

Pewarnaan Graf Dengan Algoritma Welch-Powell Untuk Pengaturan Lampu Lalu Lintas Persimpangan Tugu Adipura Kota Tangerang

Rukmono Budi Utomo

Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Tangerang, Tangerang, Indonesia;
*rukmono.budi.u@mail.ugm.ac.id

Abstrak.

Latar belakang penelitian ini karena macetnya lalu lintas pada persimpangan tugu adipura Kota Tangerang. Kemacetan ini terjadi pada pagi saat orang berpergian ke kantor atau sekolah dan sore hari ketika kembali ke rumah masing-masing. Persimpangan tugu Adiputra Tangerang merupakan kawasan dengan empat simpang dengan tugu adipura. Simpang utara, selatan dan timur memiliki dua arah dan simpang barat hanya memiliki satu arah. Urgensi dari penelitian ini karena kemacetan dan agar lalu lintas di persimpangan ini dapat dipahami sehingga dapat dilakukan perencanaan untuk menghindari kemacetan. Tujuan penelitian untuk memberikan penjelasan matematis mengenai aturan lalu lintas di persimpangan ini dan diharapkan Dishub dapat memanfaatkannya untuk menguraikan kemacetan. Metode yang digunakan menggunakan kajian pewarnaan graf Welch-powell. Hasil Penelitian menjelaskan bahwa terdapat dua aturan dengan empat model pengaturan lalu lintas yang menjelaskan pengaturan lalu lintas di persimpangan ini.

Kata Kunci: Pewarnaan Graf, Lampu, Lalu Lintas Tangerang.

Abstract.

Background of this research is caused traffic jam at Adipura boulevard. The traffic light at monument adipura in Tangerang is a boulevard road with four ways, i.e. north road, south road, east road and west road. The urgent of this research is caused traffic jam it self and for knowing the management traffic vehicles so that Dishub can do a plan for solving the traffic jam. The aim of this research is to describe the management of traffic light at monument adipurabased on science and this result can be used for solving the traffic jam. We use theoretical of coloring graph namely Welch Powell method as our Research Method. The result tells us that we have two rules the case to management the traffic light at monument adipura Tangerang.

Keywords: Coloring Graph, Management, Traffic Light, Tangerang.

Pendahuluan

Persimpangan jalan di Tugu Adipura, Kota Tangerang merupakan salah satu dari sekian banyak kawasan padat lalu lintas di Kota Tangerang. Kawasan ini terletak di kawasan strategis yakni kawasan pusat bisnis (*Business District*) Tangerang City, Pusat Pendidikan, Imigrasi, Pusat Pemerintahan dan stadion Banteng Reborn. Persimpangan jalan Tugu Adipura Kota Tangerang memiliki empat buah simpang jalan sebutlah keempat simpang tersebut adalah simpang barat, simpang timur, simpang utara dan simpang selatan. Simpang barat memiliki satu jalur yang dapat mengarah ke simpang timur, utara dan selatan, namun ke tiga simpang tersebut tidak dapat langsung menuju ke simpang barat dikarenakan sistem satu arah (*One Way*). Di simpang barat ini terdapat kawasan kuliner pasar lama, stasiun Kota Tangerang dan Masjid Agung Kota Tangerang. Untuk menuju ke kawasan yang ada dibagian barat, kendaraan yang berasal dari simpang utara dan timur harus menuju ke simpang selatan, kemudian memutar dan mengambil arah barat.

Lebih lanjut simpang timur memiliki dua arah jalan (*Two Ways*). Arah jalan pertama merupakan jalan yang dapat menuju ke simpang utara dan selatan sedangkan arah jalan kedua merupakan jalan menuju Cipondoh dan berada di lokasi yang semakin ketimur. Simpang utara dan selatan juga memiliki dua arah jalan. Dari simpang utara dapat ditempuh jalan menuju simpang selatan dan timur, sedangkan dari arah selatan juga dapat ditempuh arah ke simpang utara dan timur. Pada simpang utara terdapat kantor imigrasi, pusat pemerintahan dan stadion Banteng Reborn, sedangkan pada simpang selatan terdapat pusat bisnis Tangerang City. Ilustrasi dari persimpangan Tugu Adipura di atas dapat dilihat dari gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Persimpangan Tugu Adipura, Kota Tangerang

Copyright © 2024

Buana Matematika :
Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika

p-ISSN : 2088-3021
e-ISSN : 2598-8077

Karena persimpangan tugu adipura ini sangat padat terutama pada saat pagi dan sore hari, maka pengaturan lampu lalu lintas perlu dilakukan. Pengaturan lampu lalu lintas menjadi penting agar lalu lintas dipersimpangan tersebut berjalan lancar dan menghindari kecelakaan kendaraan yang mungkin terjadi. Pengaturan lampu lalu lintas dalam paper ini merupakan aturan lampu lalu lintas pada keempat simpang saat salah satu atau beberapa simpang mengalami lampu hijau atau lampu merah. Dengan menentukan aturan yang tepat diharapkan keharmonisan aliran lalu lintas bisa tercipta.

Banyak sekali pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan pengaturan lampu lalu lintas. Pendekatan dapat menggunakan teori antrian, optimisasi atau analisis jaringan, namun pada umumnya penelitian yang banyak dilakukan menggunakan teori graf. Dalam teori graf, terdapat satu teori yang dapat digunakan dalam melakukan pengaturan lalu lintas, yakni pewarnaan graf. Pewarnaan graf ini bekerja dengan menganalogikan simpang jalan sebagai titik (*vertex*) dan lalu lintas dari satu simpang ke simpang yang lain sebagai sisi (*edge*). Pewarnaan graf dilakukan dengan mewarnai titik-titik dalam graf dengan warna sesedikit mungkin sedemikian sehingga titik-titik yang saling berhubungan (bertetangga) memiliki warna yang berbeda.

Penelitian tentang pengaturan lalu lintas sebenarnya telah banyak dilakukan, contohnya (Farhan - et al., 2017) dalam makalahnya menjelaskan pengaturan lalu lintas pada persimpangan jalan di bawah jalan layang pasopati. Dalam penelitian tersebut, persimpangan terdiri dari empat simpang dengan masing-masing dua lajur. Lebih lanjut terdapat penelitian (Matematika et al., n.d.) pewarnaan titik pada graf untuk optimalisasi lampu lalu lintas di persimpangan Jemursari Surabaya. Dalam penelitian tersebut peneliti yang bersangkutan melakukan penelitian pada persimpangan Jemursari dalam keadaan kereta tidak melintas dan kereta tidak melintas.

Penelitian lain tentang optimasi lampu lalu lintas dilakukan oleh (Lus Diana et al., 2016) dan (Anugra et al., 2014) dengan lokasi penelitian yang berbeda yakni masing-masing dilakukan di Jalan Ahmad Yani Giant dan Jalan Koridor Kramat Gantung Surabaya. Selanjutnya penelitian optimasi lampu lalu lintas secara umum juga banyak dilakukan hanya saja dengan lokasi yang berbeda dan umumnya menggunakan metode atau Algoritma Welch-Powell. Algoritma Welch-Powell merupakan cara untuk mewarnai titik-titik pada graf sedemikian sehingga titik-titiknya menjadi terwarnai dengan sesedikit mungkin warna dan titik yang saling bertetangga memiliki warna yang berbeda. Penelitian yang menggunakan teori pewarnaan Welch-Powell contohnya dilakukan oleh (Purnamasari et al., 2012), (Danang et al., 2016),

Copyright © 2024

Buana Matematika :

Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika

p-ISSN : 2088-3021

e-ISSN : 2598-8077

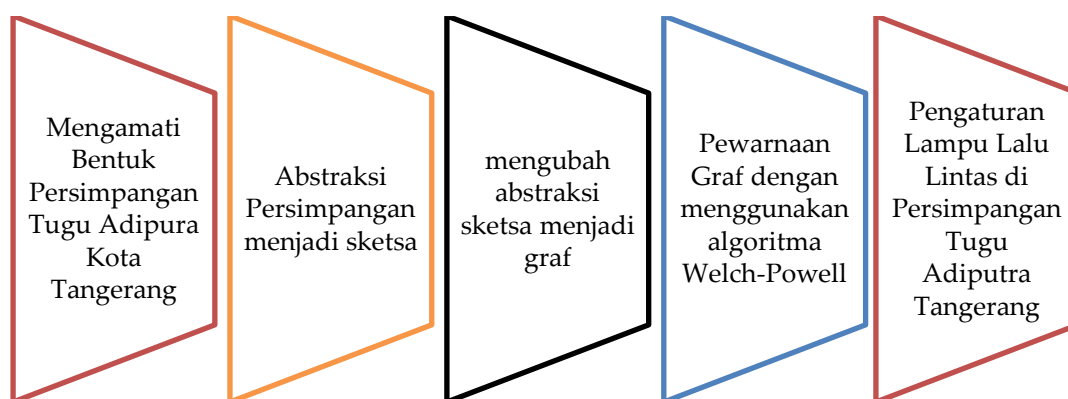
(Mahfuza et al., n.d.), (Soimah et al., 2013), (Salaga et al., 2018 dan (Utami et al., 2020).

Masing-masing dari mereka secara mandiri melakukan penelitian tentang pemanfaatan algoritma Welch-Powell untuk optimasi lampu lalu lintas. Perbedaan yang terlihat dari dari penelitian mereka antara lain: penelitian Purnamasari, dkk mengambil lokasi penelitian yakni di simpang kalimas, sementara peneltian Danang, dkk mengambil lokasi di simpang jerakah dan simpang STIKES Tlogosari di Kota Semarang. Lebih lanjut penelitian Mahfuza, dkk, Soimah dan Mussafi dan V Sagala dan F M Sari serta Utami dan Intan masing-masing mengambil lokasi penelitian di persimpangan Glugur, Persimpangan Kota Yogyakarta, Jalan Raya Gedanga dan Persimpaangan Kriyan-Siodarjo. Meski sama-sama menggunakan algoritma Welch-Powell dalam bahasannya, namun penelitian keduanya tetap berbeda dikarenakan lokasi yang diamati tidak sama.

Penggunaan Algoritma Welch-Powell sebenarnya tidaklah mutlah satu-satunya yang dapat digunakan untuk pewarnaan graf dalam kaitannya melakukan optimalisasi lampu-lalu lintas. Metode lain juga dapat digunakan seperti penelitian (Sembiring, 2017) melakukan pendekatan Fuzzy linier programing dalam mengantisipasi kemacetan di Kota Medan dan (Poernamasari et al., n.d.) menggunakan metode webster untuk optimasi di persimpangan jalan Babe Planar.

Metode

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan penelitian lapangan. Penelitian ini mengamati langsung bentuk persimpangan tugu adipura Kota Tangerang. Setelah diamati terlihat bahwa persimpangan tugu adipura Kota Tangerang ini memiliki empat simpang dengan rincian tiga simpang merupakan jalur dua arah dan satu simpang merupakan jalur satu arah. Setelah mendapatkan fakta lapangan, selanjutnya dilakukan penggambaran sketsa simpang tugu adipura untuk memudahkan dalam membawa masalah ini kedalam graf untuk selanjutnya dilakukan pewarnaan graf dengan menggunakan Algoritma Welch-powell untuk pengaturan lampu lalu lintas. Untuk lebih memudahkana dalam memahami metode yang digunakan dalam penilitian ini, selanjutnya dapat diperhatikan bagan berikut ini.



Gambar 2. Langkah-Langkah Metode Penelitian

Lebih lanjut, karena dalam penelitian ini menggunakan dasar-dasar teori graf maka dipandang perlu perlu dilakukan pendefinisian mengenai graf dan pewarnaan graf terutama dengan Algoritma Welch-Powell. Adapun teori mengenai kedua hal ini dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

Graf dan Pewarnaan Graf

Graf G merupakan pasangan terurut $G = (V(G), E(G))$ yang terdiri dari himpunan titik $V(G)$ dan himpunan sisi $E(G)$ yang saling lepas dari $V(G)$. Ingat bahwa $E(G) \subseteq [V(G)]^2, [V(G)]^2 = \{\{u, v\} | u, v \in V(G)\}$. Titik v dikatakan terkait dengan sisi e jika $v \in e$. Suatu sisi $\{u, v\}$ seringkali dinotasikan dengan uv atau vu . Sembarang dua titik u dan v pada graf G dikatakan bertetangga jika uv adalah suatu sisi pada graf. Derajat titik u adalah banyaknya titik yang bertetangga dengan titik u . Misalkan $G = (V(G), E(G))$ graf hingga dan terhubung tak trivial, maka didefinisikan suatu pewarnaan titik dari G yakni $\alpha : V(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}, n \in \mathbb{N}$, sedemikian sehingga untuk setiap dua titik yang bertetangga memiliki dua warna berbeda.

Adapun pewarnaan titik dapat menggunakan algoritma Welch-Powell dengan langkah-langkah sebagai berikut **Langkah pertama** yakni Urutkan simpul-simpul dari G dalam derajat yang menurun. **Langkah kedua** yakni gunakan satu warna untuk mewarnai simpul pertama yang memiliki derajat tertinggi dalam urutan yang berurutan yang tidak bertetangga dengan simpul yang pertama ini. **Langkah ketiga** yakni mulai kembali dengan simpul

Copyright © 2024

Buana Matematika :

Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika

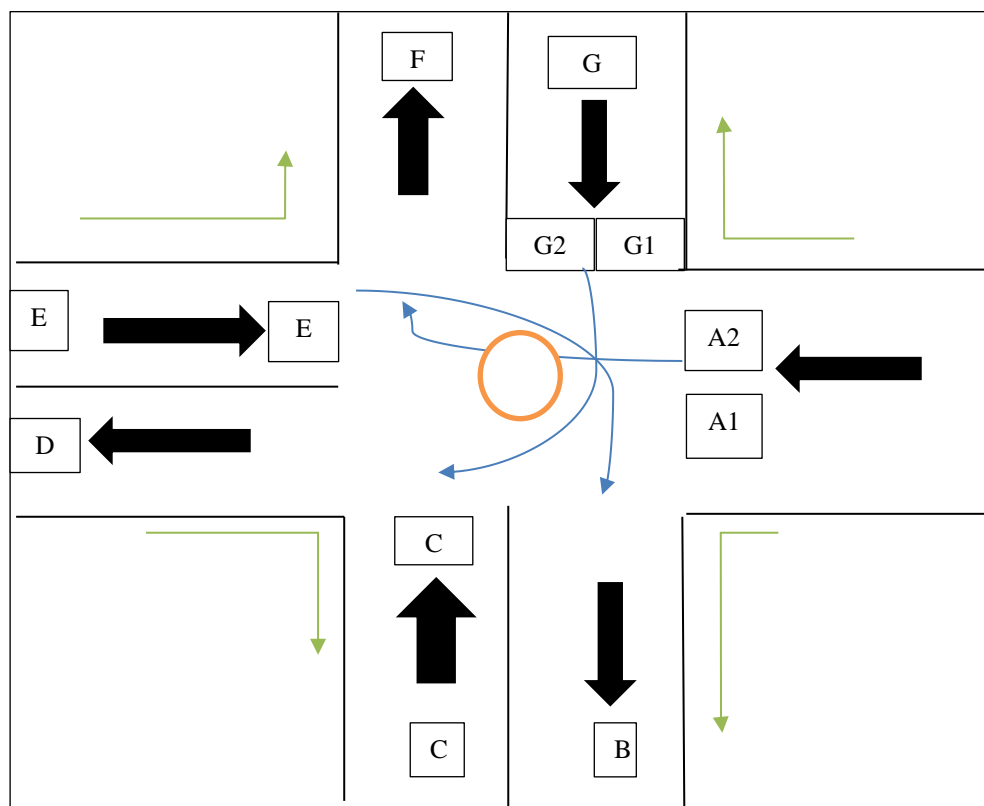
p-ISSN : 2088-3021

e-ISSN : 2598-8077

berderajat tinggi berikutnya dalam daftar terurut yang belum diwarnai dan ulangi proses pewarnaan simpul menggunakan warna yang kedua. Terakhir, ulangi penambahan warna-warna sampai semua simpul terwarnai.

Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 1 di atas, terlihat kondisi riil di lapangan persimpangan tugu Adipura Kota Tangerang. Persimpangan ini memiliki empat simpang dengan rincian tiga simpang memiliki jalur dua arah dan satu simpang hanya memiliki satu jalan. Lebih lanjut gambar 3 ini adalah ilustrasi dari persimpangan tugu Adipura Kota Tangerang.

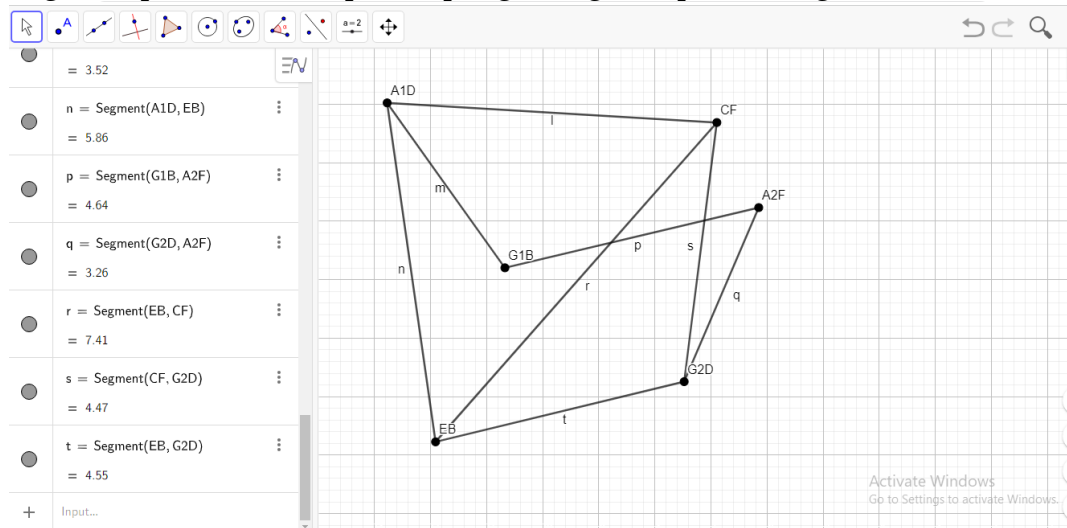


Gambar 3. Kondisi Jalan Persimpangan tugu adipura

Berdasarkan gambar 3 di atas sebutlah ketiga simpang yang memiliki dua jalur adalah simpang BC, simpang DE, dan simpang FG. Sementara itu simpang yang hanya memiliki satu jalur adalah simpang A. Pada pagi hari jalan pada simpang F dan E sangatlah sibuk karena menuju pusat pendidikan dan perkantoran. Sebaliknya pada sore hari jalan pada simpang B dan D. Berdasarkan abstraksi gambar 3 di atas dan fakta yang ditemukan maka langkah selanjutnya adalah mengubah abstraksi gambar 3 menjadi graf

Copyright © 2024

seperti yang ditampilkan pada gambar 4 dibawah ini. Perlu diperhatikan bahwa titik-titik dalam graf ini berwarna hitam bukanlah dimaksudkan sebagai titik-titik dengan warna hitam, namun dianggap sebagai kondisi awal dan belum terwanai. Dengan bantuan geogebra maka diperoleh gambar graf yang merepresentasikan persimpangan tugu adipura sebagai berikut.



Gambar 4. Representasi gambar 3 ke dalam graf

Berdasarkan gambar 4 di atas, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pewarnaan atas graf yang telah dihasilkan. Pewarnaan graf ini dapat menggunakan Algoritma Welch-Powell, adapun pewarnaan graf dengan algoritma ini dapat dibaca dalam bagian “Metode”. Berdasarkan gambar 4 diperoleh data sebagai berikut

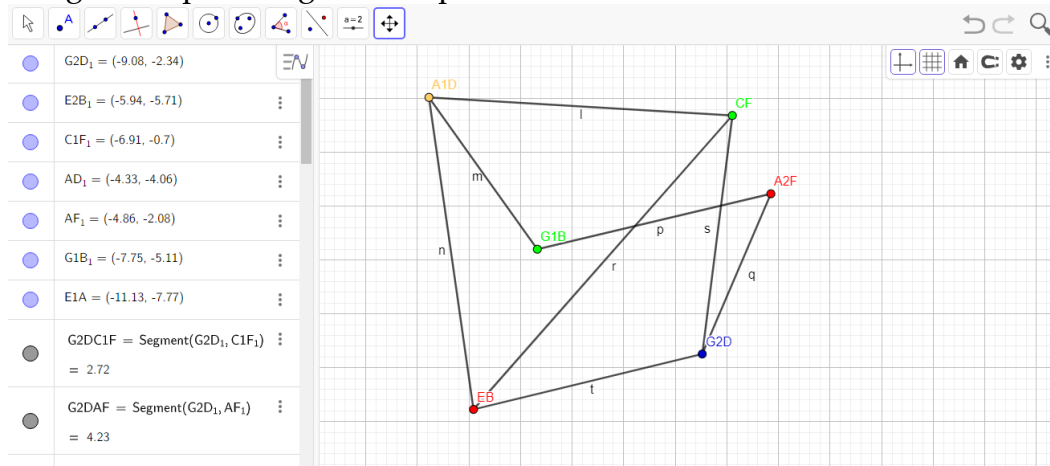
Tabel 1. Derajat titik pada Graf gambar 4

Titik (Vertex)	Derajat Titik (Vertex)
A1D	3
CF	3
EB	3
G2D	3
G1B	2
A2F	2

Dengan menggunakan Algoritma Welch-Powell untuk menyelesaikan masalah ini, diperoleh **Empat** model pewarnaan sebagai berikut

Pewarnaan Graf Lalu-Lintas Model 1.

Pewarnaan model 1 memberikan 4 Pewarnaan yakni Hijau untuk Titik CF dan G1B, Merah untuk titik A2F dan EB, sedangkan untuk titik A1D dan G2D meski tidak saling bertetangga, pada pewarnaan model 1 ini diasumsikan diberi warna berbeda dengan maksud bahwa ketika lampu A1D berwarna hijau, lampu G2D tetap berwarna merah untuk memfokuskan kendaraan dari lampu A1D berjalan. Untuk kondisi lampu A1D dan G2D sama-sama berwarna hijau dapat dibaca dalam pewarnaan model 2. Dengan bantuan Geogebra diperoleh gambar 5 pewarnaan model 1 di bawah ini.



Gambar 5. Pewarnaan Graf Lalu-Lintas Model 1

Berdasarkan gambar 5 di atas, terlihat bahwa diperlukan 4 warna untuk mewarnai graf yang merepresentasikan lalu-lintas di persimpangan tugu adipura Kota Tangerang. Dari gambar tersebut dapat diinterpretasikan bahwa ketika lampu di titik CF dan G1B berwarna hijau maka lampu yang lain berwarna merah. Selanjutnya lampu berwarna hijau adalah lampu di Titik A1D dan lampu di titik yang lain berwarna merah. Dalam hal ini diasumsikan titik G2D tetap berwarna merah ketika titik A1D berwarna hijau meskipun dimungkinkan lampu di titik G2D juga berwarna hijau. Kasus seperti ini dimasukkan dalam model lalu-lintas 2. Setelah itu lampu di titik A2F dan EB berwarna hijau dan semua lampu di titik yang lain berwarna merah. Terakhir lampu G2D berwarna hijau dan lampu lain berwarna merah. Untuk memudahkan pemahaman dari penjelasan di atas, dapat dilihat dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Model Lalu Lintas 1

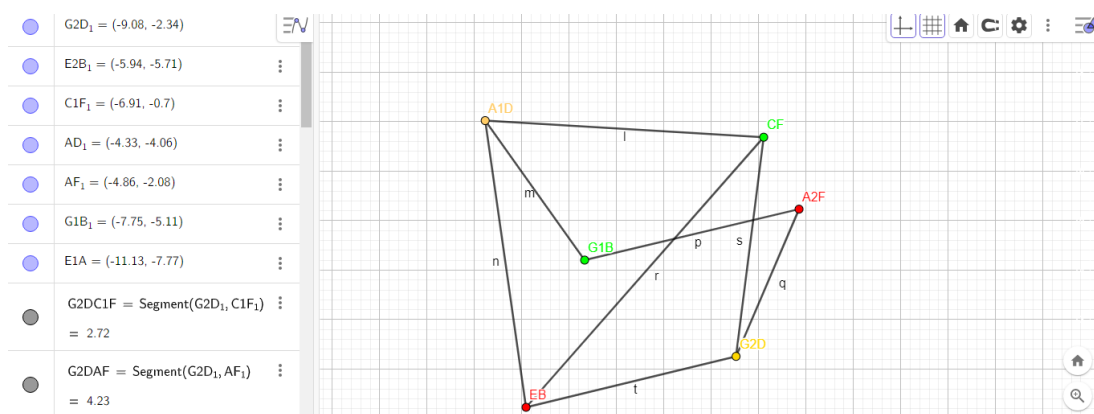
Lampu Hijau	CF, G1B
Lampu Merah	A1D,A2F,EB,G2D

Lampu Hijau	A1D
Lampu Merah	CF,G1B,A2F,EB,G2D

Lampu Hijau	A2F,EB
Lampu Merah	A1D,CF,G1B,G2D

Lampu Hijau	G2D
Lampu Merah	A1D,CF, G1B, A2F,EB

Selanjutnya pewarnaan model 2 lampu lalu lintas merupakan penyederhanaan dari model lalu lintas 1. Dalam hal ini hanya diperlukan 3 pewarnaan graf saja sehingga menghasilkan 3 aturan lampu lalu lintas. Penyederhanaan ini adalah ketika lampu pada persimpangan A1D berwarna hijau, maka lampu lalu lintas dipersimpangan G2D juga berwarna hijau, dan lampu dipersimpangan lain berwarna merah. Dengan menggunakan geogebra, pewarnaan graf lalu lintas model 2 ini dapat dilihat dalam gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Pewarnaan Graf Lalu-lintas model 2

Dalam gambar 6 di atas, terlihat hanya diperlukan 3 warna dalam mewarnai graf yang merepresentasikan lalu lintas pada persimpangan tugu adipura Kota Tangerang. Warna Hijau diberikan untuk titik CF dan G1B memberikan arti bahwa ketika lampu lalu lintas di kedua titik ini hijau, maka lampu lalu lintas di titik yang lain berwarna merah. Ketika lampu lalu lintas di titik A2F dan EB berwarna hijau, maka lampu lalu lintas di titik yang lain berwarna merah. Begitu juga untuk titik A1D dan G2D, ketika kedua lampu lalu lintas di titik

ini berwarna hijau, maka lampu lalu lintas di titik yang lain berwarna merah. Penjelasan di atas selanjutnya dapat dilihat dalam tabel 3 sebagai berikut.

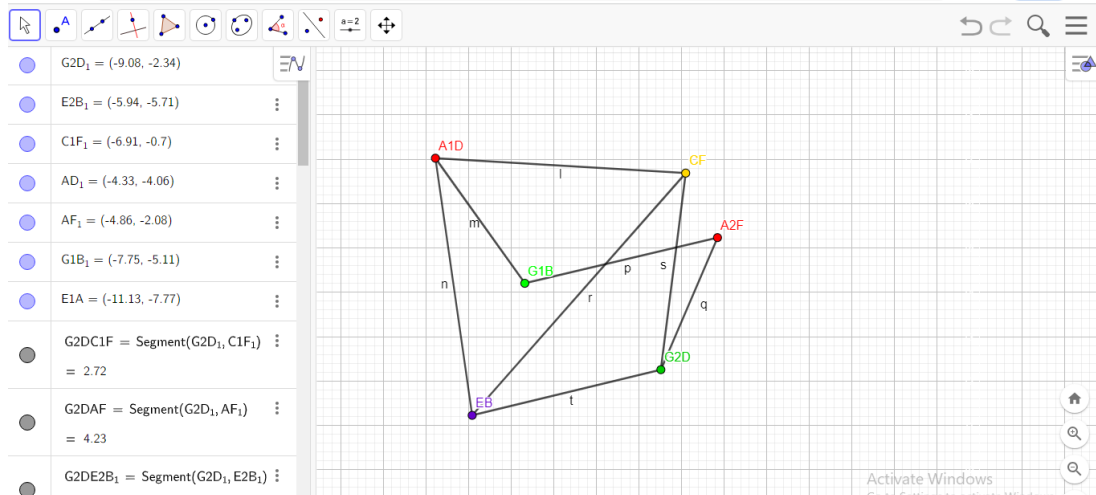
Tabel 3. Model lalu-lintas 2

Lampu Hijau	CF, G1B
Lampu Merah	A1D,A2F,EB,G2D

Lampu Hijau	A1D,G2D
Lampu Merah	CF,G1B,A2F,EB

Lampu Hijau	A2F,EB
Lampu Merah	A1D,CF,G1B,G2D

Pada pewarnaan graf lampu lalu lintas model 3 di bawah ini menggunakan 4 warna, meski dalam kenyataannya bisa digunakan hanya 3 warna saja. Hal ini dikarenakan dalam pengaturan model 3 diasumsikan bahwa ketika lampu pada titik EB berwarna hijau, lampu lalu lintas pada titik G1B tetap berwarna merah. Selanjutnya juga ketika lampu lalu lintas pada titik CF berwarna hijau, lampu lalu lintas pada titik A2F juga tetap berwarna merah. Adapun kasus ini masuk dalam model lalu lintas 4. Dengan menggunakan geogebra diperoleh gambar 7 pewarnaan graf yang merepresentasikan lalu lintas pada persimpangan tugu adipura Kota Tangerang sebagai berikut.



Gambar 7. Pewarnaan graf lalu-lintas model 7

Dalam gambar 7 di atas terlihat bahwa diperlukan 4 warna dalam mewarnai graf yang merepresentasikan lalu lintas di persimpangan tugu adipura Kota Tangerang. Ke 4 warna tersebut adalah hijau untuk titik G1B dan G2D, merah untuk titik A2F dan A1D serta EB dan CF masing-masing diberi warna ungu

dan kuning. Adapun cara memahami pewarnaan graf pada gambar 7 dapat disimpulkan dalam tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Model Lalu Lintas 3

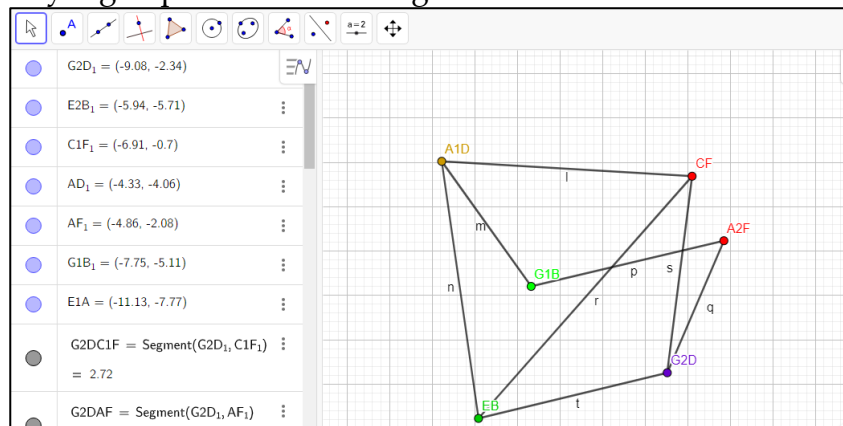
Lampu Hijau	G1B,G2D
Lampu Merah	EB,A2F,A1D,CF

Lampu Hijau	EB
Lampu Merah	G1B,G2D,A2F,A1D

Lampu Hijau	A2F,A1D
Lampu Merah	G1B,G2D,EB,CF

Lampu Hijau	CF
Lampu Merah	G1B, G2D,EB,A2F,A1D

Untuk model lalu lintas 4 di bawah ini agak unik karena terdapat irisan pengaturan lampu lalu lintas, irisan itu terletak pada aturan lampu hijau G1B-G2D dengan lampu hijau pada EB-G1B yang beririsan di titik G1B. Begitu juga dengan lampu hijau pada A2F –A1D dan lampu hijau pada CF-A2F akan beririsan pada lampu hijau A2F. Jadi pewarnaan grafnya akan bergerak atau *moved* atau dengan kata lain model 4 ini adalah kombinasi atau perkembangan model 3 yang juga menggunakan 4 warna. Berikut pewarnaan graf pada model ke 4 yang dapat dilihat dalam gambar 8.



Gambar 8. Pewarnaan graf lalu lintas model 8.

Gambar 8 di atas merupakan bentuk lain dari gambar 7. Bedanya pada gambar 8 lampu hijau G1B bersamaan dengan lampu hijau pada EB. Selanjutnya lampu hijau pada A2F bersamaan dengan lampu hijau pada CF. Hal ini berbeda dengan model lalu lintas 3 yakni lampu hijau G1B bersamaan dengan

lampu hijau G2D dan lampu hijau A2F bersamaan dengan lampu hijau A1D. Lebih lanjut penjelasan mengenai lalu lintas model 4 ini dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Model Lalu Lintas 4 (Kombinasi Model 3)

Lampu Hijau	G1B,G2D
Lampu Merah	EB,A2F,A1D,CF

(Gambar 7)

Lampu Hijau	EB, G1B
Lampu Merah	G2D,A2F,A1D

(Gambar 8)

Lampu Hijau	A2F,A1D
Lampu Merah	G1B,G2D,EB,CF

(Gambar 7)

Lampu Hijau	CF,A2F
Lampu Merah	G1B, G2D,EB,A1D

(Gambar 8)

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah model lalu lintas dalam persimpangan tugu adipura Kota Tangerang memiliki 4 kombinasi model lalu lintas. Model 1 dan 2 diambil dengan mengasumsikan ketika lampu berwarna hijau, kendaraan dalam satu ruas jalur kendaraan yang berjalan adalah kendaraan yang lurus atau berbelok (menyeberang) dan tidak dapat keduanya, sedangkan model 3 dan 4 mengasumsikan ketika lampu suatu ruas jalan berwarna hijau, kendaraan dapat berjalan lurus dan menyeberang. Model 1 dan 2 dapat dilihat dalam tabel 2 dan 3, sedangkan model 3 dan 4 masing-masing dapat dilihat dalam tabel 4 dan 5.

Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan paper ini yakni kendaraan dari arah E menuju F (EF) sebaiknya diberlakukan aturan lampu lalu lintas untuk menghindari kemacetan dari kendaraan yang mengarah dari A2 dan C. Lebih lanjut kendaraan dari arah A1 menuju B (A1B) juga diberlakukan aturan lampu lalu lintas untuk menghindari bentrokkan kendaraan dari E dan G1. Kendaraan dari arah C menuju D (CD) juga diberlakukan aturan lampu lalu lintas untuk menghindari kemacetan kendaraan dari G2 dan A1.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Tangerang terutama LPPM atas hibah pendanaan internal dan paper ini

Copyright © 2024

merupakan luaran dari hibah tersebut. Lebih lanjut kami turut berterimakasih kepada Dinas Perhubungan Kota Tangerang atas dikeluarkannya izin penelitian sehingga penelitian ini berjalan lancar.

Daftar Pustaka

- F.F. Anugra., Sardjito. (2014). Penanganan Kemacetan Lalu Lintas di Koridor Jalan Kramat Gantung Surabaya. *J. Tek ITS*. 3(1), 28-31.
- Farhan -, M., kunci -Graf, K., Lalu Lintas, L., & Graf, P. (2017). *Makalah IF2120 Matematika Diskrit-Sem. I Tahun. garuda759958*. (n.d.).
- Lus Diana, E., Suryaningtyas, W., Suprapti, E., Pendidikan, P., & Fkip Umsurabaya, M. (2016). PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DI PERSIMPANGAN JALAN AHMAD YANI GIANT DENGAN APLIKASI PEWARNAAN TEORI GRAF. In *MUST: Journal of Mathematics Education* (Vol. 1, Issue 1).
- Mahfuza, D. U., Matematika, M. P., Kunci:, K., Graf, P., Welch-Powell, A., & Lintas, L. (n.d.). *PENERAPAN PEWARNAAN GRAF MENGGUNAKAN ALGORITMA WELCH-POWELL UNTUK KEEFEKTIFAN PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS*.
- Mardiatus Soimah dan Noor Saif Muhammad Mussafi Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi, A., Sunan Kalijaga, U., Marsda Adisucipto No, J., Korespondensi, I., Mardiatus Soimah, A., & Kunci, K. (2013). *Pewarnaan Simpul Dengan Algoritma Welch-Powell Pada Traffic Light di Yogyakarta* (Vol. 2, Issue 2). www.fourier.or.id
- Matematika, J. I., Abdullah, M. D., & Rahadjeng, B. (n.d.). *MATHunesa*.
- Penelitian, B., Dianita Utami, W., Naufal, A. D., Keumala Intan, P., & Studi Matematika UIN Sunan Ampel Surabaya, P. (2020). *OPTIMASI WAKTU TUNGGU LAMPU LALU LINTAS PADA SIMPANG LIMA KRIAN-SIDOARJO MENGGUNAKAN ALGORITMA WELCH-POWELL*. 02(01), 1–6.
- Poernamasari, I., Tumilaar, R., EJC Montolalu, C., Kunci, K., & Lampu Lalu Lintas Graf Berarah Graf Berbobot Metode Webster, P. (n.d.). *Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar)*. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>

- Sembiring, Z. (2017). FUZZY LINIER PROGRAMMING UNTUK PEMILIHAN JENIS KENDARAAN DALAM MENGANTISIPASI KEMACETAN LALU LINTAS DI KOTA MEDAN. In *Jurnal Teknovasi* (Vol. 04).
- Setiawan, Danang et al. (2016). Penerapan Graf Pada Persimpangan Menggunakan Algoritma Welch- Powell Untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light. *UNNES Journal of Mathematics*. 5(2), 144-152.
- V., Salaga et al. (2018). Optimasi Pengaturan Lalu Lintas Raya Gedangan dengan Penerapan Algoritma Welch-Powell dan Bilangan Kromatik. *Limits: J Math. Its Appl.*, 15(1). <https://doi.org/10.12962/limits.v15i1.3370>

Riwayat Hidup Penulis .

Rukmono Budi Utomo

Lahir di Tangerang, 26 September 1991. Staf pengajar di Universitas Muhammadiyah Tangerang. Studi S1 Matematika FMIPA Universitas Diponegoro, Semarang, lulus tahun 2013; S2 Matematika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, lulus tahun 2015.

