
Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch-Powell Untuk Keefektifan Lampu Lalu Lintas di Kota Medan

Lesman Hendry Manullang¹, Faridawaty Marpaung²

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNIMED

E-mail: lemanhendry@gmail.com

Article History:

Received: 10 Juli 2024

Revised: 26 Juli 2024

Accepted: 29 Juli 2024

Keywords: Pewarnaan Graf,
Algoritma Welch-Powell,
Lalu Lintas.

Abstract: Lampu lalu lintas merupakan alat yang digunakan untuk mengatur kelancaraan lalu lintas di persimpangan jalan. Namun kadang kala masih banyak kemacetan yang terjadi di banyak persimpangan jalan dimana lampu lalu lintas sudah digunakan untuk mengatasinya. Ada salah satu cara yang dapat membantu pengaturan lalu lintas ini yaitu menggunakan teori graf. Terdapat banyak aplikasi yang berkaitan pada teori graf, salah satunya yaitu pewarnaan graf. Algoritma Welch-Powell merupakan salah satu algoritma pada pewarnaan graf yang banyak digunakan untuk pengaturan lampu lalu lintas. Semakin efektif durasi lampu lalu lintas maka konsentrasi/kepadatan kendaraan semakin rendah. Berdasarkan perhitungan tingkat keefektifitasan durasi total pengaturan lalu lintas data sekunder dengan data baru pada persimpangan Bilal-Krakatu bahwa pada interval waktu 07.00-08.30 menghasilkan tingkat efektivitas pada durasi lampu hijau bertambah 19, 59% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 7, 19%. Untuk interval waktu 12.00-13.30 menghasilkan tingkat efektivitas durasi lampu hijau bertambah sebesar 0, 15% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 0, 29%. Untuk interval waktu 17.00-18.30 tingkat keefektifitasan durasi lampu hijau bertambah 1, 60% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 0, 79%. Adapun tingkat keefektifitasan total pengaturan lalu lintas pada data sekunder dengan data baru pada persimpangan Bilal-Yos Sudarso pada interval waktu 07.00-08.30, tingkat efektivitas durasi lampu hijau bertambah sebesar 32, 01% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 10, 48%. Untuk interval waktu 12.00-13.30 menghasilkan tingkat efektivitas durasi lampu hijau bertambah sebesar 12, 76% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 5, 11%. Untuk interval waktu 17.00-18.30 tingkat efektivitas durasi lampu hijau

bertambah sebesar 11, 09% dan durasi lampu merah berkurang sebesar 4, 56%.

PENDAHULUAN

Kepadatan penduduk merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kemacetan suatu kota .Salah satu contoh kota yang banyak Penduduknya adalah kota Medan. kota medan merupakan kota ketiga terbesar di Indonesia setelah Jakarta dan Surabaya. Berdasarkan Badan Pusat Statistika kota Medan, Jumlah Penduduk kota Medan pada tahun 2019 berjumlah 2.279.894 jiwa . Dari banyak jumlah Penduduk kota Medan , mengakibatkan kota Medan dengan tingkat kemacetan yang tinggi, terutama disetiap persimpangan jalan. Maka diperlukannya lampu lalu lintas atau traffic light disetiap persimpangan jalan.

Menurut (Marpaung 2018) Suatu kemacetan dapat ditimbulkan karena adanya konflik pergerakan yang ada dipersimpangan, dan untuk mengatasi konflik ini banyak dilakukan pengaturan untuk mengoptimalkan dipersimpangan dengan menggunakan lampu lalu lintas (traffic light). Namun dibeberapa persimpangan masih ada penggunaan lampu lalu lintas yang kurang optimal, dimana masih terjadinya kemacetan yang mana mengakibatkan antrian yang panjang di persimpangan jalan. Oleh karena itu perlu dilakukan cara untuk mengoptimalkan agar dari durasi lampu lalu lintas lebih optimal.

Dalam teori graf , pewarnaan graf merupakan suatu bentuk pelabelan graf, yaitu dengan memberikan warna pada elemen graf yang akan dijadikan subjek dalam memahami constraint permasalahan. Ada tiga macam pewarnaan graf (graph coloring), yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi, dan Pewarnaan wilayah (region). Salah satu algoritma pada pewarnaan graf yang digunakan yaitu algoritma Welch-Powell.

Pewarnaan simpul atau pewarnaan titik adalah suatu pewarnaan graf yang melakukan pemberian warna-warna untuk titik dari graf G sedemikian rupa sehingga titik yang bersebelahan memiliki warna yang berbeda. Jumlah warna yang dibutuhkan untuk mewarnai G disebut angka khromatik dari G dan dinotasikan oleh χG (Annisa dan Anna 2019).

Algoritma Welch-Powell merupakan salah satu algoritma pada pewarnaan graf yang banyak digunakan untuk pengaturan lampu lalu lintas (Mahfuza dan Mulyono 2020).

Algoritma Welch-Powell merupakan pewarnaan titik suatu graf berdasarkan derajat tertinggi ke derajat terendah dari semua titiknya. Algoritma Welch-Powell termasuk dalam algoritma greedy. Algoritma greedy selain algoritma Welch-Powell adalah algoritma Kruskals dan algoritma prims (Rusdiana dan Maulani 2019).

Pada penelitian sebelumnya dikatakan bahwa algoritma Welch-Powell efektif digunakan untuk pengaturan lampu lalu lintas, maka penelitian ini juga akan dilakukan pengolahan dengan menggunakan algoritma Welch-Powell yang digunakan dengan tujuan untuk keefektifan pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan Bilal-krakatau, dan di persimpangan Bilal-Yos Sudarso. Data lampu lalu lintas akan diambil dari Dinas Perhubungan kota Medan. Dalam membantu penerapan hasil durasi lampu lalu lintas yang didapatkan dengan pengoptimalan menggunakan algoritma Welch-Powell akan digunakan simulasi yang menggunakan aplikasi Microsost Visual Basic.

LANDASAN TEORI

Efektivitas Lampu Lalu Lintas

Kata Efektif dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia mempunyai beberapa arti, arti pertama adalah adanya suatu efek, akibat, pengaruh dan kesan . Arti kedua yaitu manjur atau mujarab dan arti ketiga dapat membawa hasil atau berguna. Jadi efektivitas ialah berpengaruh atau keberhasilan setelah melakukan sesuatu.

Jadi keefektifan algoritma Welch-Powell dalam pengaturan lampu lalu lintas adalah keberhasilan yang diperoleh sesuai rencana dengan menggunakan algoritma Welch-Powell dalam pengaturan 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 lampu merah baru yang didapat pada penyelesaian pewarnaan titik menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Rasio dapat dinyatakan dalam bentuk persentase, desimal, atau pecahan. Rumus tingkat efektivitas pada durasi lampu lalu lintas adalah

$$\frac{X - Y}{Y} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dengan X adalah total durasi lampu lalu lintas setelah pewarnaan atau total durasi lampu lalu lintas baru, dan Y adalah total durasi lampu lalu lintas lama (Abdullah dan Rahadjeng 2022).

Lampu lalu lintas

“lampu lalu lintas digunakan untuk mengatur kelancaran lalu lintas diper- simpangan suatu jalan. Pengaturan lalu lintas ini dapat diatasi dengan menggu- nakan teori graf” (Mahfuza dan Mulyono 2020). 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 dipersimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kakistatis (Zebra Cross) , dan tempat arus lalu lintas lainnya .

Teori Graf

Suatu graf terdiri dari suatu himpunan tak kosong yang masing-masing unsurnya disebut titik (*Vertex*), dan suatu himpunan pasangan tak berurutan dari titik-titik tersebut yang disebut sisi (*edge*)” (Rahayuningsih 2018).” Graf tak berarah

G diberikan oleh pasangan terurut $G = (V, E)$, dimana V adalah himpunan simpul, $|V| = n$, dan $E \subset V \times V$, satu set sisi, $|E| = m$. Dua simpul $u, v \in V$ disebut bertetangga jika dihubungkan oleh sisi : $\{u, v\} \in E$. Sebuah sisi dan sebuah titik pada kejadian sisi ini . Derajat derajat (v) dari simpul v diukur sebagai jumlah insiden sisi ke simpul v : $\text{derajat}(v) = |\{e \in E \mid v \in e\}|$ ”.

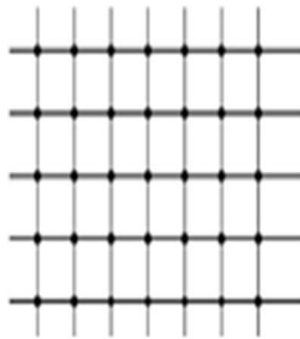
Cara umum yang digunakan untuk merepresentasikan sebuah graf adalah dengan diagram/gambar. Dalam diagram tersebut, titik-titik pada graf dinyatakan sebagai noktah sedangkan sisi dinyatakan sebagai ruas garis yang menghubungkan dua titik . Disini G

melambangkan suatu graf. Himpunan titik di graf G dinyatakan dengan $V(G)$ dan himpunan sisi digraf G dinyatakan dengan $E(G)$. Jika banyak titik dan banyak sisi di G terhingga, maka G disebut graf terhingga.

Dua sisi atau lebih yang menghubungkan satu pasang titik disebut sisi rangkap (*multiple edges*). Suatu sisi yang titik ujungnya sama disebut loop. Graf tanpa sisi rangkap dan tanpa loop disebut graf sederhana (*simple graph*). Pada graf terdapat istilah yang sering dijumpai, yaitu ketetanggaan (*adjacency*) dan bersisian (*incident*). Dua buah titik pada graf tak berarah G dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung dengan sebuah sisi. Dengan kata lain v_i bertetanggaan dengan v_k jika (v_i, v_k) adalah sebuah sisi pada graf G .

Istilah-istilah dalam graf

Menurut (Rahayuningsih 2018), dalam bukunya dengan judul Teori Graph dan Penerapannya, ada beberapa istilah dalam graf yaitu :



Gambar 1. Graf tak berhingga

a. Perjalanan (*walk*)

Perjalanan atau walk pada suatu Graf G adalah barisan titik dan ruas bergantian $v_0e_1v_1e_2v_2 \cdots v_{n-1}e_nv_n$, ruas e_i menghubungkan v_i dan v_{i+1} dapat ditulis barisan luas atau barisan simpul awal dan v_n disebut titik akhir. Perjalanan disebut perjalanan tertutup bila $v_1 = v_n$, sedangkan Perjalanan disebut Perjalanan terbuka yang menghubungkan v_1 dan v_n . Panjang perjalanan adalah banyak ruas dalam barisan tersebut.

b. Jejak (*Trail*)

Jejak pada suatu graf adalah perjalanan yang mempunyai sisi-sisi yang berbeda.

c. Lintasan (*Path*)

Lintasan pada suatu graf adalah jejak yang memiliki semua titik berbeda.

d. Sirkuit (*Cycle*)

Sirkuit adalah suatu lintasan yang berawal dan berakhir pada titik yang sama disebut sirkuit atau siklus. Panjang sirkuit adalah jumlah ruas dalam sirkuit tersebut. Graf yang tidak mengandung sirkuit disebut *acyclic*.

Sebuah graf adalah terhubung jika setiap dua buah titik di G dihubungkan oleh lintasan di G . Jika G adalah graf terhubung, maka dikatakan bahwa komponen dari G adalah 1, dinotasikan $\omega_G = 1$. Definisikan graf tidak terhubung, graf G disebut terhubung jika untuk setiap dua simpul yang berbeda terdapat lintasan yang menghubungkan simpul-simpul tersebut.

Konsep Pewarnaan Graf

Pewarnaan graf adalah kasus khusus dari pelabelan graf. Pelabelan disini maksudnya, yaitu memberikan warna pada titik-titik pada batas tertentu. Misalkan G merupakan suatu graf dan k adalah bilangan bulat positif. Semua pewarnaan $-k$ untuk graf G adalah cara mewarnai setiap simpul yang bertetangga memiliki

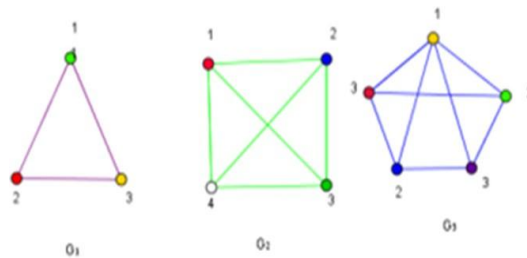
warna yang berbeda (Rusdiana dan Maulani 2019). Ada tiga macam pewarnaan graf yaitu antara lain :

a. Pewarnaan titik (*Vertex Coloring*)

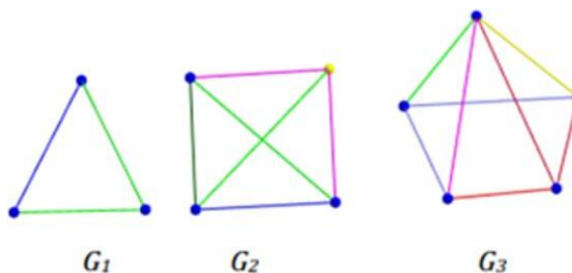
Misalkan G adalah graf tanpa loop. Suatu pewarnaan $-k$ untuk graf G adalah suatu penggunaan atau sebagian warna untuk mewarnai semua titik di G sehingga setiap titik yang bertetangga memiliki warna yang berbeda. Jika G mempunyai pewarnaan $-k$, maka G dikatakan dapat diwarnai dengan k warna.

b. Pewarnaan sisi

Misalkan G graf tanpa arah. Suatu pewarnaan sisi $-k$ untuk graf G adalah suatu penggunaan sebagian atau semua warna k untuk mewarnai semua sisi di G sehingga setiap pasangan sisi yang mempunyai titik persekutuan yang sama diberikan warna yang berbeda. Jika G mempunyai pewarnaan sisi $-k$, maka dikatakan sisi-sisi di G diwarnai dengan k warna.



Gambar 2. Graf dengan pewarnaan titik



Gambar 3. Graf dengan pewarnaan sisi

c. Pewarnaan peta atau wilayah

Pewarnaan peta atau wilayah sama dengan pewarnaan titik-titik pada graf yaitu hasil pemodelan dari gambar peta tersebut sedemikian sehingga tidak ada dua titik bertetanggan yang mendapat warna yang sama

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, dimana penelitian kuantitatif merupakan teknik penelitian ilmiah yang menggunakan metode statistik, yakni dengan mengumpulkan, menyusun, meringkas, dan mempresentasikan data hasil penelitian dalam bentuk angka atau statistik. Penelitian ini melakukan pengukuran data, dimana data diambil merupakan data Lampu Lalu Lintas yang diambil dari dinas perhubungan kota Medan.

Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun Tempat dan Waktu Penelitian, yaitu :

- i. Tempat Penelitian Penelitian akan dilakukan di persimpangan tiga Bilal-Yos Sudarso dan di persimpangan empat Bilal-Krakatau
- ii. Waktu Penelitian Penelitian akan dilakukan dalam satu bulan dimana hanya dua kali dalam seminggu yaitu pada hari Senin dengan asumsi volume kendaraan tinggi dan hari Minggu dengan asumsi kendaraan rendah.

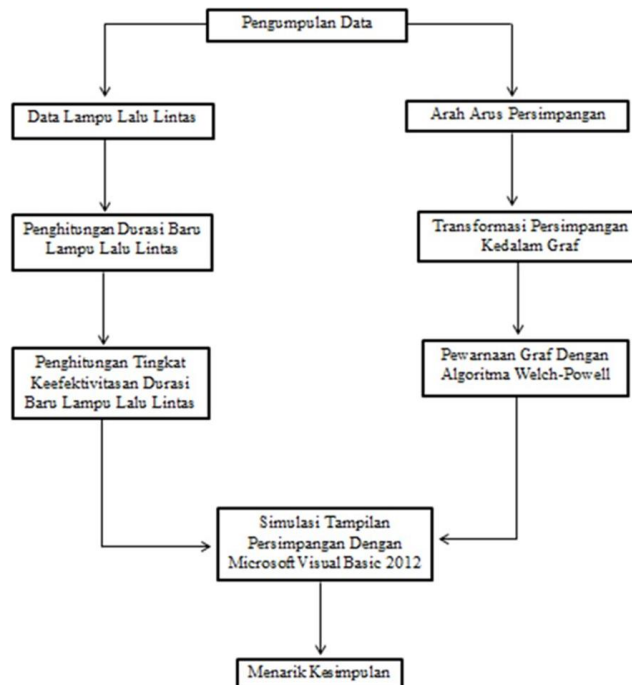
Teknik Pengambilan Data

Pada penelitian ini dilakukan teknik penelitian Observasi dimana Peneliti akan datang secara langsung ke Dinas perhubungan kota Medan untuk meminta data dari durasi lampu merah, lampu kuning dan lampu hijau yang ada persimpangan Bilal-Yos Sudarso dan persimpangan Bilal-Krakatau

Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu antara lain :

- iii. Mengumpulkan data Lampu Lalu Lintas dari dinas perhubungan kota Medan yaitu data durasi lampu merah, lampu kuning, dan lampu hijau dari persimpangan Bilal-Yos Sudarso dan persimpangan Bilal-Krakatau .
- iv. Mengumpulkan data primer dari jumlah volume kendaraan yang mengantri di lampu merah dari persimpangan Bilal-Yos Sudarso dan persimpangan Bilal-Krakatau .
- v. Mentransformasikan persimpangan jalan serta arus dalam bentuk graf .
- vi. Mewarnai graf dengan menggunakan algoritma Welch Powell .
- vii. Menghitung durasi Baru dari lampu lalu lintas .
- viii. Menghitung tingkat keefektivitasan dari durasi total lampu lalu lintas data sekunder dengan data baru .
- ix. Membuat simulasi tampilan lampu lalu lintas .
- x. Membuat kesimpulan .



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data pada penelitian merupakan data sekunder yang diambil pada Dinas Perhubungan Kota Medan, adapun data tersebut yaitu durasi lampu lalu lintas yang ada dipersimpangan empat Bilal-Krakatau dan persimpangan tiga Bilal-Yos Sudarso. Setelah data didapat maka akan dilakukan langkah selanjutnya yaitu, mentransformasikan bentuk persimpangan kedalam graf, melakukan pewarnaan graf, menghitung durasi baru lampu lalu lintas, menghitung tingkat keefektifan data lampu lintas yang baru, menghitung tingkat konsentrasi kendaraan, dan membuat simulasi.

Data Lampu Lalu Lintas

Ada tiga fase durasi lampu lalu lintas yaitu, pada pagi hari, siang hari, dan sore hari. Berikut ketiga fase durasi lampu lalu lintas pada kedua persimpangan :

1. Bilal-Krakatau Pagi Hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	96	2	28
Jl.Bilal Ujung	75	2	30
Jl.Krakatau	83	2	33
Jl. Krakatau Ujung	70	2	28

Gambar 4. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Krakatau Pagi Hari

2. Bilal-Krakatau Siang Hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	116	2	28
Jl.Bilal Ujung	123	2	28
Jl.Krakatau	115	2	58
Jl.Krakatau Ujung	111	2	111

Gambar 5. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Krakatau Siang Hari

3. Bilal-Krakatau Sore Hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	72	2	44
Jl.Bilal Ujung	106	2	45
Jl.Krakatau	87	2	46
Jl.Krakatau Ujung	116	2	52

Gambar 5. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Krakatau Sore hari

4. Bilal-Yos Sudarso Pagi hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	143	2	43
Jl.Yos Sudarso	144	2	42
Jl.Pulo Brayon	104	2	43

Gambar 6. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Yos Sudarso Pagi Hari

5. Bilal-Yos Sudarso Siang Hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	92	2	32
Jl.Yos Sudarso	87	2	37
Jl.Pulo Brayon	88	2	38

Gambar 7. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Yos Sudarso Siang Hari

6. Bilal-Yos Sudarso Sore Hari.

Nama Jalan	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jl.Bilal	103	2	38
Jl.Yos Sudarso	98	2	43
Jl.Pulo Brayon	98	2	42

Gambar 8. Data Lampu Lalu Lintas Bilal-Yos Sudarso Sore Hari

Durasi Baru Lampu Lalu Lintas Pada Pagi **Hari**.

Dari tabel gambar yang disajikan didapatkan durasi waktu total Jl.Bilal yaitu 126 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatinya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 40 detik dan lampu merahnya yaitu 84 detik; Jl.Bilal Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 107 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 33, 66 detik dan durasi lampu merahnya yaitu 71, 34 detik ; Jl.Krakatau memiliki durasi waktu total yaitu 118 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 37, 33 detik dan lampu merahnya yaitu 78, 67 detik ; Jl.Krakatau Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 100 detik. Setelah dibagi dengan

bilangan khromatinya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 31, 33 detik dan lampu merahnya yaitu 66, 67 detik. Dari tabel gambar yang disajikan didapatkan durasi waktu total Jl.Bilal yaitu 146 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatinya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 46, 66 detik dan lampu merahnya yaitu 97, 34 detik ; Jl.Bilal Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 153 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 49 detik dan durasi lampu merahnya yaitu 102 detik ; Jl.Krakatau memiliki durasi waktu total yaitu 175 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 56, 33 detik dan lampu merahnya yaitu 117, 67 detik ; Jl.Krakatau Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 224 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatinya yaitu 3, maka

Nama Jalan	Bilangan Khromatik : 3		
	Kuning		
Jl.Bilal Durasi Total : 146	Kuning		2
	Hijau	$(146/3)-2$	46,66
	Merah	$146-46,66-2$	97,34
Jl.Bilal Ujung Durasi Total : 153	Kuning		2
	Hijau	$(153/3)-2$	49
	Merah	$153-49-2$	102
Jl.krakatau Durasi Total : 175	Kuning		2
	Hijau	$(175/3)-2$	56,33
	Merah	$175-56,33-2$	117,67
Jl.krakatau Ujung Durasi Total : 224	Kuning		2
	Hijau	$(224/3)-2$	72,66
	Merah	$224-72,66-2$	149,34

Durasi Baru Lampu Lalu Lintas Pada Sore Hari.

Nama Jalan	Bilangan Khromatik : 3		
	Kuning		
Jl.Bilal Durasi Total : 118	Kuning		2
	Hijau	$(118/3)-2$	37,33
	Merah	$118-37,33-2$	78,67
Jl.Bilal Ujung Durasi Total : 153	Kuning		2
	Hijau	$(153/3)-2$	49
	Merah	$153-49-2$	102
Jl.krakatau Durasi Total 135	Kuning		2
	Hijau	$(135/3)-2$	43
	Merah	$135-43-2$	90
Jl.krakatau Ujung Durasi Total 170	Kuning		2
	Hijau	$(170/3)-2$	54,66
	Merah	$170-54,66-2$	113,34

Dari tabel gambar 4.15 didapatkan durasi waktu total Jl.Bilal yaitu 118 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatinya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya. yaitu 37, 33 detik dan lampu merahnya yaitu 78, 67 detik ; Jl.Bilal Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 153 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 49 detik dan durasi lampu merahnya yaitu 102 detik ; Jl.Krakatau memiliki durasi waktu total yaitu 135 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatiknya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 43 detik dan lampu merahnya yaitu 90 detik ; Jl.Krakatau Ujung memiliki durasi waktu total yaitu 170 detik. Setelah dibagi dengan bilangan khromatinya yaitu 3, maka diperoleh durasi lampu hijaunya yaitu 54, 66 detik dan lampu merahnya yaitu 113, 34 detik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan dari perhitungan tingkat keefektifan durasi total dari pengaturan lalu lintas data sekunder , maka algoritma *Welch-Powell* efektif digunakan untuk memperlancar laju kendaraan yang dapat disimulasikan dengan Microsoft Visual Basic.
2. Adapun untuk hasil perhitungan durasi total pengaturan lalu lintas data sekunder dengan data baru yaitu untuk persimpangan Bilal-Krakatau pada interval 07.00-08.30 WIB menghasilkan tingkat efektivitas pada durasi lampu hijau bertambah 19, 59% dan durasi lampu merah berkurang 7, 19%. Untuk interval 12.00-13.30 WIB menghasilkan tingkat keefektifitasan pada durasi lampu hijau bertambah 0, 15% dan durasi lampu merah berkurang 0, 29%. Untuk interval 17.00-18.30 WIB tingkat efektivitas durasi lampu hijau bertambah 1, 60% dan durasi lampu merah berkurang 0, 79%. Adapun pada persimpangan Bilal-Yos Sudarso pada interval 07.00-08.30 WIB menghasilkan tingkat efektivitas pada durasi lampu hijau bertambah 32, 01% dan durasi lampu merah berkurang 10, 48%. Untuk interval 12.00-13.30 WIB menghasilkan tingkat efektivitas pada durasi lampu hijau bertambah 12, 76% dan durasi lampu merah berkurang 5, 11%. Untuk interval 17.00-18.30 WIB tingkat efektivitas durasi lampu hijau bertambah 11, 09% dan durasi lampu merah berkurang 4, 56%.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, M., dan Rahadjeng, B., (2022): Aplikasi Penerapan Titik Pada Graf Untuk Optimalisasi Durasi Lampu Lalu Lintas Di Simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya, *Ilmiah Matematika*, 10(02), 289–298.
- Annisa, R., dan Anna (2019): Pemanfaatan Graf Dalam Pengaturan Warna Lampu Lalu Lintas Menggunakan Algoritma Welch-Powell, *Teknika*, 13(1), 18–23.
- Buhaerah (2019), : Matematika Diskrit.
- Mahfuza, D. U., dan Mulyono (2020): Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch-Powell Untuk Keefektifan Pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas, *Karismatika*, 6(2).
- Marpaung, F., (2018): Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Welch-Powell Untuk Keefektifan Traffic Light Di Simpang Majestik, *Keluarga Sehat Sejahtera*, 16(32).
- Rahayuningsih, S., (2018): *TEORI GRAPH DAN PENERAPANNYA: SRI RAHAYUNINGSIH*, Sri Rahayuningsih, S. Pd. M. Pd.
- Rusdiana, Y., dan Maulani, A., (2019): Algoritma Welch-Powell Untuk Pewarnaan Graf Pada Penjadwalan Perkuliahan, *SPEJ*, 3(1), 37–47.
- Supiyandi dan Eka, M., (2018): Penerapan Teknik Pewarnaan Graf Pada Penjadwalan Ujian Dengan Algoritma Welch-Powell, *Ilmu Komputer dan Informatika*, 03(01), 58–63.
- Utami, W.Dianita, a. A. N. D., dan Intan, P. K., (2020): Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Pada Simpang Krian-Sidoarjo Menggunakan Algoritma Welch-Powell, 02(01), 1–6.