diambil suatu kesimpulan. Berdasarkan berdasarkan hasil penelitian diperoleh 4 partisi jalur yang dapat berjalan bersamaan di perempatan Pasar Cisalak. Tingkat efektivitas lampu merah pada fase pertama mengalami peningkatan 17,857%; fase kedua meningkat 13,625%; dan fase ketiga meningkat 8,116%. Sedangkan efektivitas lampu hijau mengalami penurunan masing-masing 31,25% pada fase pertama, 26% pada fase kedua, dan 18,38% pada fase ketiga.

Kata Kunci: *Algoritma Welch Powell, Lampu Lalu Lintas, Pewarnaan Graf*

Abstract

The high mobility and number of vehicles passing through the Cisalak Market intersection at certain hours causes long traffic jams from all directions. The unbalanced duration of the red and green lights also makes the intersection even more chaotic. The objectives of this study are 1) To determine the minimum number of traffic lane divisions at the Cisalak Market intersection, Depok City, which can run simultaneously to avoid collisions. 2) To determine the level of effectiveness of the duration of the red and green lights on each lane at the Cisalak Market intersection at certain times. Traffic arrangement at the Cisalak Market intersection uses a graph node coloring technique using the Welch Powell algorithm. Node coloring will identify lanes that can run simultaneously if they do not intersect each other. The research method is a survey at the Cisalak Market red light location and a literature study from several literatures then a conclusion is drawn. Based on the results of the study, 4 lane partitions were obtained that can run simultaneously at the Cisalak Market intersection. The level of effectiveness of the red light in the first phase increased by 17.857%; the second phase increased by 13.625%; and the third phase increased by

8.116%. Meanwhile, the effectiveness of the green light decreased by 31.25% in the first phase, 26% in the second phase, and 18.38% in the third phase.

Keywords: *Welch Powell Algorithm, Traffic Lights, Graph Coloring*

1. Pendahuluan

Lampu lalu lintas (menurut UU no. 22/2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan: Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas atau APILL) adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki (*zebra cross*), dan tempat arus lalu lintas lainnya [1]. Lampu ini yang menandakan kapan kendaraan harus berjalan dan berhenti secara bergantian dari berbagai arah. Pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan dimaksudkan untuk mengatur pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok agar dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar-arus yang ada [2]

Lampu lalu lintas telah diadopsi di hampir semua kota di dunia ini. Lampu ini menggunakan warna yang diakui secara universal untuk menandakan berhenti, hati-hati dan mulai berjalan. Lampu lalu lintas bertujuan untuk menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan, memfasilitasi persimpangan antara jalan utama untuk kendaraan dan pejalan, menertibkan pejalan kaki [1], meminimalkan kecelakaan akibat tabrakan karena perbedaan arus jalan. Tiga macam warna yang digunakan lampu lalu lintas adalah merah, kuning dan hijau. Merah menandakan berhenti atau sebuah tanda bahaya, kuning menandakan hati-hati, dan hijau menandakan boleh memulai berjalan dengan hati-hati.

Namun ternyata ada dampak negatif dari adanya lampu lalu lintas di perempatan jalan yaitu terjadinya kemacetan, walaupun lampu lalu lintas bukanlah penyebab utamanya. Biasanya kemacetan di persimpangan akibat konflik pergerakan kendaraan atau durasi waktu lampu merah yang lebih lama dari pada durasi lampu hijau, sehingga mengakibatkan peningkatan antrian kendaraan saat lampu merah menyala [3], [4], [5]. Lampu lalu lintas yang tujuan utamanya untuk mengatur ketertiban pengguna jalan, justru menimbulkan permasalahan baru.

Seperti yang terjadi di perempatan Pasar Cisalak, Kota Depok. Pada jam-jam sibuk terjadi antrian panjang kendaraan hampir dari segala arah karena durasi waktu lampu lalu lintas yang kurang efektif, ketidaktertiban pengguna jalan, dan jumlah volume kendaraan pribadi yang semakin meningkat. Salah satu cara untuk mengurai kemacetan di perempatan Pasar Cisalak ini adalah dengan optimalisasi sistem lampu lalu lintas [6]. Penyelesaian masalah lampu lalu lintas dapat ditinjau dari perspektif graf [3]. Teori graf memberi cara untuk memodelkan, merepresentasikan lalu lintas secara matematis, dan menganalisis arus lalu lintas secara mendalam [6].

Penelitian sebelumnya mengacu pada referensi nomor [3] tentang penerapan Algoritma *Welch Powell* pada *Traffic Light* di Yogyakarta memberikan hasil bahwa durasi waktu alternatif

traffic light di Yogyakarta lebih efektif dibandingkan durasi waktu yang sudah terlaksana di lapangan. Penerapan Teori Graf pada Lampu lalu lintas di Perempatan Palimanan menurut [5] juga dapat meminimalisir terjadinya kemacetan dengan penambahan durasi lampu hijau dan mengurangi durasi lampu merah. Optimalisasi lampu lalu lintas di Sukoharjo telah dilakukan [1] dengan mengaplikasikan pewarnaan graf. Dengan memperoleh bilangan kromatik 3 artinya terdapat 3 partisi ruas jalan yang dapat berjalan bersamaan. Optimisasi waktu tunggu lampu lalu lintas pada Simpang Lima Krisan-Sidoarjo menggunakan Algoritma *Welch Powell* memberikan hasil efektifitas waktu tunggu sebesar 13,63% [7].

Merujuk dari penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini juga akan mencari jumlah minimum pembagian jalur-jalur mana saja yang dapat dilewati bersamaan di perempatan Pasar Cisalak, Kota Depok. Pentingnya pemecahan masalah perempatan lampu lalu lintas di sini untuk mengurai kemacetan di jam-jam tertentu yang sangat padat dilalui kendaraan. Hasil yang diperoleh dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk mengatur kembali durasi waktu lampu merah dan lampu hijau pada masing-masing jalur untuk mengurai penumpukan jumlah kendaraan di salah satu ruas jalan di perempatan Pasar Cisalak.

Jumlah minimum pembagian jalur-jalur mana saja yang dapat dilewati bersamaan diperoleh dengan menentukan bilangan kromatik hasil pewarnaan simpul graf dengan algoritma *Welch Powell*. Selanjutnya hasil durasi lampu lalu lintas

yang diperoleh digunakan juga untuk menghitung tingkat keefektifitasannya dengan membandingkan dengan durasi sebenarnya di lampu merah perempatan Pasar Cisalak.

Masalah utama yang akan dikaji pada penelitian ini adalah 1) Berapa jumlah minimum pembagian jalur-jalur yang dapat dilewati secara bersamaan di perempatan Pasar Cisalak? 2) Berapakah efektivitas durasi waktu lampu merah dan lampu hijau yang diperoleh pada masing-masing jalur di perempatan Pasar Cisalak pada waktu tertentu?

2. Landasan Teori

2.1 Teori Graf

Menurut catatan sejarah, masalah jembatan Königsberg adalah masalah yang pertama kali menggunakan graf pada tahun 1739. Di kota Königsberg (sebelah timur negara bagian Prussia, Jerman), sekarang bernama kota Kaliningrad, terdapat sungai Pregal yang mengalir mengitari pulau Kneiphof lalu bercabang menjadi dua buah anak sungai. Permasalahannya ialah untuk menemukan perjalanan atau rute dari suatu kota melalui ketujuh buah jembatan, masing - masing tepat satu kali dilewati, kemudian kembali lagi ke tempat awal [8].

Teori graf merupakan pokok bahasan yang sudah tua usianya namun memiliki banyak terapan dalam kehidupan sehari-hari [9]. Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek tersebut [8]. Graf merupakan struktur abstrak yang bersifat komposisi dan relasional, dimana setiap objek saling berinteraksi [10]. Graf merepresentasikan berbagai struktur

kombinatorial atau topologi terdiri dari objek atau simpul dan sisi yang menyatakan hubungan sepasang simpul itu. [11] menyatakan representasi dari graf adalah dengan menyatakan objek sebagai simpul atau titik, sedangkan hubungan antara objek dinyatakan dengan garis.

2.2 Pewarnaan Graf

Pewarnaan pada teori graf diklasifikasikan atas tiga jenis yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi, dan pewarnaan wilayah. Masalah pewarnaan graf termasuk dalam kelas masalah optimasi kombinatorial dan dipelajari karena banyaknya aplikasinya di bidang ilmu data, jaringan, alokasi register, dan sebagainya [12]. Dalam pewarnaan simpul graf, setiap simpul graf diwarnai sedemikian rupa sehingga tidak ada dua simpul yang berdekatan memiliki warna yang sama [13].

Permasalahan utama dalam pewarnaan simpul adalah menentukan kombinasi warna paling minimum sesuai aturan pewarnaan graf. Angka terkecil yang diperlukan untuk pewarnaan simpul graf adalah indeks kromatik atau angka kromatik yang disimbolkan $\chi(G)$ [14]. Salah satu cara yang efektif memperoleh bilangan kromatik menggunakan algoritma *Welch Powell*. Menurut [7] Algoritma *Welch Powell* digunakan untuk mewarnai simpul pada suatu graf yang berdasarkan derajat tertinggi dari simpul-simpulnya.

2.3 Algoritma Welch-Powell

Langkah-langkah Algoritma *Welch-Powell* sebagai berikut [8]:

1. Mengurutkan simpul-simpul pada graf dalam derajat yang menurun.
2. Gunakan satu warna untuk mewarnai simpul

pertama yang memiliki derajat paling tinggi dan simpul-simpul lain dalam urutan yang tidak bertetangga dengan simpul pertama.

3. Mulai lagi dengan simpul derajat paling tinggi berikutnya di dalam daftar terurut yang belum diberi warna dan ulangi proses pewarnaan simpul dengan menggunakan warna kedua.

4. Mengulangi penambahan warna pada semua simpul yang telah diberi warna.

Metode penelitian ini adalah metode survei dan studi pustaka. Survei langsung di lokasi lampu merah Pasar Cicalak dilakukan dalam 3 waktu yang berbeda karena durasi lampu merah dan lampu hijau telah disesuaikan dengan kepadatan kendaraan pada jam tertentu. Waktu survei pertama yaitu pagi pukul 06.00-08.30 saat sebagian masyarakat memulai aktifitas ke luar rumah. Waktu survei kedua siang hari pukul 11.00-14.00 dimana aktivitas masyarakat mulai menurun jika dibandingkan pagi hari. Survei ketiga sore hingga malam hari pukul 16.30-20.30 saat masyarakat kembali pulang dari beraktifitas.

Beberapa asumsi yang digunakan pada penelitian ini agar penyelesaian lebih fokus dan sederhana, yaitu:

- 1) Jalur-jalur yang digunakan pada representasi graf hanya yang memungkinkan terjadinya tabrakan jika jalan bersamaan.
- 2) Lampu kuning belok kiri langsung dan sejalan lampu merah.
- 3) Volume kendaraan selama fase lampu merah tidak diperhitungkan.
- 4) Variabel jarak antar persimpangan diabaikan dalam analisis ini.

3. Hasil Dan Pembahasan

Salah satu upaya untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas pada persimpangan adalah dengan pewarnaan simpul graf menggunakan Algoritma *Welch Powell* [1]. Jumlah pewarnaan

minimum (bilangan kromatik) yang diperoleh digunakan sebagai alternatif penentuan jalur-jalur yang dapat dilewati agar tidak terjadi tabrakan. Adapun tujuan optimalisasi waktu penyalan lampu lalu lintas adalah sebagai visualisasi objek-objek agar lebih mudah dimengerti model antrian (pengaturan pergiliran), untuk menentukan dan meminimalisasi waktu tunggu [15].

Langkah-langkah penerapan aplikasi pewarnaan simpul graf pada lampu lalu lintas perempatan Pasar Cisalak adalah:

1. Menggambarkan skema arus lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak ke dalam bentuk graf. Simpul menyatakan jalur-jalur yang dapat dilewati pada persimpangan, sedangkan sisi menyatakan hubungan dua buah simpul yang tidak dapat dilewati secara bersamaan [15].
2. Warnai simpul graf dengan algoritma *Welch Powell* untuk mendapatkan jalur-jalur yang dapat dilewati secara bersamaan sekaligus memperoleh bilangan kromatik, yaitu jumlah minimum partisi jalur yang dapat berjalan bersamaan di perempatan Pasar Cisalak.
3. Menentukan alternatif durasi lampu merah dan lampu hijau baru pada lampu lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak pada waktu tertentu. Dalam [15] durasi lampu merah dan lampu hijau baru dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$h_b = \frac{z_a}{\chi(G)} \quad (1)$$

$$m_b = z_a - h_b \quad (2)$$

m_a adalah durasi lampu merah lama

z_a adalah total durasi lampu merah dan hijau

$\chi(G)$ adalah bilangan kromatik graf

m_b adalah durasi lampu merah baru

h_b adalah durasi lampu hijau baru

4. Menentukan nilai tingkat efektivitas waktu nyala lampu lalu lintas. Tingkat efektivitas menurut [16] dihitung dengan mencari rasio atau perbandingan antara lama penyalan fase lampu hijau lama dengan lama penyalan fase lampu hijau baru atau lama penyalan fase lampu merah lama dengan lama penyalan fase lampu merah baru. Rasio dapat dinyatakan dalam bentuk persentase, desimal, atau pecahan.

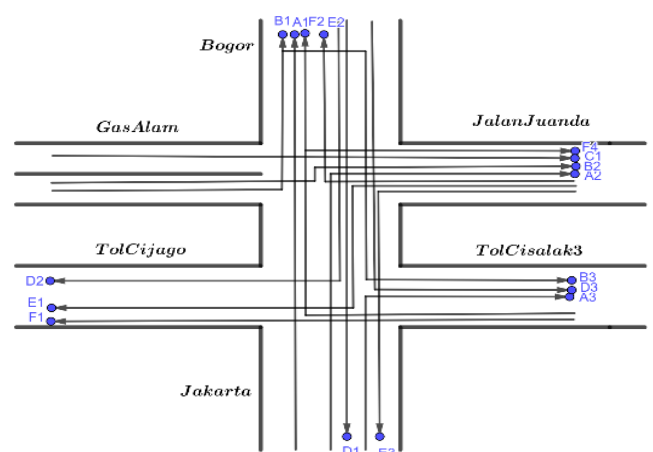
Rumus tingkat efektivitas pada lama penyalan fase lampu lalu lintas adalah

$$\frac{X-Y}{Y} \times 100\% \quad (3)$$

X adalah total lama penyalan fase lampu lalu lintas baru,

Y adalah total lama penyalan fas lampu lalu lintas lama.

Berikut ini adalah ilustrasi perempatan lalu lintas di Pasar Cisalak:



Gambar 2. Ilustrasi perempatan Pasar Cisalak

Berdasarkan Gambar 2 di atas, dibuatkan sebuah graf yang merepresentasikan lalu lintas di perempatan lampu merah Pasar Cisalak. Dimana

simpul graf menyatakan jalur-jalur yang dapat dilewati kendaraan. Berikut adalah simpul-simpul pada graf:

Tabel 1. Simpul-Simpul pada Graf

Simpul	Jalur
A_1	Dari arah Jakarta ke Bogor
A_2	Dari arah Jakarta ke Jalan Juanda
A_3	Dari arah Jakarta ke Tol Cisalak 3
B_1	Exit tol Cijago ke Bogor
B_2	Exit tol Cijago ke Jalan Juanda
B_3	Exit tol Cijago ke Tol Cisalak 3 # putar arah dari arah bogor
C_1	Dari Gas alam ke Jalan Juanda
D_1	Dari Bogor ke arah Jakarta
D_2	Dari Bogor ke Tol Cijago
D_3	Dari Bogor ke Tol Cisalak 3
E_1	Dari Jalan Juanda ke Tol Cijago
E_2	Dari Jalan Juanda ke Bogor
E_3	Dari Jalan Juanda ke arah Jakarta
F_1	Exit Tol Cisalak 3 ke Tol Cijago
F_2	Exit Tol Cisalak 3 ke Bogor
F_4	Exit Tol Cisalak 3 ke Jalan Juanda

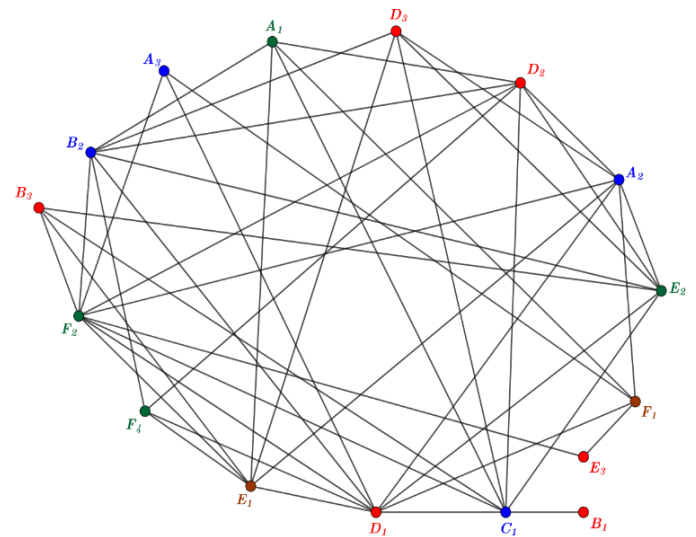
Beberapa jalur belok kiri dapat jalan langsung tanpa terpengaruh kondisi jalur lainnya.

Sisi-sisi pada graf merupakan hubungan simpul graf yang tidak dapat dilewati secara bersamaan dan menyebabkan tabrakan sesuai dengan kondisi sebenarnya di perempatan Pasar Cisalak.

Tabel 2. Hubungan Simpul-Simpul pada Graf

Simpul	Simpul tetangga
A_1	B_2, C_1, D_2, E_1, F_1
A_2	D_1, D_2, D_3, E_2, F_1
B_2	$A_1, D_1, D_2, D_3, E_2, F_2, F_4$
C_1	$A_1, B_1, B_3, D_1, D_2, D_3, E_2, F_2$
D_1	$A_2, A_3, B_2, C_1, E_1, E_2, F_1, F_2, F_4$
D_2	$A_1, A_2, B_2, C_1, E_2, F_2, F_4$
E_1	$A_1, A_2, B_3, D_1, D_3, F_2, F_4$
E_2	$A_2, B_2, B_3, C_1, D_1, D_2, D_3$
F_1	A_1, A_2, A_3, D_1, E_3
F_2	$A_2, A_3, B_2, B_3, C_1, D_1, D_2, E_1, E_3$

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, diperoleh gambar graf yang merepresentasikan arus lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak sebagai berikut:



Gambar 3. Graf Arus Lalu Lintas di perempatan Pasar Cisalak

Hasil perhitungan derajat simpul-simpul pada graf di gambar arus lalu lintas di perempatan Pasar Cisalak adalah:

Tabel 3. Derajat simpul-simpul graf

Simpul	Derajat Simpul
A_1	5
A_2	7
A_3	3
B_1	1
B_2	7
B_3	4
C_1	8
D_1	9
D_2	7
D_3	5
E_1	7
E_2	7
E_3	2
F_1	5
F_2	9
F_4	4

Selanjutnya simpul-simpul graf diwarnai sesuai algoritma *Welch-Powell* sehingga diperoleh $\chi(G) = 4$ yaitu jenis warna paling minimum untuk mewarnai simpul graf. Warna-warna yang diperoleh menyatakan partisi jalur yang dapat berjalan secara bersamaan pada perempatan Cisalak Pasar. Partisi jalur yang diperoleh hasil pewarnaan graf menggunakan algoritma *Welch Powell* sebagai berikut:

Tabel 4. Partisi Jalur Hasil Pewarnaan Graf

Partisi	Jalur yang dapat berjalan bersamaan
Partisi I	B_1, B_3, D_1, D_2, D_3 , dan E_3
Partisi II	A_2, A_3, B_2 , dan C_1
Partisi III	A_1, E_2, F_2 dan F_4
Partisi IV	E_1 dan F_1

Selanjutnya menghitung lama penyalan fase lampu merah dan lampu hijau yang baru dari hasil penelitian dan dibandingkan dengan data sebenarnya di lapangan.

1. Fase pertama pagi hari pukul 06.00-08.30

Tabel 5. Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau di Perempatan Pasar Cicalak pada Fase Pertama

Jalur	Lampu merah (detik)	Lampu hijau (detik)	Total (detik)
A_1	70	40	110
A_2	60	50	110
B_2	60	50	110
C_1	60	50	110
D_1	85	25	110
D_2	75	35	110
E_1	70	40	110
E_2	75	35	110
F_1	75	35	110
F_2	70	40	110
JUMLAH	700	400	1100

Dengan menggunakan rumus persamaan (1) dan (2) maka rentang waktu aktifnya lampu hijau dan merah baru secara berurut adalah 27,5 dan 82,5 detik. Hasil perhitungan pada jalur partisi I, lampu hijau menyala pada D_1 mengalami peningkatan sebesar 2,5 detik dan D_2 mengalami penurunan 72,5 detik. Jika lampu hijau partisi I menyala, maka partisi II, III, dan IV lampu merah. Hasil durasi lampu merah baru pada partisi II A_2, B_2 , dan C_1 mengalami peningkatan menjadi 82,5 detik. Durasi lampu merah baru partisi III A_1 dan F_2 meningkat 12,5 detik, sedangkan E_2 hanya 7,5 detik. Selanjutnya durasi lampu merah baru sesi IV E_1 naik 12,5 detik dan F_1 hanya 7,5 detik.

Perbandingan total lama penyalan fase lampu merah dan hijau lama dengan yang terbaru serta efektivitas lama penyalan fase baru pada fase pertama

terdapat pada Tabel berikut:

Tabel 6. Efektivitas Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau baru di Fase Pertama

Lampu	Total durasi lama	Total durasi lama	Efektivitas
Lampu merah	700	825	17,857 %
Lampu hijau	400	275	-31,25 %

Berdasarkan Tabel 6 di atas terlihat bahwa pada fase pertama efektivitas lampu merah mengalami peningkatan sebesar 17,857% dan lampu hijau mengalami penurunan 31,25%. Penurunan durasi lampu hijau terjadi karena saat jam pagi volume kendaraan meningkat di beberapa jalur. Pengurangan durasi lampu hijau di satu titik agar tidak terjadi kemacetan panjang/ penumpukan kendaraan di jalur yang mengalami lampu merah saat bersamaan

2. Fase kedua siang hari (11.00 – 14.00)

Tabel 7. Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau di Perempatan Pasar Cicalak pada Fase Kedua

Jalur	Lampu merah (detik)	Lampu hijau (detik)	Total (detik)
A_1	60	30	90
A_2	50	30	80
B_2	60	20	80
C_1	40	20	60
D_1	60	30	90
D_2	40	20	60
E_1	50	30	80
E_2	40	20	60
F_1	40	20	60
F_2	50	30	80
JUMLAH	490	25	740

Tabel 8. Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau baru ada Fase Kedua

Jalur	Lampu merah (detik)	Lampu hijau (detik)	Total (detik)
A_1	67,5	22,5	90
A_2	60	20	80
B_2	60	20	80
C_1	45	15	60
D_1	67,5	22,5	90
D_2	45	15	60
E_1	60	20	80
E_2	45	15	60
F_1	45	15	60
F_2	60	20	80
JUMLAH	555	185	740

Berdasarkan Tabel 8, terdapat perbedaan hasil durasi lampu merah dan lampu hijau yang baru. Hal ini terjadi karena total durasi lampu merah dan lampu hijau juga berbeda, yaitu 60; 80; dan 90 detik seperti yang terpapar di Tabel 7.

Hasil yang diperoleh pada Tabel 8, durasi lampu hijau baru pada partisi II yaitu A_2 mengalami penurunan 10 detik, B_2 tidak mengalami perubahan, dan C_1 berkurang menjadi 15 detik. Durasi waktu yang tidak mengalami perubahan berarti dapat dikatakan sudah efektif. Saat lampu hijau pada partisi II menyala, berarti partisi lainnya menyalakan lampu merah. Sehingga disaat bersamaan pada partisi I: durasi lampu merah di D_1 menjadi 67,5 detik dan D_2 meningkat sebesar 5 detik. Durasi lampu merah pada partisi III: E_2 mengalami peningkatan 10 detik dan F_2 meningkat 10 detik menjadi 60 detik. Jika lampu hijau di partisi IV yang menyala sebesar 20 detik pada E_1 dan 15 detik pada F_2 , maka lampu merah pada partisi II: A_2 mengalami peningkatan 10 detik, B_2 tidak mengalami perubahan, dan C_1 meningkat menjadi 45 detik.

Perbandingan total lama penyalan fase lampu merah dan hijau lama dengan yang terbaru pada fase kedua beserta efektivitas lama penyalan fase baru dirinci pada Tabel berikut:

Tabel 9. Efektivitas Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau baru di Fase Kedua

Lampu	Total durasi lama	Total durasi lama	Efektivitas
Lampu merah	490	555	13,265%
Lampu hijau	250	185	-26%

Berdasarkan Tabel 9 di atas, efektifitas lampu merah mengalami peningkatan sebesar 13,265% dan lampu hijau mengalami penurunan sebanyak 26%. Peningkatan durasi lampu merah karena di beberapa jalur volume kendaraan meningkat walau tidak sebanyak pagi hari. Di beberapa

jalur seperti dari arah Jakarta ke arah Bogor dan sebaliknya volume kendaraan tetap tinggi, perlu peningkatan durasi lampu merah di beberapa jalur agar jalur yang mengalami lampu hijau dapat mengurai kendaraan yang sebelumnya menunggu

3. Fase ketiga sore hari (16.30-20.30)

Tabel 10. Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau di Perempatan Pasar Cislak pada Fase Ketiga

Jalur	Lampu merah (detik)	Lampu hijau (detik)	Total (detik)
A_1	80	40	120
A_2	80	30	110
B_2	80	40	120
C_1	80	30	110
D_1	70	30	100
D_2	70	30	100
E_1	80	40	120
E_2	70	30	100
F_1	80	30	110
F_2	80	40	120
JUMLAH	770	340	1100

Tabel 11. Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau baru pada Fase Ketiga

Jalur	Lampu merah (detik)	Lampu hijau (detik)	Total (detik)
A_1	90	30	120
A_2	82,5	27,5	110
B_2	90	30	120
C_1	82,5	27,5	110
D_1	75	25	100
D_2	75	25	100
E_1	90	30	120
E_2	75	25	100
F_1	82,5	27,5	110
F_2	90	30	120
JUMLAH	832,5	277,5	1110

Pada fase ketiga total durasi lampu merah dan lampu hijau terbagi 3 yaitu 100; 110; dan 120 seperti yang terinci pada Tabel 10. Hal ini akan mempengaruhi durasi lampu merah dan lampu hijau yang baru diperoleh seperti Tabel 11.

Jika lampu hijau menyala pada partisi III, artinya partisi I, II, dan IV mengalami lampu merah. Adapun durasi lampu hijau baru pada

partisi III: jalur A_1 dan F_2 mengalami penurunan sebesar 10 detik, sedangkan jalur E_2 hanya mengalami penurunan 5 detik menjadi 25 detik. Sedangkan durasi lampu merah baru pada partisi I: jalur D_1 dan D_2 mengalami peningkatan sebanyak 5 detik. Durasi lampu merah baru pada partisi II: A_2 dan C_1 mengalami peningkatan sebesar 2,5 detik dan B_2 mengalami peningkatan menjadi 90 detik. Durasi lampu merah baru pada partisi IV: E_1 meningkat 10 detik dan F_1 hanya meningkat 2,5 detik menjadi 82,5 detik.

Perbandingan total lama penyalaan fase lampu merah dan hijau lama dengan yang terbaru pada fase ketiga beserta efektivitas lama penyalaan fase baru dirinci pada Tabel berikut:

Tabel 12. Efektivitas Durasi Lampu Merah dan Lampu Hijau baru di Fase Ketiga

Lampu	Total durasi lama	Total durasi baru	Efektivitas
Lampu merah	770	832,5	8,116%
Lampu hijau	340	277,5	-18,382%

Berdasarkan Tabel 12 terlihat bahwa efektivitas lampu merah mengalami peningkatan sebesar 8,116% dan lampu hijau mengalami penurunan sebanyak 18,382%. Peningkatan durasi lampu merah karena jalur ke arah Bogor mengalami peningkatan volume kendaraan. Dari arah Jakarta, Exit Tol Cijago, Jalan Juanda, dan Exit Tol Cisalak 3 mayoritas kendaraan mengarah ke Bogor. Peningkatan durasi lampu merah di beberapa jalur berfungsi untuk melancarkan jalur yang mengalami lampu hijau.

4. Kesimpulan Dan Saran

Merujuk dari uraian data hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan: 1) Terdapat paling minimum 4 alternatif pengelompokkan jalur-jalur yang

dapat berjalan bersamaan di perempatan Pasar Cisalak, Kota Depok. 2) Pada fase pertama tingkat efektivitas lampu merah mengalami kenaikan sebesar 17,857% dan lampu hijau mengalami penurunan sebesar 31,25%. Pada fase kedua tingkat efektivitas lampu merah mengalami kenaikan sebesar 13,265% dan lampu hijau mengalami penurunan sebesar 26%. Pada fase ketiga tingkat efektivitas lampu merah mengalami kenaikan sebesar 8,116% dan lampu hijau mengalami penurunan sebesar 18,382%.

Kajian berikutnya diharapkan dapat mempertimbangkan variable-variabel lain yang berpotensi menyebabkan kemacetan di perempatan Pasar Cisalak. Hasil durasi waktu lampu merah dan lampu hijau baru belum tentu efektif mengatasi kemacetan jika diterapkan langsung pada lampu lalu lintas.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] C. Heni Meiliana dan D. Maryono, "Aplikasi Pewarnaan Graf Untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light di Sukoharjo," *JIPTEK*, vol. VII, no. 1, hlm. 25–34, 2014.
- [2] R. Annisa dan Anna, "Pemanfaatan Graf Dalam Pengaturan Warna Lampu Lalu Lintas Menggunakan Algoritma Welch Powell," *Teknika*, vol. 13, no. 1, hlm. 18–23, 2019.
- [3] A. Mardiatas Soimah dan N. Muhammad Mussafi, "Pewarnaan Simpul Dengan Algoritma Welch-Powell Pada Traffic Light di Yogyakarta," *Fourier*, vol. 2, no. 2, hlm. 73–79, 2013, [Daring]. Tersedia pada: www.fourier.or.id
- [4] D. Aji Setiawan, A. Suyitno, dan R. Arifudin, "Penerapan Graf Pada Persimpangan Menggunakan Algoritma Welch-Powell Untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light," *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 5, no. 2, hlm. 144–152, 2016.

- [5] I. Isnaeni, S. Rahmah, dan U. Agosa, "Implementation of Graph Theory on the Setting of the Traffic Light Intersection," *ITEJ*, vol. 6, no. 2, hlm. 100–112, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://syekhnurjati.ac.id/journal/index.php/itej>
- [6] H. Anugerah Kinanti dan A. Bagus Agatha, "Application of Graph Theory in Traffic Light System Optimization to Alleviate Congestion at the Mangli Road Intersection," 2024, doi: 10.13140/RG.2.2.30963.75049.
- [7] W. Dianita Utami, A. D. Naufal, dan P. Keumala Intan, "Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Pada Simpang Lima Krian-Sidoarjo Menggunakan Algoritma Welch-Powell," vol. 02, no. 01, hlm. 1–6, 2020.
- [8] R. Munir, *Matematika Diskrit*, 7 ed. Bandung: Informatika, 2007.
- [9] M. Kusmira dan Taufiqurrochman, "Pemanfaatan Aplikasi Graf Pada Pembuatan Jalur Angkot 05 Tasikmalaya," dalam *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2017, hlm. 1–6.
- [10] L. Jiao dkk., "Graph Representation Learning Meets Computer Vision: A Survey," *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, hlm. 2–22, Feb 2023, doi: 10.1109/TAI.2022.3194869.
- [11] C. P. Shyni dan T. Ramachandran, "Vertex Coloring of Graph Using Incidence Matrix," *Journal of Computational Analysis and Applications*, vol. 33, no. 8, hlm. 543–546, 2024.
- [12] A. N. Shukla dan M. L. Garg, "An Approach To Solve Graph Coloring Problem Using Adjacency Matrix," *Biosci Biotechnol Res Commun*, vol. 12, no. 2, hlm. 472–477, Jun 2019, doi: 10.21786/bbrc/12.2/33.
- [13] A. Catherine Mary, Y. Maria Sujita, dan S. Meena, "Four Colouring Problem Applying in Tamilnadu (District)," *INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATIVE RESEARCH IN MULTIDISCIPLINARY FIELD*, vol. 9, no. 3, hlm. 136–139, 2023, doi: 10.2015/IJIRMF/202303027.
- [14] M. Y. Fakhri, E. Harahap, dan F. H. Badruzzaman, "Implementasi Algoritma Welch-Powell pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Pasteur Bandung," *Jurnal Riset Matematika*, vol. 1, no. 2, hlm. 91–98, Des 2021, doi: 10.29313/jrm.v1i2.365.
- [15] H. Harianto, "Aplikasi Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch-Powell pada pengaturan Traffic Light," 2016.
- [16] M. D. Abdullah dan B. Rahadjeng, "Aplikasi Pewarnaan Titik Pada Graf Untuk Optimalisasi Durasi Lampu Lalu Lintas Di Simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya," *MATHunesa*, vol. 10, no. 2, hlm. 289–298, 2022.