

APLIKASI PEWARNAAN TITIK PADA GRAF UNTUK OPTIMALISASI DURASI LAMPU LALU LINTAS DI SIMPANG JALAN JEMURSARI KOTA SURABAYA

Moh. Dzikri Abdullah

Program Studi Matematika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya,
e-mail : dzikri.18026@mhs.unesa.ac.id

Budi Rahadjeng

Program Studi Matematika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya,
e-mail : budirahadjeng@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan lampu lalu lintas pada simpang Jalan Jemursari dengan menggunakan konsep pewarnaan simpul teori graf. Sampel penelitian ini merupakan durasi lampu lalu lintas berwarna merah dan hijau yang berada di simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menghitung satu siklus durasi lampu lalu lintas berwarna merah dan hijau secara manual menggunakan stopwatch. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat efektivitas data hasil pewarnaan simpul menggunakan algoritma Welsh-Powell lebih aman dan lebih objektif dibandingkan data primer baik pada saat kereta melintas maupun pada saat kereta tidak melintas di area tersebut. Pada saat kereta tidak melintas diperoleh tingkat efektivitas lampu berwarna hijau naik sebesar 4,576% dan lampu berwarna merah turun sebesar 3,826%. Sedangkan pada saat kereta melintas diperoleh tingkat efektivitas lampu berwarna hijau naik sebesar 58,226% dan untuk lampu berwarna merah turun sebesar 26,900%.

Kata Kunci: Lampu Lalu Lintas, Pewarnaan Simpul, Welsh-Powell.

Abstract

This study aims to optimize traffic lights at the Jemursari intersection by using the concept of graph theory node coloring. The sample of this study is the duration of the red and green traffic lights at the Jemursari intersection, Surabaya City. Sampling was done by counting one cycle of the duration of the red and green traffic lights manually using a stopwatch. The results of this study indicate that the level of effectiveness of data from node coloring using the Welsh-Powell algorithm is safer and more objective than primary data both when the train is passing or when the train is not crossing the area. When the train does not pass, the effectiveness of the green light increases by 4.576% and the red light decreases by 3.826%. Meanwhile, when the train passes, the effectiveness level of green lights increases by 58.226% and for red lights it decreases by 26.900%.

Keywords: Traffic Light, Node Coloring, Welsh-Powell.

PENDAHULUAN

Teori graf adalah satu dari banyak bidang matematika yang banyak dipelajari ataupun diaplikasikan dalam kehidupan nyata. Secara tidak resmi, suatu graf merupakan himpunan titik (simpul) yang dihubungkan oleh sisi (edge), dimana satu sisi dapat menghubungkan satu titik dengan titik yang sama. Salah satu topik dalam teori graf adalah pewarnaan. Pewarnaan dibagi menjadi pewarnaan titik, pewarnaan sisi, dan pewarnaan bidang.

Salah satu permasalahan pada kehidupan nyata yang dapat diselesaikan dan direpresentasikan dengan menggunakan konsep teori graf adalah permasalahan terkait kemacetan yang umum terjadi di daerah perkotaan. Kemacetan menimbulkan

adanya lampu lalu lintas dan rambu lalu lintas. Saat ini telah banyak lampu lalu lintas yang menggunakan fitur LED yang menandakan durasi waktu pada lampu yang harus ditunggu. Akan tetapi, terkadang dirasa bahwa durasi pada lampu merah terlalu lama dan durasi pada lampu hijau terlalu singkat, sehingga menyebabkan kemacetan yang terjadi di simpang jalan.

Secara matematis, konsep teori graf dapat dipergunakan untuk mengatasi permasalahan yang berhubungan dengan lalu lintas. Simpang jalan dapat direpresentasikan dalam bentuk graf, dengan titik merepresentasikan arus dan sisi merepresentasikan dua arus yang tidak dapat melintas secara bersamaan. Algoritma Welsh-Powell telah digunakan oleh Cahyo Heny Meiliana dan Dwi

Maryono untuk mengoptimalkan lalu lintas di sukoharjo. sedangkan Wika Dianita Utami, dkk juga menggunakan algoritma Welsh-Powell untuk mengoptimalkan waktu tunggu lampu lalu lintas di kawasan Sidoarjo.

Dikutip dari website Suara Surabaya terdapat 328 laporan kecelakaan dan kemacetan yang terjadi di Kota Surabaya pada tahun 2021. Diantaranya sebanyak 6 laporan terletak pada kawasan Jemursari. Oleh karena itu, penulis mencoba menggunakan algoritma Welsh-Powell untuk mengoptimalkan kasus kemacetan pada simpang Jalan Jemursari yang terletak di Kota Surabaya. Hasil perhitungan akan menghasilkan sebuah alternatif durasi baru yang nantinya dibandingkan dengan durasi data primer yang telah diperoleh secara manual dan diharapkan dapat menjadi solusi dalam hal mempersingkat durasi lampu merah dan memperpanjang durasi lampu hijau.

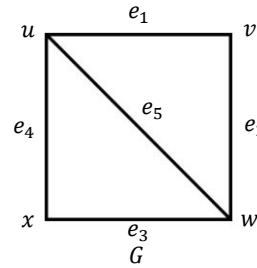
KAJIAN TEORI

LAMPU LALU LINTAS

Dalam Keputusan Menteri Perhubungan Pasal 1 Ayat 1 Undang-Undang Nomor 62 Tahun 1993 tentang Alat Pemberi Isyarat Lampu Lalu Lintas yaitu suatu peralatan teknis yang mempergunakan isyarat lampu untuk mengendalikan lalu lintas orang dan/atau kendaraan di simpang atau ruas jalan”.

DEFINISI GRAF

Sebuah graf G berisi himpunan titik atau $V(G)$ yaitu himpunan berhingga tak kosong dan himpunan sisi atau $E(G)$ yaitu himpunan berhingga (mungkin kosong) sedemikian hingga setiap elemen e pada $E(G)$ adalah pasangan tak berurutan dari setiap titik di $V(G)$ (Budayasa, 2007). Misalnya, graf G dengan $V(G) = \{u, v, w, x\}$ dan $E(G) = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, untuk $e_1 = uv, e_2 = vw, e_3 = wx, e_4 = ux, e_5 = uw$, dapat diterapkan seperti pada Gambar 1 berikut.



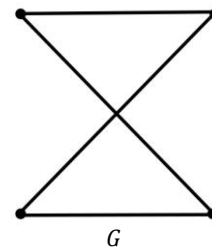
Gambar 1. G graf dengan 4 titik dan 5 sisi

LINTASAN

Misalkan graf G memuat titik u dan titik v . lintasan u ke v yaitu jalan titik u menuju titik v dengan semua sisi yang dilintasinya berbeda

GRAF TERHUBUNG

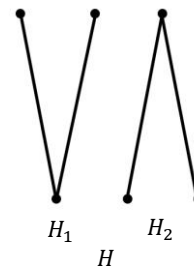
Graf G terhubung (connected) jika terdapat lintasan yang menghubungkan dua titik G yang berbeda (Budayasa, 2007). Sebagai contoh akan ditunjukkan graf terhubung pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. G graf terhubung

GRAF TIDAK TERHUBUNG

Graf G tidak terhubung (disconnected) jika tidak terdapat lintasan yang menghubungkan dua titik G yang berbeda (Budayasa, 2007). Sebagai contoh akan ditunjukkan graf tidak terhubung pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. H graf tidak terhubung dengan 2 bagian, yaitu H_1 dan H_2

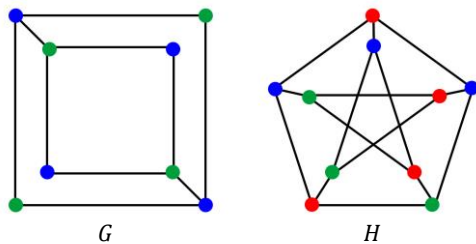
DERAJAT

Misalkan G adalah graf dan v adalah titik di G . Derajat titik v , dilambangkan $d_G(v)$ atau $d(v)$,

merupakan banyaknya sisi G yang terhubung dengan titik v (dengan keterangan setiap gelung (loop) dihitung sebanyak dua kali) (Budayasa, 2007).

PEWARNAAN TITIK

Pewarnaan titik merupakan pemberian warna setiap titik dalam sebuah graf, sedemikian hingga tidak terdapat dua titik terhubung langsung memperoleh warna sepadan. Sebagai contoh akan ditunjukkan graf pewarnaan titik pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pewarnaan graf G dengan 2 warna dan pewarnaan graf H dengan 3 warna

ALGORITMA WELSH-POWELL

Algoritma Welsh-Powell yaitu algoritma pewarnaan simpul yang disusun oleh 2 orang yaitu Welsh dan Powell (Budayasa, 2007). Algoritma ini mengacu pada derajat paling tinggi atas simpul dan juga banyaknya sisi yang saling berkaitan. Algoritma ini digunakan untuk mewarnai seluruh simpul dari suatu graf dimulai dari titik berderajat terbesar hingga titik berderajat terkecil. Langkah-langkah untuk algoritma Welsh-Powell adalah sebagai berikut :

- INPUT : Graf G dengan n titik.
- STEP 1 : Label titik-titik graf G dengan v_1, v_1, \dots, v_n . Hingga $d(v_1) \geq d(v_2) \geq d(v_n)$. Label warna-warna yang ada dengan $1, 2, 3, \dots, n$.
- STEP 2 : $\forall i = 1, \dots, n$, misal $C_i = \{1, 2, \dots, i\}$ daftar warna yang dapat digunakan untuk mewarnai titik v_i .
- STEP 3 : Tulis $i = 1$.
- STEP 4 : Misalkan c_i warna pertama di C_i , warnailah v_i dengan c_i .
- STEP 5 : untuk setiap j dengan $i < j$ dan v_i berhubungan langsung dengan v_j di G tulis $C_j = C_i - \{c_i\}$. (ini berarti, v_j tidak akan mendapat warna yang sama dengan v_i).
- STEP 6 : Catat setiap titik dan warnanya. STOP.

EFEKTIVITAS LAMPU LALU LINTAS

Efektivitas pada lampu lalu lintas dipengaruhi oleh durasi, kepadatan lalu lintas, kemacetan, dan kecelakaan. Penentuan nilai tingkat efektivitas pada durasi lampu lalu lintas dilakukan dengan cara mencari rasio atau perbandingan antara durasi lampu hijau lama dengan durasi lampu hijau baru atau durasi lampu merah lama dengan durasi lampu merah baru pada penyelesaian pewarnaan titik menggunakan algoritma Welsh-Powell. Rasio dapat dinyatakan dalam bentuk persentase, desimal, atau pecahan. Rumus tingkat efektivitas pada durasi lampu lalu lintas adalah

$$\frac{X - Y}{Y} \times 100\%$$

Dengan keterangan bahwa X adalah total durasi lampu lalu lintas setelah pewarnaan atau total durasi lampu lalu lintas baru, dan Y adalah total durasi primer lampu lalu lintas lama.

METODE

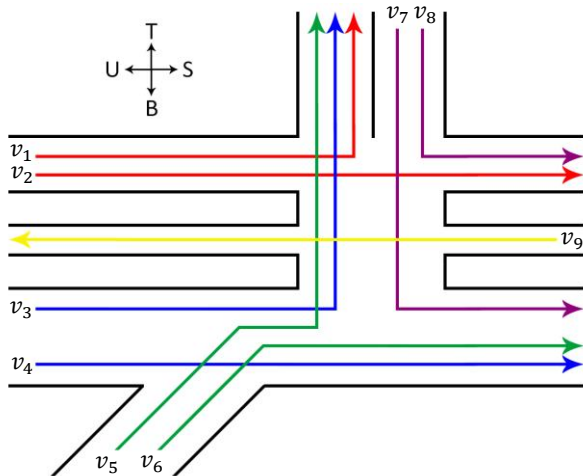
Data penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh secara pemantauan dan pencatatan data secara langsung terhadap lampu lalu lintas di simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya. Waktu pengambilan data penelitian yaitu pada tanggal 3 Februari 2022 pada kurun waktu 10.35-10.55, dimana pada kurun waktu 10.45-10.49 terdapat kereta yang melintasi area tersebut. Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data durasi satu siklus lampu lalu lintas yang terdapat di simpang jalan
2. Membuat ilustrasi arus simpang jalan yang akan digunakan untuk penelitian
3. Merepresentasikan arus pada lalu lintas dalam bentuk graf, dengan arus direpresentasikan sebagai titik dan dua arus yang tidak dapat melintas secara bersamaan direpresentasikan sebagai sisi.
4. Mewarnai semua titik pada graf dengan algoritma Welsh-Powell.
5. Membagi satu siklus durasi lampu lalu lintas dengan bilangan kromatik yang ditemukan pada langkah 4, hasil pembagian menyatakan durasi baru pada lampu hijau menyala.
6. Menentukan nilai tingkat efektivitas durasi lampu lalu lintas baru dengan rumus $\frac{\text{total durasi baru} - \text{total durasi primer}}{\text{total durasi primer}} \times 100\%$ yang

merupakan rasio selisih antara durasi lampu hijau lama dengan lampu hijau baru atau durasi lampu merah lama dengan lampu merah baru hasil pewarnaan titik dengan menggunakan algoritma Welsh-Powell.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhatikan ilustrasi arus lalu lintas simpang Jalan Jemursari Pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi arus lalu lintas simpang Jalan Jemursari

- a. Garis merah berlabel v_1 menyatakan arus dari Jl. Ahmad Yani kemudian berganti arah ke kiri menuju Jl. Raya Jemursari
- b. Garis merah berlabel v_2 menyatakan arus dari Jl. Ahmad Yani kemudian melaju terus menuju Jl. Ahmad Yani
- c. Garis biru berlabel v_3 menyatakan arus dari Jl. Ahmad Yani kemudian berganti arah ke kiri menuju Jl. Raya Jemursari dan melalui arus kereta api
- d. Garis biru berlabel v_4 menyatakan arus dari Jl. Ahmad Yani kemudian melaju terus menuju Jl. Ahmad Yani
- e. Garis hijau berlabel v_5 menyatakan arus dari Jl. Jenderal Ahmad Yani menuju Jl. Ahmad Yani kemudian berganti arah ke kiri menuju Jl. Raya Jemursari dan melalui arus kereta api
- f. Garis hijau berlabel v_6 menyatakan arus dari Jl. Jenderal Ahmad Yani kemudian melaju terus menuju Jl. Ahmad Yani
- g. Garis ungu berlabel v_7 menyatakan arus dari Jl. Raya Jemursari kemudian berganti arah ke kiri menuju Jl. Ahmad Yani dan melalui arus kereta

- api
- h. Garis ungu berlabel v_8 menyatakan arus dari Jl. Raya Jemursari kemudian berganti arah ke kiri menuju Jl. Ahmad Yani
- i. Garis kuning berlabel v_9 menyatakan arus kereta api

Daftar arus pada simpang Jalan Jemursari yang dapat melintas secara bersamaan dengan arus lainnya adalah sebagai berikut :

- a. Arus v_1 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_2, v_4, v_6, v_7, v_8,$ dan v_9
- b. Arus v_2 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_4, v_6, v_8,$ dan v_9
- c. Arus v_3 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_4, v_6, v_7,$ dan v_8
- d. Arus v_4 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_2, v_3, v_7, v_8,$ dan v_9
- e. Arus v_5 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_6, v_7,$ dan v_8
- f. Arus v_6 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_2, v_3, v_5, v_7, v_8,$ dan v_9
- g. Arus v_7 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_3, v_4, v_5, v_6, v_8,$ dan v_9
- h. Arus v_8 dapat melintas secara bersamaan dengan semua arus tanpa bertabrakan dengan arus lainnya
- i. Arus v_9 dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_2, v_4, v_6,$ dan v_8
- j. Saat kereta baru berhenti melintas, arus $v_3, v_5, v_6,$ dan v_7 dapat melintas secara bersamaan

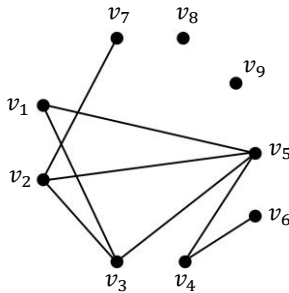
Daftar arus pada simpang Jalan Jemursari yang tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus lainnya adalah sebagai berikut :

- a. Arus v_1 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_3 dan v_5
- b. Arus v_2 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_3, v_5,$ dan v_7
- c. Arus v_3 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_2, v_5,$ dan v_9
- d. Arus v_4 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_5 dan v_6
- e. Arus v_5 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus $v_1, v_2, v_3, v_4,$ dan v_9
- f. Arus v_6 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_4
- g. Arus v_7 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_2 dan v_9

h. Arus v_9 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_3, v_5, v_7

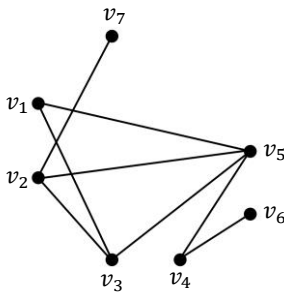
DATA SAAT KERETA TIDAK MELINTAS

Merepresentasikan arus simpang Jalan Jemursari dalam bentuk graf. Pada Gambar 6 akan dilampirkan graf arus simpang Jalan Jemursari sebagai berikut.



Gambar 6. Graf simpang Jalan Jemursari saat kereta tidak melintas

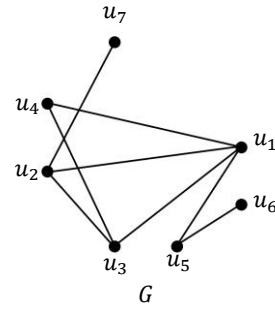
Karena arus v_8 merupakan arus yang dapat melintas secara bersamaan dengan semua arus dan arus v_9 merupakan arus kereta api, sehingga kedua arus tersebut tidak dilabelkan pada bentuk representasi graf. Pada Gambar 7 akan dilampirkan graf arus simpang Jalan Jemursari tanpa titik v_8 dan v_9 sebagai berikut.



Gambar 7. Graf simpang Jalan Jemursari saat kereta tidak melintas tanpa titik v_8 dan v_9

Langkah-langkah menggunakan algoritma Welsh-Powell untuk mencari batas atas bilangan kromatik graf simpang Jalan Jemursari adalah sebagai tersebut

STEP 1 : Dimisalkan graf G adalah graf simpang Jalan Jemursari, maka label titik-titik pada graf G dengan $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$ akan tampak pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Pelabelan setiap titik graf G dimulai titik berderajat terbesar hingga titik berderajat terkecil

STEP 2 : $C_1 = \{1\}$, $C_2 = \{1,2\}$, $C_3 = \{1,2,3\}$, $C_4 = \{1,2,3,4\}$, $C_5 = \{1,2,3,4,5\}$, $C_6 = \{1,2,3,4,5,6\}$, dan $C_7 = \{1,2,3,4,5,6,7\}$.

STEP 3 : $i = 1$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_1 . Warnai titik u_1 dengan warna 1.

STEP 5 : u_2, u_3, u_4 , dan u_5 berhubungan langsung dengan u_1 , diperoleh $C_2 = \{1,2\} - \{1\} = \{2\}$; $C_3 = \{1,2,3\} - \{1\} = \{2,3\}$; $C_4 = \{1,2,3,4\} - \{1\} = \{2,3,4\}$; $C_5 = \{1,2,3,4,5\} - \{1\} = \{2,3,4,5\}$. $i = 1 + 1 = 2$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_2 . Warnai titik u_2 dengan warna 2.

STEP 5 : u_3 berhubungan langsung dengan u_1 dan u_2 , diperoleh $C_3 = \{1,2,3\} - \{1\} - \{2\} = \{3\}$. $i = 2 + 1 = 3$.

STEP 4 : 3 adalah warna pertama di C_3 . Warnai titik u_3 dengan warna 3.

STEP 5 : u_4 berhubungan langsung dengan u_1 dan u_3 , diperoleh $C_4 = \{1,2,3,4\} - \{1\} - \{3\} = \{2,4\}$. $i = 3 + 1 = 4$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_4 . Warnai titik u_4 dengan warna 2.

STEP 5 : u_5 berhubungan langsung dengan u_1 , diperoleh $C_5 = \{1,2,3,4,5\} - \{1\} = \{2,3,4,5\}$. $i = 4 + 1 = 5$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_5 . Warnai titik u_5 dengan warna 2.

STEP 5 : u_6 berhubungan langsung dengan u_5 , diperoleh $C_6 = \{1,2,3,4,5,6\} - \{5\} = \{1,2,3,4,6\}$. $i = 5 + 1 = 6$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_6 . Warnai titik u_6 dengan warna 1.

STEP 5 : u_7 berhubungan langsung dengan u_2 , diperoleh $C_7 = \{1,2,3,4,5,6,7\} - \{2\} = \{1,3,4,5,6,7\}$. $i = 6 + 1 = 7$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_7 . Warnai titik u_7 dengan warna 1.

STEP 5 : Tidak ada titik berindeks lebih dari 7 yang berhubungan langsung dengan u_7 , diperoleh $i = 7 + 1 = 8$. Karena $i > n$, lanjut ke STEP 6.

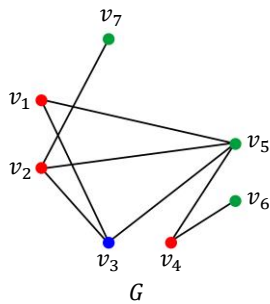
STEP 6 : Tabel titik-titik G dan warnanya

$V(G)$: u_1 u_2 u_3 u_4 u_5 u_6 u_7

Warna v_i : 1 2 3 2 2 1 1

Pada konstruksi pewarnaan pada graf G diatas diperoleh bilangan kromatik graf kurang dari atau sama dengan 3. Karena graf komplit dengan 3 titik (K_3) merupakan graf bagian dari G , maka bilangan kromatik graf G lebih besar atau sama dengan 3. Akibatnya bilangan kromatik sama dengan 3.

Pada hasil pewarnaan graf dimisalkan warna hijau sebagai warna pertama, warna merah sebagai warna kedua, dan warna biru sebagai warna ketiga. Sehingga diperoleh Gambar 9 sebagai berikut :



Gambar 9. Graf G pewarnaan simpul simpang Jalan Jemursari saat kereta tidak melintas

Dari hasil pewarnaan graf pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa bilangan kromatik graf sama dengan 3. Sehingga pada Tabel 1 berikut akan dilampirkan daftar arus yang dapat melintas secara bersamaan.

Tabel 1 Daftar arus yang dapat melintas secara bersamaan

Warna	Simpul
Hijau	$v_5, v_6,$ dan v_7
Merah	$v_1, v_2,$ dan v_4
Biru	v_3

Pada Tabel 1 saat arus v_3 melintas maka arus yang lain berhenti, dikarenakan arus v_3 merupakan satu-satunya arus yang memperoleh warna biru.

Pada Tabel 2 berikut akan dilampirkan data primer durasi lampu lalu lintas saat kereta tidak melintas pada simpang Jalan Jemursari dalam hitungan detik.

Tabel 2. Data primer durasi lampu lalu lintas saat kereta tidak melintas dalam hitungan detik

Arah lintasan	Durasi warna lampu lalu lintas		Total
	Merah	Hijau	
Barat ke selatan (arus v_6)	56	120	176
Barat ke timur (arus v_5)	36	140	176
Utara ke timur (arus v_3)	140	36	176
Utara ke selatan (arus v_4)	121	55	176
Timur ke selatan (arus v_7)	36	140	176
Utara ke selatan (arus v_2)	141	35	176
Utara ke timur (arus v_1)	141	35	176
Total	671	561	1232

Diketahui bahwa data satu siklus pada 7 lampu lalu lintas berdurasi sebesar 176 detik. Diketahui juga pada Gambar 9 diperoleh bilangan kromatik graf adalah 3. Sehingga durasi 176 detik dibagi bilangan kromatik sebanyak 3 diperoleh hasil 58.67 detik. Hal tersebut menunjukkan lampu hijau baru akan menyala selama 58.67 detik dan lampu merah baru akan menyala selama 117.33 detik.

Arus v_6 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_4 , sehingga durasi lampu hijau arus v_6 akan meningkat menjadi 117.33 detik dan durasi lampu merah arus v_6 akan menurun menjadi 58.67 detik. Arus v_5 dan v_7 tidak dapat melintas secara bersamaan dengan arus v_3 , sehingga durasi lampu hijau arus v_5 dan v_7 akan meningkat menjadi 117.33 detik dan durasi lampu merah arus v_5 dan v_7 akan menurun menjadi 58.67 detik. Sehingga akan dilampirkan data primer dan data baru dalam hitungan detik pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Data primer dan data baru durasi lampu lalu lintas saat kereta tidak melintas dalam hitungan detik

Arah lintasan	Durasi data primer		Durasi data baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Barat ke selatan (arus v_6)	55	121	58.67	117.33

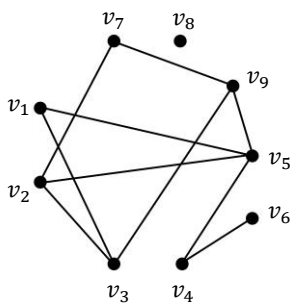
Barat ke timur (arus v_5)	36	140	58.67	117.33
Utara ke timur (arus v_3)	140	36	117.33	58.67
Utara ke selatan (arus v_4)	120	56	117.33	58.67
Timur ke selatan (arus v_7)	36	140	58.67	117.33
Utara ke selatan (arus v_2)	141	35	117.33	58.67
Utara ke timur (arus v_1)	141	35	117.33	58.67
Total	671	561	645.33	586.67

Total durasi lampu hijau data primer adalah 561 detik, sedangkan total durasi lampu hijau hasil metode pewarnaan simpul adalah 586.67 detik, sehingga tingkat efektivitasnya adalah $\frac{586.67-561}{561} \times 100\% = 4.576\%$. Total durasi lampu merah data primer adalah 671 detik, sedangkan total durasi lampu merah hasil metode pewarnaan simpul adalah 645.33 detik, sehingga tingkat efektivitasnya adalah $\frac{645.33-671}{671} \times 100\% = -3.826\%$.

Berdasarkan perbandingan durasi baru dan durasi lama, dan tingkat efektivitas lampu lalu lintas dapat disimpulkan bahwa data hasil pewarnaan simpul lebih aman dan lebih objektif dibandingkan data primer yang diperoleh langsung di lokasi tempat lalu lintas berada.

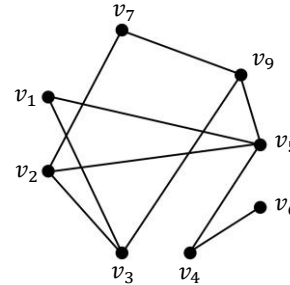
DATA SAAT KERETA MELINTAS

Merepresentasikan ilustrasi arus simpang Jalan Jemursari dalam bentuk graf. Pada saat kereta baru berhenti melintas, arus $v_3, v_5, v_6,$ dan v_7 dapat melintas secara bersamaan. Sehingga pada Gambar 10 akan dilampirkan graf arus simpang Jalan Jemursari sebagai berikut.



Gambar 11. Graf simpang Jalan Jemursari saat kereta melintas

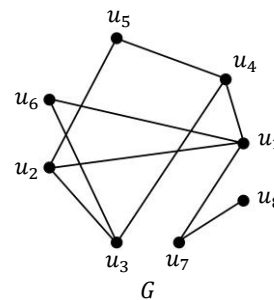
Karena arus v_8 merupakan arus yang dapat melintas secara bersamaan dengan semua arus, sehingga arus v_8 tidak dilabelkan pada bentuk representasi graf. Pada Gambar 11 akan dilampirkan graf arus simpang Jalan Jemursari tanpa titik v_8 sebagai berikut.



Gambar 11. Graf simpang Jalan Jemursari saat kereta melintas tanpa titik v_8

Langkah-langkah menggunakan algoritma Welsh-Powell untuk mencari batas atas bilangan kromatik graf simpang Jalan Jemursari adalah sebagai tersebut.

STEP 1 : Dimisalkan graf G adalah graf simpang Jalan Jemursari, maka label titik-titik pada graf G dengan $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$ akan tampak pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Pelabelan setiap titik graf G dimulai titik berderajat terbesar hingga titik berderajat terkecil

STEP 2 : $C_1 = \{1\}, C_2 = \{1,2\}, C_3 = \{1,2,3\}, C_4 = \{1,2,3,4\}, C_5 = \{1,2,3,4,5\}, C_6 = \{1,2,3,4,5,6\},$ dan $C_7 = \{1,2,3,4,5,6,7\}.$

STEP 3 : $i = 1.$

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di $C_1.$ Warnai titik u_1 dengan warna 1.

STEP 5 : $u_2, u_4, u_6,$ dan u_7 berhubungan langsung dengan $u_1,$ diperoleh $C_2 = \{1,2\} - \{1\} = \{2\}; C_4 = \{1,2,3,4\} - \{1\} = \{2,3,4\}; C_6 = \{1,2,3,4,5,6\} - \{1\} = \{2,3,4,5,6\}; C_7 =$

$\{1,2,3,4,5,6,7\} - \{1\} = \{2,3,4,5,6,7\}$. $i = 1 + 1 = 2$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_2 . Warnai titik u_2 dengan warna 2.

STEP 5 : u_3 dan u_5 berhubungan langsung dengan u_2 , diperoleh $C_3 = \{1,2,3\} - \{2\} = \{1,3\}$; $C_5 = \{1,2,3,4,5\} - \{2\} = \{1,3,4,5\}$. $i = 2 + 1 = 3$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_3 . Warnai titik u_3 dengan warna 1.

STEP 5 : u_4 , dan u_6 berhubungan langsung dengan u_1 dan u_3 , diperoleh $C_4 = \{1,2,3,4\} - \{1\} - \{3\} = \{2,4\}$; $C_6 = \{1,2,3,4,5,6\} - \{1\} - \{3\} = \{2,4,5,6\}$. $i = 3 + 1 = 4$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_4 . Warnai titik u_4 dengan warna 2.

STEP 5 : u_5 berhubungan langsung dengan u_2 dan u_4 , diperoleh $C_4 = \{1,2,3,4,5\} - \{2\} - \{4\} = \{1,3,5\}$. $i = 4 + 1 = 5$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_5 . Warnai titik u_5 dengan warna 1.

STEP 5 : u_6 berhubungan langsung dengan u_1 dan u_3 , diperoleh $C_6 = \{1,2,3,4,5,6\} - \{1\} - \{3\} = \{2,4,5,6\}$. $i = 5 + 1 = 6$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_6 . Warnai titik u_6 dengan warna 2.

STEP 5 : u_7 berhubungan langsung dengan u_1 , diperoleh $C_7 = \{1,2,3,4,5,6,7\} - \{1\} = \{2,3,4,5,6,7\}$. $i = 6 + 1 = 7$.

STEP 4 : 2 adalah warna pertama di C_7 . Warnai titik u_7 dengan warna 2.

STEP 5 : u_8 berhubungan langsung dengan u_7 , diperoleh $C_8 = \{1,2,3,4,5,6,7\} - \{7\} = \{1,2,3,4,5,6,8\}$. $i = 7 + 1 = 8$.

STEP 4 : 1 adalah warna pertama di C_8 . Warnai titik u_8 dengan warna 1.

STEP 5 : Tidak ada titik berindeks lebih dari 8 yang berhubungan langsung dengan u_8 , diperoleh $i = 8 + 1 = 9$. Karena $i > n$, lanjut ke STEP 6.

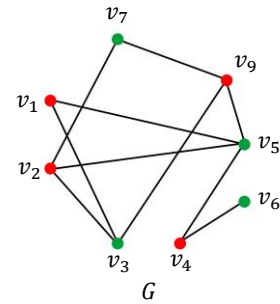
STEP 6 : Tabel titik-titik G dan warnanya

$V(G)$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
Warna v_i :	1	2	1	2	1	2	2	1

Pada hasil konstruksi pewarnaan pada graf G diperoleh bilangan kromatik graf kurang dari atau sama dengan 2. Karena graf komplit dengan 2 titik

(K_2) merupakan graf bagian dari G , maka bilangan kromatik graf G lebih besar atau sama dengan 2. Akibatnya bilangan kromatik sama dengan 2.

Pada hasil pewarnaan graf dimisalkan warna hijau sebagai warna pertama dan warna merah sebagai warna kedua. Sehingga diperoleh Gambar 13 sebagai berikut :



Gambar 13. Graf G pewarnaan simpul simpang Jalan Jemursari saat kereta melintas

Dari hasil pewarnaan graf pada Gambar 13 dapat diketahui bahwa bilangan kromatik graf sama dengan 2. Sehingga pada Tabel 4 berikut akan dilampirkan daftar arus yang dapat melintas secara bersamaan.

Tabel 4 Daftar arus yang dapat melintas secara bersamaan

Warna	Simpul
Hijau	$v_3, v_5, v_6,$ dan v_7
Merah	$v_1, v_2, v_4,$ dan v_9

Pada Tabel 5 berikut akan dilampirkan data primer durasi lampu lalu lintas saat kereta melintas pada simpang Jalan Jemursari dalam hitungan detik.

Tabel 5. Data primer durasi lampu lalu lintas saat kereta melintas dalam hitungan detik

Arah lintasan	Durasi warna lampu lalu lintas		Total
	Merah	Hijau	
Barat ke selatan (arus v_6)	174	153	327
Barat ke timur (arus v_3 dan v_5)	214	113	327
Utara ke selatan (arus v_4)	154	173	327
Timur ke selatan (arus v_7)	214	113	327
Utara ke selatan (arus v_2)	293	34	327

Utara ke timur (arus v_1)	293	34	327
Total	1342	620	1962

Diketahui bahwa data satu siklus pada 6 lampu lalu lintas berdurasi sebesar 327 detik. Diketahui juga pada Gambar 11 diperoleh bilangan kromatik graf adalah 2. Sehingga durasi 327 detik dibagi bilangan kromatik sebanyak 2 diperoleh hasil 163.5 detik. Hal tersebut menunjukkan lampu hijau baru akan menyala selama 163.5 detik dan lampu merah baru akan menyala selama 163.5 detik. Sehingga akan dilampirkan data primer dan data baru dalam hitungan detik pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Data primer dan data baru durasi lampu lalu lintas saat kereta melintas dalam hitungan detik

Arah lintasan	Durasi data primer		Durasi data baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Barat ke selatan (arus v_6)	174	153	163.5	163.5
Barat ke timur (arus v_3 dan v_5)	214	113	163.5	163.5
Utara ke selatan (arus v_4)	154	173	163.5	163.5
Timur ke selatan (arus v_7)	214	113	163.5	163.5
Utara ke selatan (arus v_2)	293	34	163.5	163.5
Utara ke timur (arus v_1)	293	34	163.5	163.5
Total	1342	620	981	981

Total durasi lampu hijau data primer adalah 620 detik, sedangkan total durasi lampu hijau hasil metode pewarnaan simpul adalah 981 detik, sehingga tingkat efektivitasnya adalah $\frac{981-620}{620} \times 100\% = 58.226\%$. Total durasi lampu merah data primer adalah 1342 detik, sedangkan total durasi lampu merah hasil metode pewarnaan simpul adalah 981 detik, sehingga tingkat efektivitasnya adalah $\frac{981-1342}{1342} \times 100\% = -26.900\%$.

Berdasarkan perbandingan durasi baru dan durasi lama, dan tingkat efektivitas lampu lalu lintas dapat disimpulkan bahwa data hasil pewarnaan simpul lebih aman dan lebih objektif dibandingkan

data primer yang diperoleh langsung di lokasi tempat lalu lintas berada.

PENUTUP

SIMPULAN

Pewarnaan titik menggunakan algoritma Welsh-Powell dapat diterapkan untuk mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas pada daerah yang rawan terjadi kemacetan, seperti di simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh sebuah alternatif durasi lampu lalu lintas baru yang dapat digunakan saat kereta tidak melintas di simpang Jalan Jemursari yang akan dilampirkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Daftar alternatif durasi lampu lalu lintas baru saat kereta tidak melintas pada simpang Jalan Jemursari

Arah lintasan	Durasi warna lampu lalu lintas		Total
	Merah	Hijau	
Barat ke selatan (arus v_6)	58.67	117.33	176
Barat ke timur (arus v_5)	58.67	117.33	176
Utara ke timur (arus v_3)	117.33	58.67	176
Utara ke selatan (arus v_4)	117.33	58.67	176
Timur ke selatan (arus v_7)	58.67	117.33	176
Utara ke selatan (arus v_2)	117.33	58.67	176
Utara ke timur (arus v_1)	117.33	58.67	176
Total	645.33	586.67	1232

Selain itu juga diperoleh sebuah alternatif durasi lampu lalu lintas baru yang dapat digunakan saat kereta melintas di simpang Jalan Jemursari yang akan dilampirkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Daftar alternatif durasi lampu lalu lintas baru saat kereta melintas pada simpang Jalan Jemursari

Arah lintasan	Durasi warna lampu lalu lintas		Total
	Merah	Hijau	
Barat ke selatan	163.5	163.5	327

(arus v_6)			
Barat ke timur (arus v_3 dan v_5)	163.5	163.5	327
Utara ke selatan (arus v_4)	163.5	163.5	327
Timur ke selatan (arus v_7)	163.5	163.5	327
Utara ke selatan (arus v_2)	163.5	163.5	327
Utara ke timur (arus v_1)	163.5	163.5	327
Total	981	981	1962

SARAN

Kelemahan pada penelitian ini adalah penulis tidak mempertimbangkan kepadatan antar arus yang berada di simpang Jalan Jemursari, sehingga durasi waktu baru belum tentu sepenuhnya lebih aman daripada durasi waktu lama. Besar harapan penulis kepada peneliti selanjutnya untuk dapat mempertimbangkan kepadatan antar arus yang berada di simpang jalan ketika mengerjakan penelitian yang serupa dengan apa yang telah dikerjakan oleh penulis artikel ini.

Penulis juga berharap bahwa penelitian dengan menggunakan algoritma Welsh-Powell seperti ini, dapat membantu untuk mengatasi kemacetan yang terjadi di kota lain. Selain itu, penulis juga berharap bahwa peneliti lain dapat mengembangkan program komputer agar memudahkan dalam memecahkan permasalahan terkait pewarnaan simpul pada lampu lalu lintas di daerah lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Budayasa, I. K. (2007). *Teori Graph dan Aplikasinya*. Surabaya: UNESA University Press.
- Diana, E. L., Suryaningtyas, W., & Suprpti, E. (2016). Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Persimpangan Jalan Ahmad Yani Giant dengan Aplikasi Pewarnaan Teori Graf. *MUST: Journal of Mathematics Education, Science and Technology*, 1(1), 69-85.
- Mayasari, R. (2009). *Analisis Efektivitas Lampu Lalu Lintas di Kota Surakarta*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Melliana, C. H., & Maryono, D. (2014). Aplikasi Pewarnaan Graf untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light di Sukoharjo. *Jurnal*

Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan, 7(1), 25-34.

- Putri, B. A. (2017). *Aplikasi Pewarnaan Titik Sejati pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Setiawan, D. A., Suyitno, A., & Arifudin, R. (2016). Penerapan Graf pada Persimpangan Menggunakan Algoritma Welsh-Powell untuk Optimalisasi Pengaturan *Traffic Light*. *Unnes Journal of Mathematics*, 5(2), 144-152.
- Soimah, A. M., & Mussafi, N. S. M. (2013). Pewarnaan Simpul dengan Algoritma Welsh-Powell pada Traffic Light di Yogyakarta, *Fourier*, 2(2), 87-96.
- Utami, W. D., DS, A. N., & Intan, P. K. (2020). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas pada Simpang Lima Krian-Sidoarjo Menggunakan Algoritma Welch-Powell. *MathVision: Jurnal Matematika*, 2(1), 1-6.