

APLIKASI PEWARNAAN GRAF PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS

Muhammad Farhan – 13516093
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
muhammad.farhan354@gmail.com

Abstrak – Kemacetan merupakan sebuah masalah umum yang dihadapi oleh Indonesia, salah satu cara mengurai atau meminimalisir adalah dengan lampu lalu lintas. Lampu lalu lintas adalah suatu alat yang dipastikan ada pada persimpangan jalan besar disetiap kota. Alat yang menampakkan cahaya berwarna hijau, kuning, dan merah ini bertujuan untuk mengatur arus lalu lintas agar tidak terjadi kemacetan yang berujung pada suatu hal yang berbahaya bagi siapapun. Teori ini membantu dalam menentukan prioritas lama waktu lampu menyala.

Kata kunci – Graf, Lampu Lalu Lintas, Pewarnaan Graf, Welch-Powell

I. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas sudah terjadi bahkan sebelum adanya transportasi dengan mesin, jalanan dipadati oleh manusia dan kereta kuda pada masa itu. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada masalah transportasi mengakibatkan produksi kendaraan massal yang semakin meningkat. Peningkatan ini membuat kendaraan yang melintas di jalan semakin hari semakin meningkat juga dan berakibat pada meningkatnya angka kemacetan.

Masalah tersebut menimbulkan ide untuk memberikan tanda agar lalu lintas menjadi lebih teratur, diimplementasikannya metode semapur dengan memodifikasi menjadi sebuah tanda “Stop” dan “Go” merupakan sebuah awal dibuatnya alat bernama lampu lalu lintas. Pada malam hari, tanda yang digunakan relatif tidak terlihat, maka dimanfaatkannya lampu gas berwarna merah dan hijau sebagai penerang tanda [1].

Seiring berkembangnya zaman, lampu lalu lintas diotomatisasi dan mengalami penambahan warna kuning sebagai simbol “hati-hati.” Peruntukan lampu lalu lintas pun melebar fungsinya sebagai pengatur lalu lintas kendaraan pada jalan sekaligus pengatur para pejalan kaki dalam melakukan penyebrangan di jalan.

Dewasa ini, lampu lalu lintas dilengkapi lampu yang menunjukkan jumlah detik yang harus pengendara tunggu, tetapi terkadang waktu yang diberikan tidak cukup relevan dengan keadaan lalu lintas yang ada. Pengendara dibuat geram terhadap hal tersebut.

Secara umum graf adalah suatu diagram yang memuat informasi tertentu. Salah satu bagian dari teori graf adalah pewarnaan graf. Ada tiga macam

pewarnaan graf, yaitu pewarnaan titik, pewarnaan sisi, dan pewarnaan bidang.

Penyelesaian masalah lampu lalu lintas dapat ditinjau dalam prespektif graf, yaitu dengan merepresentasikan persimpangan dalam bentuk graf. Titik pada graf menunjukkan arah perjalanan yang diperbolehkan dari jalan X menuju Y, sedangkan sisi graf menunjukkan arah perjalanan yang tidak boleh dilakukan secara bersamaan.

Persimpangan merupakan jalinan jalan yang memiliki posisi penting dan kritis dalam mengatur lalu lintas (Rachmawati dan Novitasari, 2013:1). Suatu pengaturan dibutuhkan agar tidak terjadi penumpukan kendaraan pada persimpangan. Oleh karena itu, pengaturan sinyal yang optimal sangat diperlukan untuk mengatur arus lalu lintas agar tidak terjadi permasalahan pada persimpangan - persimpangan.

Pada makalah ini penulis akan membahas tentang penggunaan teori graf dalam pengaturan waktu efektif dalam siklus nyala lampu pada lampu lintas dengan memanfaatkan pewarnaan titik pada graf.

II. TEORI LALU LINTAS

[2] Parameter waktu sinyal merupakan besaran waktu yang berkaitan dengan pengaturan pergerakan yang meliputi :

- a. Waktu siklus
Waktu satu periode lampu lalu lintas, misalnya pada saat suatu arus diruas jalan A mulai hijau, hingga pada ruas jalan tersebut mulai hijau lagi.
- b. Fase
Suatu rangkaian dari kondisi yang diberlakukan untuk suatu arus atau beberapa arus, yang mendapatkan identifikasi lampu lalu lintas yang sama.
- c. Waktu Siklus Optimal
Waktu siklus yang memberikan nilai minimum untuk parameter kinerja yang dipilih seperti tundaan, panjang antrian, jumlah stop per detik.

- d. Waktu Hilang
Periode waktu yang secara efektif hilang (tidak dimanfaatkan oleh pergerakan lalu lintas).
- e. Arus Jenuh
Tingkat arus maksimum yang bergerak dari suatu antrian selama waktu hijau (smp/waktu). Nilai arus jenuh dapat dihitung dengan model yang merupakan fungsi dari lalu lintas seperti komposisi kendaraan, dll.
- f. Waktu Antar Hijau
Waktu antara berakhirnya hijau suatu fase dengan berawalnya hijau fase berikutnya.

III. TEORI GRAF

A. Pengenalan Teori Graf

Teori graf adalah cabang ilmu yang mempelajari sifat - sifat graf, yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1736. Baru pada sekitar tahun 1920 teori graf berkembang pesat terutama salah satunya adalah aplikasinya yang sangat luas dalam kehidupan sehari - hari maupun dalam berbagai bidang ilmu seperti: Ilmu Komputer, Teknik, Sains, bahkan Ilmu Sosial. (Ketut, 2007 : 1).



Gambar 3.1

Menurut catatan sejarah, masalah jembatan Königsberg adalah masalah yang pertama kali menggunakan graf pada tahun 1739 (Munir, 2005 : 354). 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 yang diperlihatkan oleh gambar 3.1. Permasalahannya ialah untuk menemukan perjalanan atau rute dari suatu kota melalui ketujuh buah jembatan, masing - masing tepat satu kali dilewati, kemudian kembali lagi ketempat awal.

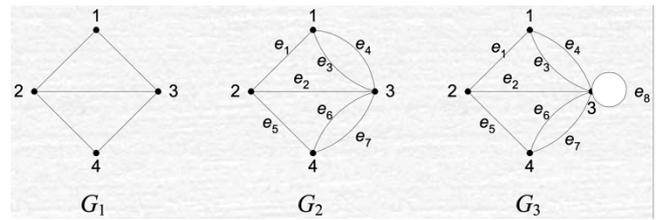
B. Definisi Graf

Graf adalah sebuah struktur yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan yang terjadi antara suatu objek diskrit yang satu dengan objek diskrit yang lain.

Graf dapat didefinisikan sebagai suatu pasangan himpunan dari himpunan tidak kosong dari simpul- simpul ($V/Vertex$) dan himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul ($E/Edge$), E boleh kosong. Jadi, sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi, tetapi memiliki jumlah titik minimal satu. Graf yang hanya memiliki satu buah titik tanpa sisi dinamakan graf trivial. Penulisan untuk graf G dapat disingkat dengan notasi

$$G = (V,E)$$

Berikut adalah beberapa contoh dari graf :



Gambar 3.2

Pada gambar 3.2,

G_1 :

$$V = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$E = \{(1, 2), (1, 3), (2, 3), (2, 4), (3, 4)\}$$

G_2 :

$$V = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$E = \{(1, 2), (1, 3), (1, 3), (2, 3), (2, 4), (3, 4), (3, 4)\}$$

G_3 :

$$V = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$E = \{(1, 2), (1, 3), (1, 3), (2, 3), (2, 4), (3, 3), (3, 4), (3, 4)\}$$

- Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf, maka graf digolongkan menjadi dua jenis:

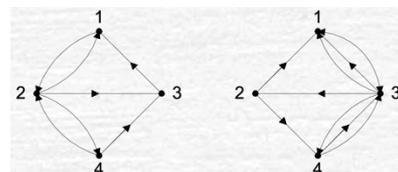
1. **Graf sederhana (simple graph).**

Graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi-ganda dinamakan graf sederhana. G_1 pada Gambar 3.2 adalah contoh graf sederhana

2. **Graf tak-sederhana (unsimple-graph).**

- Graf ganda (*multigraph*) adalah graf yang mengandung sisi ganda, tetapi tidak memiliki loop. Sisi ganda yang menghubungkan simpul dapat lebih dari dua buah. Contoh graf semu ialah G_2 pada gambar 3.2.

- Graf semu (*pseudograph*) adalah graf yang mengandung loop (termasuk bila memiliki sisi ganda sekalian). Graf semu lebih umum daripada graf ganda, karena sisi pada graf semu dapat terhubung ke dirinya sendiri. Contoh graf semu ialah G_3 pada gambar 3.2.



Gambar 3.3

- Berdasarkan orientasi arah pada sisi, maka secara umum graf dibedakan atas 2 jenis:

1. **Graf tak-berarah (undirected graph)**

Graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah disebut graf tak-berarah. Tiga buah graf pada Gambar 3.2 adalah graf tak-berarah.

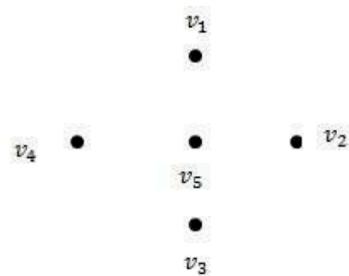
2. **Graf berarah (directed graph atau digraph)**

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah disebut sebagai graf berarah. Dua buah graf pada Gambar 3.3 adalah graf berarah.

Tabel jenis-jenis graf :

Jenis	Sisi	Sisi ganda dibolehkan?	Sisi gelang dibolehkan?
Graf sederhana	Tak-berarah	Tidak	Tidak
Graf ganda	Tak-berarah	Ya	Tidak
Graf semu	Tak-berarah	Ya	Ya
Graf berarah	Berarah	Tidak	Ya
Graf-ganda berarah	Berarah	Ya	Ya

Tabel 3.1



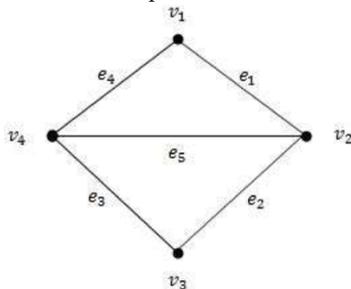
Gambar 3.6

C. Terminologi Graf

[4] Dalam pembahasan mengenai graf, banyak terminologi (istilah) khusus terkait graf yang sering digunakan. Terminologi yang berkaitan adalah sebagai berikut :

1. Bertetangga (*Adjacent*)

Dua buah simpul pada graf tak berarah dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung dengan sebuah sisi. Dengan kata lain, v_j bertetangga dengan v_k jika (v_j, v_k) adalah sebuah sisi pada graf. Contoh graf bertetangga dapat dilihat pada Gambar 3.4.



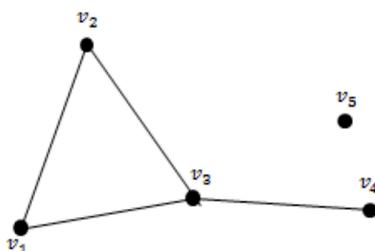
Gambar 3.4

2. Bersisian (*Incident*)

Untuk sembarang sisi $e = (v_j, v_k)$, sisi e dikatakan bersisian dengan simpul v_j dan simpul v_k . Contoh graf bersisian dapat dilihat pada Gambar 3.4.

3. Simpul Terpencil (*Isolated Vertex*)

Simpul yang tidak mempunyai sisi yang bersisian dengannya atau dapat juga dinyatakan bahwa simpul terpencil adalah simpul yang tidak satupun bertetangga dengan simpul-simpul lainnya. Contoh graf simpul terpencil yaitu simpul v_5 , contohnya dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5

4. Graf Kosong (*Null Graph*)

Graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong disebut graf kosong dan ditulis sebagai N_n dengan n adalah jumlah titik. Contoh graf kosong dapat dilihat pada Gambar 3.6.

5. Derajat (*Degree*)

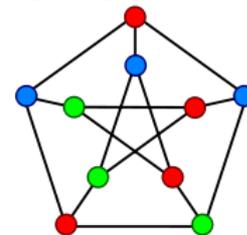
Derajat suatu simpul pada graf tak berarah adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut. Notasi untuk derajat simpul v_j adalah $d(v_j)$.

D. Pewarnaan Graf

Ada tiga macam pewarnaan pada graf, yaitu pewarnaan titik, dan pewarnaan sisi, dan pewarnaan bidang.

1. Pewarnaan Titik

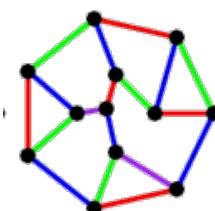
Pewarnaan titik adalah memberi warna pada titik - titik suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua titik terhubung langsung mempunyai warna yang sama.



Gambar 3.7

2. Pewarnaan Sisi

Suatu pewarnaan sisi - k untuk graf G adalah suatu penggunaan sebagian atau semua k warna untuk mewarnai semua sisi di G sehingga setiap pasang sisi yang mempunyai titik persekutuan diberi warna yang berbeda.



Gambar 3.8

3. Pewarnaan Bidang

Pewarnaan bidang adalah memberi warna pada bidang sehingga tidak ada bidang yang bertetangga mempunyai warna yang sama. Pewarnaan bidang hanya bisa dilakukan dengan n membuat graf tersebut menjadi graf planar terlebih dahulu. Graf planar adalah graf yang dapat digambarkan pada bidang datar dengan sisi - sisi yang tidak saling memotong (bersilangan).

IV. ALGORITMA WELCH-POWELL

A. Pengertian

[3]Algoritma Welch-Powell tidak selalu memberikan jumlah warna minimum yang diperlukan untuk mewarnai graf, tetapi algoritma ini cukup praktis untuk digunakan dalam pewarnaan simpul sebuah graf.

B. Langkah Pewarnaan Graf

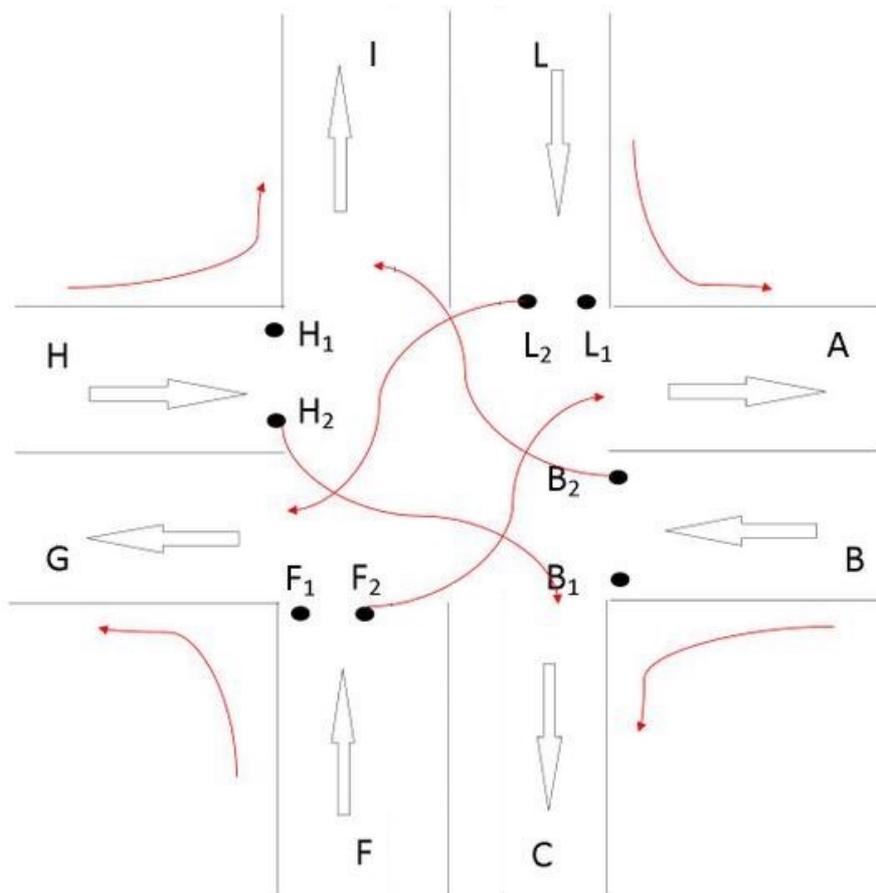
1. Urutkan sisi - sisi dari G dalam urutan jumlah sisi yang terhubung secara menurun. Urutan ini mungkin tidak unik karena beberapa sisi yang terhubung mungkin mempunyai jumlah yang sama.
2. Gunakan satu warna tertentu untuk mewarnai sisi pertama. Secara berurut, setiap sisi dalam tabel yang tidak terhubung langsung dengan sisi sebelumnya diwarnai dengan warna ini.
3. Ulangi langkah 2 di atas untuk sisi yang terhubung dengan urutan jumlah sisi terbesar yang belum diwarnai.
4. Ulangi langkah 3 di atas sampai semua sisi dalam tabel terwarnai.

Pada saat pagi hari dimana jam kerja dan berangkat sekolah, serta sore, jalur ini padat dengan kendaraan. Pengaturan lampu lalu lintas tergolong tidak efektif, dapat dikatakan demikian karena persimpangan ini tidak menerapkan sistem pengaturan lampu lalu lintas yang baik. Jika dilihat pengaturan nyala lampu dari arah barat dan arah timur dapat mengakibatkan kendaraan bertabrakan, dalam arti pada saat lampu hijau dari arah barat belum berganti menjadi lampu merah, tetapi dari arah timur nyala lampu sudah berganti menjadi hijau. Akibatnya kendaraan dari kedua arah tersebut saling berebut melintas dan tidak bisa dihindari terjadi persinggungan kendaraan yang sama-sama ingin berbelok ke kanan.

A. Anggapan Dasar

Dari gambar diatas bisa kita anggap bahwa jalur B, F, H, dan L masing masing mempunyai dua buah lampu lalu lintas, yaitu huruf yang diikuti oleh angka satu dan dua. Lampu lalu lintas yang pertama, yang dilambangkan oleh huruf yang diikuti angka satu, adalah untuk jalur mobil bergerak lurus, sedangkan lampu lalu lintas kedua, yang dilambangkan oleh huruf yang diikuti angka dua, untuk jalur mobil yang berbelok.

V. PENERAPAN LAMPU LALU LINTAS



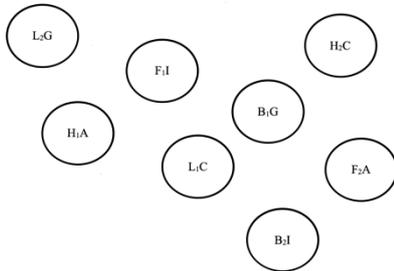
Gambar 5.1 Skema Lalu Lintas Dibawah Jalan Layang Pasopati

Persimpangan dibawah jalan layang pasopati merupakan salah satu jalur lalu lintas terpadat dan merupakan titik pertemuan kendaraan yang datang dari empat arah berbeda.

Algoritma *Welch-Powell* dapat diterapkan untuk menentukan pola lampu lalu lintas dengan jumlah fase minimal, dan pada setiap fase tidak ada perjalanan yang saling melintas yang dapat mengakibatkan kecelakaan lalu lintas. Perjalanan yang diperbolehkan digambarkan oleh tanda panah pada gambar 5.1.

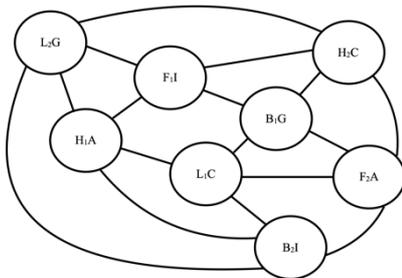
B. Langkah – Langkah Pewarnaan

a. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan simpul-simpul sebagai tanda dari semua jalur yang bila dilewati dalam perempatan jalan tersebut. Peletakan simpul-simpul tersebut bebas, karena tidak akan berpengaruh terhadap apapun.



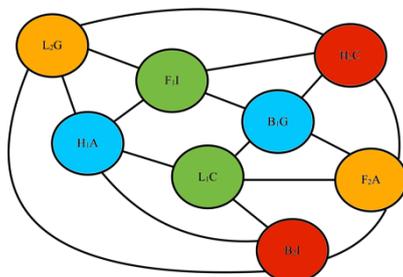
Gambar 5.2

b. Langkah kedua adalah menentukan sisi untuk menghubungkan 2 simpul yang saling melintas atau berseberangan. Untuk mempermudah, carilah simpul-simpul yang menunjukkan jalur mana saja yang akan mengalami tabrakan jika semua lampu berwarna hijau.

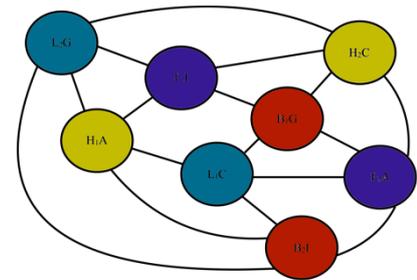


Gambar 5.3

- c. Memberi warna pada masing-masing simpul dengan ketentuan pemberian warna sebagai berikut :
- o Menggunakan warna sesedikit mungkin.
 - o Simpul yang terhubung dengan sisi tidak boleh berwarna sama.
 - o Memberi warna yang sama pada simpul yang tidak terhubung langsung.
 - o Simpul yang terhubung dengan sisi, maka jalur tersebut berlaku lampu lalu lintas berwarna hijau terus.
 - o Warna yang digunakan bebas.



Gambar 5.4 Model I



Gambar 5.5 Model II

d. Setelah ketiga langkah diatas telah diselesaikan, maka langkah terakhir yang harus dikerjakan adalah mengelompokkan simpul-simpul berdasarkan kesamaan warna. Dan membuat tabel untuk menentukan mana saja jalur yang lampu lalu lintasnya berwarna merah atau hijau.

Model I

Lampu Hijau	F ₁ I, L ₁ C
Lampu Merah	B ₁ G, H ₁ A, B ₂ I, H ₂ C, F ₂ A, L ₂ G

Tabel 5. 1 Lampu Lalu Lintas Kondisi 1

Lampu Hijau	B ₁ G, H ₁ A
Lampu Merah	F ₁ I, L ₁ C, B ₂ I, H ₂ C, F ₂ A, L ₂ G

Tabel 5. 2 Lampu Lalu Lintas Kondisi 2

Lampu Hijau	B ₂ I, H ₂ C
Lampu Merah	B ₁ G, H ₁ A, F ₁ I, L ₁ C, F ₂ A, L ₂ G

Tabel 5. 3 Lampu Lalu Lintas Kondisi 3

Lampu Hijau	F ₂ A, L ₂ G
Lampu Merah	B ₁ G, H ₁ A, F ₁ I, L ₁ C, B ₂ I, H ₂ C

Tabel 5. 4 Lampu Lalu Lintas Kondisi 4

Model II

Lampu Hijau	L ₁ C, L ₂ G
Lampu Merah	H ₂ C, H ₁ A, B ₂ I, B ₁ G, F ₁ I, F ₂ A

Tabel 5. 5 Lampu Lalu Lintas Kondisi 1

Lampu Hijau	H ₂ C, H ₁ A
Lampu Merah	L ₁ C, L ₂ G, B ₂ I, B ₁ G, F ₁ I, F ₂ A

Tabel 5. 6 Lampu Lalu Lintas Kondisi 2

Lampu Hijau	B ₂ I, B ₁ G
Lampu Merah	L ₁ C, L ₂ G, H ₂ C, H ₁ A, F ₁ I, F ₂ A

Tabel 5. 7 Lampu Lalu Lintas Kondisi 3

Lampu Hijau	F ₁ I, F ₂ A
Lampu Merah	L ₁ C, L ₂ G, H ₂ C, H ₁ A, B ₂ I, B ₁ G

Tabel 5. 8 Lampu Lalu Lintas Kondisi 4

Dari 4 kondisi Lampu lalu lintas diatas, saat lampu merah berubah menjadi lampu hijau kita tinggal menukar posisi jalur, sehingga jalur yang sebelumnya berlampu merah kita tukar posisi menjadi jalur berlampu hijau.

IV. SIMPULAN

Teori graf merupakan pokok bahasan yang sudah lama, tapi sampai sekarang masih memiliki terapan di berbagai persoalan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah penggunaan pewarnaan graf pada pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan jalan.

Masalah pembuatan lampu lalu lintas dapat dimodelkan dalam bentuk graf. Untuk mencari solusi dari permasalahan pengaturan warna lampu lalu lintas dapat di gunakan teknik pewarnaan simpul pada graf.

Penerapan graf pada persimpangan menggunakan algoritma Welch-Powell untuk optimalisasi pengaturan traffic light yaitu dengan cara (1) Mentransformasikan persimpangan jalan beserta arusnya ke bentuk graf (2) Mewarnai setiap simpul pada graf dengan menggunakan algoritma Welch-Powell (3) Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu hijau dan lampu merah menyala.

Maka dari itu, teori graf dan teori-teori lainnya, khususnya teori-teori yang termasuk di dalam bidang Matematika Diskrit sangat penting untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, agar selanjutnya dapat membantu kehidupan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://nationalgeographic.co.id/berita/2016/12/siapakah-penemu-lampu-lalu-lintas>
Waktu akses : 1 Desember 2017
- [2] <https://www.scribd.com/doc/53020036/Bag-5-Perencanaan-Lampu-Lalu-Lintas>
Waktu akses : 1 Desember 2017
- [3] <http://mrsleblancsmath.pbworks.com/w/file/46119304/vertex%20coloring%20algorithm.pdf>
Waktu akses : 2 Desember 2017
- [4] <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2017-2018/matdis17-18.htm#SlideKuliah>
Waktu akses : 2 Desember 2017
- [5] <http://lib.unnes.ac.id/21627/1/4111411043-S.pdf>
Waktu akses : 3 Desember 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 3 Desember 2017



Muhammad Farhan – 13516093