

APLIKASI PEWARNAAN GRAF MENGGUNAKAN
ALGORITMA *WELCH-POWELL* PADA PENGATURAN
TRAFFIC LIGHT

Skripsi

Disusun untuk melengkapi syarat-syarat
guna memperoleh gelar Sarjana Sains



HENGKI HARIANTO

3125120200

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2016

LEMBAR PERSETUJUAN HASIL SIDANG SKRIPSI

APLIKASI PEWARNAAN GRAF MENGGUNAKAN ALGORITMA *WELCH-POWELL* PADA PENGATURAN *TRAFFIC LIGHT*

Nama : Hengki Harianto

No. Registrasi : 3125120200

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Prof. Dr. Suyono, M.Si. NIP. 19671218 199303 1 005	.....	.....
Wakil Penanggung Jawab			
Pembantu Dekan I	: Dr. Muktiningsih, M.Si. NIP. 19640511 198903 2 001	.....	.....
Ketua	: Dr. Lukita Ambarwati, S.Pd, M.Si NIP. 19721026 200112 2 001	.....	.....
Sekretaris	: Dr. Eti Dwi Wiraningsih, S.Pd, M.Si NIP. 19810203 200604 2 001	.....	.....
Penguji	: Ratna Widyati, S.Si., M.Kom NIP. 19750925 200212 2 002	.....	.....
Pembimbing I	: Drs. Mulyono, M. Kom NIP. 19660517 199403 1 003	.....	.....
Pembimbing II	: Med Irzal, M.Kom NIP. 19770615 200312 1 001	.....	.....

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal: 18 Juli 2016

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini saya mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta

Nama : Hengki Harianto

No. Registrasi : 3125120200

Jurusan : Matematika

Judul : Aplikasi Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma

Welch-Powell Pada Pengaturan *Traffic Light*

Menyatakan bahwa skripsi ini telah siap diajukan untuk sidang skripsi.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs. Mulyono, M. Kom

NIP. 19660517 199403 1 003

Med Irzal, M.Kom

NIP. 19770615 200312 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika

Dr. Lukita Ambarwati. S. Pd., M. Si

NIP. 19721026 200112 2 001

PERSEMBAHANKU...



"Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu. (Q.S Al Insyirah : 6-8) "

Bukan pelangi namanya jika hanya ada warna merah. Bukan hari namanya jika hanya ada siang yang panas. Semua itu adalah warna hidup yang harus dijalani dan dinikmati. Meski terasa berat, namun manisnya hidup justru akan terasa, apabila semuanya bisa dilalui dengan baik.

Kupersembahkan karya kecil ini, untuk cahaya hidup, yang senantiasa ada saat suka maupun duka, selalu setia mendampingi, saat kulemah tak berdaya (Ibu dan Ayah tercinta) yang selalu memanjatkan doa untuk putra tercinta dalam setiap sujudnya. Untuk keluarga dan teman-teman matematika murni UNJ 2012 yang selalu memberi motivasi serta semua yang telah mendukung.

Terima kasih atas semuanya.

Untuk ribuan tujuan yang harus dicapai, untuk jutaan impian yang akan dikejar, untuk sebuah pengharapan, agar hidup jauh lebih bermakna, karena hidup tanpa mimpi ibarat arus sungai. Mengalir tanpa tujuan. Teruslah belajar, berusaha, dan berdoa untuk menggapainya. Jatuh berdiri lagi.

Kalah mencoba lagi. Gagal Bangkit lagi. *Never give up!*

Sampai Allah SWT berkata *"waktunya pulang"*.

ABSTRACT

HENGKI HARIANTO, 3125120200. Application Graph coloring Using Welch-Powell algorithm at the Traffic Light Settings. Thesis. Faculty of Mathematics and Natural Science Jakarta State University. 2016.

Traffic jam is a problem that is often found in big cities in Indonesia. This problem requires many solutions, one of them with a traffic light settings. Traffic light settings can be solved by graph theory. Part of graph theory which is used by the coloring of a graph. Graph coloring is divided into three, such as vertex coloring, edge coloring, and region coloring. This thesis examines the solution of the traffic light settings using vertex coloring with Welch-Powell algorithm. Crossroads data represented in the graph, which is subsequently resolved by vertex coloring, then look for the value of the effective time duration is compared with the traffic light settings that occurs at the intersection of Matraman, East Jakarta. The purpose of this thesis, such as (1) Knowing the shape of graph coloring models through the results of the crossroads (2) Knowing the effectiveness of the traffic light in the field. The method which is used including data collection, processing and analysis of data through a graph representation to the problem and searching for their effectiveness. Through the implementation of vertex coloring using Welch-Powell algorithm is expected to provide an alternative solution of traffic jam at the intersection. In addition, it can also be applied at many intersection which has a total light time that is not appropriate with the current condition of the vehicle at the traffic light.

Keywords : *Welch-Powell algorithm, Matraman, vertex coloring, traffic light.*

ABSTRAK

HENGKI HARIANTO, 3125120200. Aplikasi Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma *Welch-Powell* Pada Pengaturan *Traffic Light*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. 2016.

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah yang sering ditemukan di kota-kota besar di Indonesia. Hal ini memerlukan berbagai macam penyelesaian, salah satunya dengan pengaturan *traffic light*. Pengaturan *traffic light* dapat diselesaikan dengan teori graf. Bagian dari teori graf yang digunakan adalah pewarnaan graf. Pewarnaan graf dibedakan menjadi tiga yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi, dan pewarnaan wilayah (*region*). Skripsi ini mengkaji tentang penyelesaian pengaturan *traffic light* menggunakan pewarnaan simpul dengan algoritma *Welch-Powell*. Data persimpangan jalan yang direpresentasikan dalam graf, selanjutnya diselesaikan dengan pewarnaan simpul, kemudian mencari nilai efektifitas durasi waktu dibandingkan dengan pengaturan *traffic light* yang terjadi di persimpangan Matraman, Jakarta Timur. Tujuan penulisan skripsi ini, yaitu (1) Mengetahui bentuk model pewarnaan graf melalui hasil dari persimpangan jalan (2) Mengetahui tingkat efektifitas *traffic light* yang di lapangan. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengumpulan data, pengolahan dan analisis data melalui representasi masalah ke graf hingga mencari tingkat efektifitasnya. Melalui implementasi pewarnaan simpul menggunakan algoritma *Welch-Powell* ini diharapkan dapat memberikan sebuah solusi alternatif dalam penyelesaian kemacetan yang di persimpangan. Selain itu, juga dapat di terapkan pada persimpangan manapun yang memiliki waktu lampu total yang tidak sesuai dengan kondisi kendaraan pada arus *traffic light* tersebut.

Kata kunci : algoritma *Welch-Powell*, Matraman, pewarnaan simpul, *traffic Light*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas pemberian pengetahuan dan kemampuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " Aplikasi Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma *Welch-Powell* Pada Pengaturan *Traffic Light* " yang merupakan salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Program Studi Matematika Universitas Negeri Jakarta.

Skripsi ini berhasil diselesaikan tidak terlepas dari adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih terutama kepada:

1. Bapak Drs. Mulyono, M. Kom selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Ketua Progam Studi Sistem Komputer dan Bapak Med Irzal, M.Kom selaku Dosen Pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan, saran, nasehat serta pengarahannya sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik dan terarah.
2. Ibu Dr. Lukita Ambarwati. S.Pd., M.Si, selaku Ketua Prodi Matematika FMIPA UNJ yang telah banyak membantu penulis.
3. Ibu Ir. Fariani Hermin, M.T, selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan dan kerjasama Ibu selama perkuliahan, dan seluruh Bapak/Ibu dosen atas pengajarannya yang telah diberikan, serta karyawan/karyawati FMIPA UNJ yang telah memberikan informasi yang penulis butuhkan dalam menyelesaikan skripsi.
4. Ibu dan Alm. Ayah tercinta serta keempat kakak penulis yaitu Dang Mael, Ayuk Nita, Ayuk Reka, Dang Riki, yang senantiasa memberikan doa, dorongan semangat, motivasi, kesabaran, nasehat, serta bantuan secara moral maupun material.

5. Seluruh keluarga besarku yang terus memberi semangat, mendoakan penulis, dan memberi dukungan motivasi dalam penulisan skripsi ini.
6. Kepala Dinas Perhubungan dan Transportasi DKI Jakarta, dan teman-teman yaitu: Uyun, Almira, Bang Benni, Syahminan yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian.
7. Teman-teman seperjuangan Matematika angkatan 2012 yang memberikan dorongan untuk selalu semangat dalam bimbingan skripsi ini.
8. Teman-teman KKN Tahap II tahun 2015 Kelompok 1, Desa Mandalawangi, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten, yaitu Riri, Qolbi, Ghina, Mei, Barda, Dedek, Yudhi, Tyo, yang memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak bisa penulis tulis satu persatu. Terimakasih atas dukungan dan motivasinya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan karena sesungguhnya kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, kritik serta saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis sendiri serta bagi yang membacanya.

Jakarta, Juni 2016

Hengki Harianto

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penulisan	5
1.5 Manfaat Penulisan	6
1.6 Metode Penelitian	7
II LANDASAN TEORI	8
2.1 Pengenalan Graf	8
2.2 Pohon(<i>Tree</i>)	11
2.3 Terminologi Dasar Graf	14
2.4 Pewarnaan Graf	16
2.5 Bilangan Kromatik	18

2.6	Algoritma <i>Welch-Powell</i>	23
2.7	Teori Transportasi	27
2.7.1	Bentuk Alih Gerak (<i>manuver</i>)	29
III PEMBAHASAN		32
3.1	Hasil Penelitian	32
3.2	Aplikasi Pewarnaan Simpul Pada <i>Traffic Light</i> di Persimpangan Jalan	32
3.3	Tahap Pengambilan Data	33
3.4	Diagram Alur (<i>Flowchart</i>)	35
3.5	Gambar Sistem Arus Lalu Lintas	35
3.6	Menentukan Urutan <i>Traffic Light</i> dengan Teknik Pewarnaan . .	38
3.7	Teknik Pewarnaan Menggunakan Algoritma <i>Welch-Powell</i> . . .	44
3.8	Menghitung Alternatif Penyelesaian Durasi <i>Traffic Light</i>	48
IV PENUTUP		56
4.1	Kesimpulan	56
4.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN-LAMPIRAN		60

DAFTAR GAMBAR

1.1	Persimpangan <i>Traffic Light</i> Matraman	2
1.2	Alur Penelitian	7
2.1	Graf dengan lima simpul dan tujuh sisi	9
2.2	Contoh Graf G	10
2.3	Graf G_1 dan Graf G_2	15
2.4	Graf Kosong (<i>Null Graph</i>)	15
2.5	Contoh Pewarnaan Simpul	16
2.6	Contoh Pewarnaan Sisi	17
2.7	Contoh Pewarnaan Wilayah	18
2.8	k -colourable untuk graf $(a)N_4, (b)K_5, (c)C_6, (d)C_5$	19
2.9	Graf G_1, G_2, G_3 adalah komponen - komponen dari graf G	20
2.10	Contoh Graf G dan Graf H	20
2.11	Graf G dengan $\chi(G) = 2$	21
2.12	<i>Flowchart</i> Langkah-langkah Algoritma <i>Welch-Powell</i>	23
2.13	Graf G	24
2.14	Pewarnaan Pertama	25
2.15	Pewarnaan Kedua	25
2.16	Pewarnaan Ketiga	26
2.17	Pewarnaan Keempat	26
2.18	Arus Memisah (<i>Diverging</i>)	30
2.19	Arus Menggabung (<i>Merging</i>)	30
2.20	Arus Memotong (<i>Crossing</i>)	31
2.21	Arus Menyilang (<i>Weaving</i>)	31
3.1	Diagram Alur (<i>Flowchart</i>)	35

3.2	Kondisi <i>Traffic Light</i> Matraman	36
3.3	Ilustrasi <i>Traffic Light</i> Matraman	37
3.4	Simpul arah jalur yang dilewati	38
3.5	Sisi penghubung simpul yang akan melintas	39
3.6	Simpul jalur A_2	40
3.7	Simpul jalur A_3	40
3.8	Simpul jalur B_2	41
3.9	Simpul jalur B_3	41
3.10	Simpul jalur C_2	42
3.11	Simpul jalur C_3	42
3.12	Simpul jalur D_2	43
3.13	Simpul jalur D_3	43
3.14	Graf Simpang 4 Matraman	44
3.15	Pewarnaan Pertama	45
3.16	Pewarnaan Kedua	46
3.17	Pewarnaan Ketiga	46
3.18	Pewarnaan Keempat	47

DAFTAR TABEL

2.1	Jumlah derajat simpul graf G	24
3.1	Bilangan Kromatik	44
3.2	Warna Simpul Graf <i>Traffic Light</i> Matraman	47
3.3	Data Primer Pagi Hari	48
3.4	Alternatif Penyelesaian Pagi Hari	48
3.5	Data Baru Pagi Hari	49
3.6	Data Primer dan Data Baru <i>Traffic Light</i> Matraman	49
3.7	Data Primer Siang Hari	50
3.8	Alternatif Penyelesaian Siang Hari	51
3.9	Data Baru Siang Hari	51
3.10	Data Primer dan Data Baru <i>Traffic Light</i> Matraman	52
3.11	Data Primer Malam Hari	53
3.12	Alternatif Penyelesaian Malam Hari	53
3.13	Data Baru Malam Hari	54
3.14	Data Primer dan Data Baru <i>Traffic Light</i> Matraman	54
4.1	Data Primer Pagi Hari	60
4.2	Data Primer Siang Hari	60
4.3	Data Primer Malam Hari	60
4.4	Data Primer Pagi Hari	61
4.5	Data Primer Siang Hari	61
4.6	Data Primer Malam Hari	61
4.7	Data Primer Pagi Hari	62
4.8	Data Primer Siang Hari	62
4.9	Data Primer Malam Hari	62

DAFTAR SIMBOL

	halaman
v : <i>vertex</i> atau simpul	7
e : <i>edge</i> atau sisi	7
$\deg v_i$: derajat sisi pada simpul ke-i	12
δ : derajat minimum	12
Δ : derajat maksimum	12
$\chi(G) = k$: jumlah kromatik	17

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah yang sering dijumpai di kota-kota besar di Indonesia. Beberapa faktor penyebab kemacetan adalah kurangnya disiplin pengguna jalan dan volume kendaraan yang semakin bertambah. Hal ini memerlukan berbagai macam penyelesaian, salah satunya dengan pengaturan lampu lalu lintas (*traffic light*).

Masalah transportasi secara umum dan lalu lintas pada khususnya merupakan fenomena yang terlihat sehari-hari dalam kehidupan manusia. Semakin tinggi tingkat mobilitas warga suatu kota, akan semakin tinggi juga tingkat perjalanannya. Jika peningkatan perjalanan ini tidak diikuti dengan prasarana transportasi yang memadai, maka akan terjadi suatu ketidakseimbangan antara permintaan (*demand*) dan penyediaan (*supply*) yang akhirnya menimbulkan suatu ketidaklancaran dalam mobilitas yaitu berupa kemacetan (Nugroho, 2008).

Kemacetan lalu lintas di suatu kota atau tempat sekarang ini bukan merupakan hal asing lagi yang dapat terjadi di suatu ruas ataupun persimpangan jalan. Kemacetan timbul karena adanya konflik pergerakan yang datang tiap arah kaki simpangannya. Untuk mengurangi hal ini banyak dilakukan pengendalian untuk mengoptimalkan jalur kendaraan persimpangan dengan menggunakan *traffic light*.

Lalu lintas adalah suatu keadaan dengan pengaturan *traffic light* yang

terpasang pada persimpangan. Pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan dimaksudkan untuk bagaimana pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar arus yang ada. Ada berbagai jenis kendali dengan menggunakan lampu lalu lintas di mana pertimbangan ini sangat bergantung pada situasi dan kondisi persimpangan seperti volume, geometrik simpang, dan lain sebagainya.

Arus lalu lintas di kawasan persimpangan Matraman terpantau padat merayap terlebih pada waktu pagi dan sore hari. Permasalahan ini dikarenakan pada pengaturan arus kendaraan suatu simpang jalan serta pengaturan siklus waktu lampu merah dan lampu hijau. Pada persimpangan jalan banyak ditemui *traffic light* dengan durasi lampu hijau yang singkat dan lampu merah yang lama. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan antrian kendaraan pada persimpangan tersebut. Durasi lampu merah juga mengakibatkan masa tunggu menjadi lama. Beberapa petugas kepolisian yang ada terkadang tidak kuasa ikut membantu mengatur semrawutnya arus lalu lintas tersebut, terutama pada waktu sibuk di pagi dan sore hari.

Persimpangan simpang empat di jalan Matraman dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Persimpangan *Traffic Light* Matraman

Persimpangan jalan merupakan bagian yang terpenting dari jalan raya sebab sebagian besar dari efisiensi, kapasitas lalu lintas, kecepatan biaya operasi, waktu perjalanan, keamanan dan kenyamanan akan tergantung pada perencanaan persimpangan tersebut (Hariyanto, 2004: 2). Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas menerus dan saling memotong pada satu atau lebih dari kaki persimpangan dan mencakup juga pergerakan perputaran. Pergerakan lalu lintas ini dikendalikan berbagai cara bergantung pada jenis persimpangannya.

Lalu lintas merupakan perangkat penting dalam mengendalikan persimpangan. Teori lalu lintas adalah fenomena fisik yang bertujuan memahami dan meningkatkan lalu lintas mobil, dan masalah yang terkait dengan itu seperti kemacetan lalu lintas (Baruah & Baruah, 2012). Permasalahannya, penentuan parameter waktu dan pengaturan pergiliran yang kurang sesuai dengan volume dan karakteristik kedatangan kendaraan. Tujuannya adalah sebagai visualisasi objek-objek agar lebih mudah dimengerti model antrian untuk menentukan optimalisasi waktu penyalaan lampu lalu lintas dan meminimalisasi waktu tunggu. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah pengoptimalisasian pengaturan *traffic light*, khususnya di persimpangan pada jalur *traffic light* di Matraman, Jakarta Timur

Teknik dari pewarnaan graf terdapat tiga macam, yaitu pewarnaan simpul (*vertex*), pewarnaan sisi (*edge*), dan pewarnaan wilayah (*region*). Namun, berkaitan dengan masalah traffic light dalam penelitian ini hanya akan dibahas pewarnaan simpul. Pewarnaan simpul adalah pemberian warna pada simpul-simpul graf dimana dua simpul yang berhubungan langsung diberi warna yang berbeda. Jumlah warna paling sedikit yang digunakan untuk mewarnai simpul pada graf G disebut bilangan kromatik yang dilambangkan $\chi(G)$. Pewarnaan simpul dapat diaplikasikan dalam berbagai hal, misalnya

penentuan frekuensi pada radio, pengaturan jadwal matakuliah, penyimpanan bahan kimia dan penyelesaian masalah sistem lampu lalu lintas (*traffic light*).

Penyelesaian masalah *traffic light* dapat ditinjau dalam perspektif graf, yaitu dengan merepresentasikan persimpangan dalam bentuk graf. Simpul graf menunjukkan arah perjalanan yang diperbolehkan dari jalan X menuju jalan Y, sedangkan sisi graf menunjukkan arah perjalanan yang tidak boleh dilakukan secara bersamaan. Selanjutnya menyelesaikannya dengan metode pewarnaan simpul menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Penyelesaian ini akan menghasilkan arus-arus yang dapat berjalan secara bersamaan, selain itu juga diperoleh alternatif durasi siklus baru. Durasi siklus baru ini akan dibandingkan dengan siklus waktu data primer dari data yang hasil observasi dan diharapkan bisa menjadi solusi bagi pengguna jalan dalam rangka mempercepat masa tunggu ketika lampu merah menyala.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah yang ingin dipecahkan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan pewarnaan simpul menggunakan algoritma *Welch-Powell* pada persimpangan *traffic light* Matraman?
2. Berapa tingkat efektifitas pengaturan sistem *traffic light* menggunakan pewarnaan simpul dengan algoritma *Welch-Powell* dibandingkan pengaturan sistem *traffic light* yang terjadi di persimpangan Matraman?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk memfokuskan obyek dari suatu penelitian maka dibutuhkan batasan masalah. Pada penelitian ini, masalah dibatasi pada pewarnaan simpul dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* dan aplikasinya pada sistem *traffic light*. Persimpangan jalan yang diteliti adalah persimpangan *traffic light* Matraman Jakarta Timur. Agar pemodelan menjadi lebih sederhana ada beberapa asumsi yang digunakan yaitu:

1. Lampu kuning sama dengan lampu hijau, sehingga hanya akan ada dua lampu yaitu lampu merah untuk menandakan berhenti dan lampu hijau yang berarti dapat berjalan.
2. Kepadatan volume kendaraan dalam menunggu lampu merah diabaikan.
3. Jarak antar persimpangan jalan diabaikan.
4. Pengambilan data akan dibagi pada tiga periode waktu, yaitu:
 - Pagi hari, dibatasi pada pukul 06.30-07.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pekerja dan pelajar yang berangkat pada jam tersebut.
 - Siang hari, dibatasi pada pukul 12.30-13.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pelajar yang pulang dan aktivitas lain pada jam tersebut.
 - Malam hari, dibatasi pada pukul 18.30-19.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pekerja yang pulang.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana bentuk pewarnaan graf dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* dari hasil pemodelan arus lalu lintas di persimpangan jalan.
2. Mengetahui tingkat efektifitas pengaturan sistem *traffic light* menggunakan pewarnaan simpul dengan algoritma *Welch-Powell* di bandingkan dengan pengaturan sistem *traffic light* yang terjadi di lapangan.
3. Mengetahui perhitungan hasil waktu tunggu total optimal berdasarkan pewarnaan graf dengan pengaturan yang sudah diterapkan.

1.5 Manfaat Penulisan

1. Bagi Penulis:

Membantu penulis untuk mengetahui bagaimana menghitung pengaturan waktu lampu lalu lintas di persimpangan jalan dengan penerapan pewarnaan graf menggunakan algoritma *Welch-Powell*

2. Bagi Universitas:

Melalui hasil penelitian ini dapat menjadi referensi yang berkaitan dengan teori graf dalam menyelesaikan masalah pengaturan waktu lampu lintas

3. Bagi Mahasiswa:

Penerapan pewarnaan graf sangat berguna untuk menghitung jumlah waktu tunggu optimal pada arus lalu lintas di persimpangan jalan. Mahasiswa dapat mengetahui berapakah hasil perhitungan dengan menggunakan pewarnaan graf melalui algoritma *Welch-Powell*. Penelitian ini juga dapat dipakai sebagai bahan acuan bagi mahasiswa yang ingin melanjutkan penelitian

1.6 Metode Penelitian

Skripsi ini merupakan kajian pustaka dengan rekayasa produk dibidang matematika diskrit yang berhubungan dengan pewarnaan graf menggunakan algoritma *Welch-Powell* pada pengaturan *traffic light*. Pembahasan yang diberikan merupakan hasil dari buku, jurnal, diktat dan situs matematika serta penelitian lapangan.

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari konsep dasar yang berkaitan dengan pewarnaan simpul, algoritma *Welch-Powell* dan masalah sistem *traffic light*. Selanjutnya dilakukan pengambilan data, merepresentasikannya ke graf kemudian menyelesaikannya dengan pewarnaan simpul menggunakan algoritma *Welch-Powell* dan mencari nilai efektifitasnya dibandingkan dengan data primer dari pengamatan lapangan. Lebih lanjut langkah-langkah penelitian dapat disajikan dalam alur Gambar 1.2 seperti di bawah ini:



Gambar 1.2: Alur Penelitian

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengenalan Graf

Teori graf merupakan cabang dari matematika sebenarnya sudah ada sejak lebih dari dua ratus tahun yang silam. Jurnal pertama tentang teori graf muncul pada tahun 1736, oleh matematikawan terkenal dari Swiss bernama Euler. Melalui segi matematika, pada awalnya teori graf kurang signifikan, karena kebanyakan dipakai untuk memecahkan teka-teki (*puzzle*), namun akhirnya mengalami perkembangan yang sangat pesat yaitu terjadi pada beberapa puluh tahun terakhir ini. Salah satu alasan perkembangan teori graf yang begitu pesat 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)

Definisi 2.1.1. *Sebuah graf $G=(V,E)$ adalah sebuah struktur matematika yang terdiri dari dua himpunan terhingga V dan E . Anggota dari V disebut simpul dan anggota dari E disebut sisi.*

V = Himpunan tak kosong dari simpul = $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$

E = Himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul = $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$

Dengan demikian V tidak boleh kosong, sedangkan E boleh kosong. Jadi, sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi satu buah pun tetapi simpulnya harus ada, minimal satu.

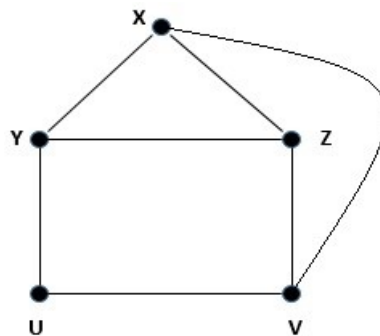
Definisi 2.1.2. *Sebuah graf G berisikan dua himpunan yaitu himpunan berhingga tak kosong $V(G)$ dari objek-objek yang disebut titik dan himpunan ber-*

hingga (mungkin kosong) $E(G)$ yang elemen-elemennya disebut sisi sedemikian hingga setiap elemen e dalam $E(G)$ merupakan pasangan tak berurutan dari titik-titik di $V(G)$ disebut himpunan titik G

Simpul graf dapat dinomori dengan huruf, seperti $a, b, c, \dots, v, w, \dots$ atau dengan bilangan asli $1, 2, 3, \dots$ atau dengan penggabungan keduanya. Sedangkan sisi yang menghubungkan simpul v_i dengan simpul v_j dinyatakan dengan pasangan (v_i, v_j) atau dengan lambang $e_1, e_2, \dots$. Dengan kata lain jika e adalah sisi yang menghubungkan simpul v_i dengan simpul v_j , maka e dapat ditulis sebagai $e = (v_i, v_j)$. Secara geometri graf digambarkan sebagai sekumpulan simpul didalam bidang dua dimensi yang dihubungkan dengan sekumpulan sisi.

Contoh 1. Berikut ini adalah suatu graf $G=(V,E)$ dengan himpunan simpul $V = x, y, z, u, v$ dan himpunan sisi $E = (x, y), (x, z), (x, v), (y, z), (y, u), (z, u), (u, v)$

Graf seperti ini dapat digambarkan secara geometris seperti berikut:

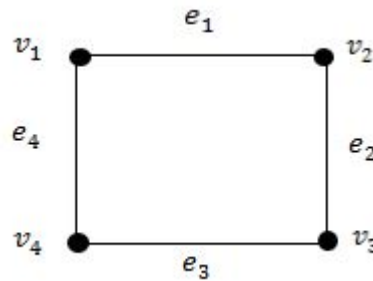


Gambar 2.1: Graf dengan lima simpul dan tujuh sisi

Definisi 2.1.3. Graf didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V,E) , ditulis dengan notasi $G = (V,E)$, yang dalam hal ini adalah himpunan tidak kosong dari titik-titik (vertices atau node) dan adalah himpunan sisi (edges atau arcs) yang menghubungkan sepasang titik, E boleh kosong.

Jadi, sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi, tetapi titiknya harus ada minimal satu. Graf yang hanya mempunyai satu buah titik tanpa sisi dinamakan **graf trivial**.

Contoh 2. Sebuah graf $G = (V, E)$ dengan $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ dan $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ dimana $e_1 = v_1, v_2$, $e_2 = v_2, v_3$, $e_3 = v_3, v_4$, $e_4 = v_4, v_1$ dapat dipresentasikan dalam bentuk Gambar 2.1



Gambar 2.2: Contoh Graf G

Sebuah sisi yang hanya menghubungkan sebuah titik dengan dirinya sendiri disebut gelung (*loop*). Jika terdapat lebih dari satu sisi yang menghubungkan dua titik u dan v pada suatu graf, maka sisi-sisi tersebut disebut sisi ganda (Ketut, 2007: 3).

Misalkan G adalah sebuah graf. Sebuah jalan (*walk*) di G adalah sebuah barisan berhingga tak kosong $W = (v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, e_k, v_k)$ yang sukunya bergantian titik dan sisi, sedemikian hingga v_{i-1} dan v_i adalah titik-titik akhir sisi e_i untuk $1 \leq i \leq k$. Dapat dinyatakan W adalah sebuah jalan dari titik v_0 ke titik v_k atau jalan (v_0, v_k) . Titik v_0 dan titik v_k berturut-turut disebut titik awal dan titik akhir W . Jika semua sisi $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$ dalam jalan W yang berbeda, maka W disebut jejak (*trail*). Jika semua titik $v_1, v_2, v_3, \dots, v_k$ dalam jalan W juga berbeda, maka W disebut lintasan (*path*) (Ketut, 2007: 6).

2.2 Pohon(*Tree*)

Pohon (*tree*) merupakan suatu konsep pada matematika diskrit yang sering digunakan untuk mengkaji dan menggambarkan suatu proses matematis, struktur atau organisasi, pengambilan keputusan, dan lainnya. Pohon mulai digunakan oleh Arthur Cayley, seorang matematikawan Inggris. Pada tahun 1857, ia menggunakan konsep ini untuk menghitung jumlah senyawa kimia. (Rosen,1996)

Definisi 2.2.1. *Pohon adalah graf berarah terhubung yang tidak mengandung siklus (cycle)*

Teorema 2.2.2. *Suatu graf adalah pohon jika dan hanya jika terdapat satu sisi diantara setiap pasang simpul dari $T = (V, E)$.*

Bukti.

($\Rightarrow$) Misalkan $T = (V, E)$ adalah pohon maka $T = (V, E)$ terhubung, artinya terdapat paling sedikit satu sisi diantara setiap pasang simpul. Andaikan terdapat dua sisi $e_1, e_2 \in E$ yang berbeda diantara simpul $v_1, v_2 \in V$, maka $e_1 \cup e_2$ mengandung sirkuit. Berarti haruslah banyaknya jalur diantara setiap pasang simpul hanya satu.

($\Leftarrow$) Karena selalu terdapat sisi diantara setiap pasang simpul maka $T = (V, E)$ terhubung. Terdapatnya suatu siklus di dalam $T = (V, E)$ berakibat terdapatnya lebih dari satu sisi diantara suatu pasang simpul dari $T = (V, E)$. Berarti $T = (V, E)$ haruslah tidak mengandung siklus.

Teorema 2.2.3. *Jika T pohon, maka untuk setiap dua simpul u dan v yang berbeda di T terdapat tepat satu lintasan (path) yang menghubungkan kedua simpul tersebut.*

Bukti.

Misalkan ada lintasan (*path*) berbeda yang menghubungkan simpul u dan simpul v di T . Andaikan e_1 dan e_2 dengan $e_1 \neq e_2$. Maka e_1 dan e_2 akan menghubungkan simpul u dan simpul v , sehingga ada dua lintasan yang terhubung pada kedua simpul tersebut dan membentuk sirkuit. Berdasarkan definisi, T tidak memiliki sirkuit dengan demikian, haruslah $e_1 = e_2$. Hal ini kontradiksi dengan premis bahwa $e_1 \neq e_2$. Jadi, terbukti bahwa setiap dua simpul yang berbeda di T memiliki tepat satu lintasan yang menghubungkan kedua simpul tersebut.

Teorema 2.2.4. *Banyaknya simpul dari sebuah pohon T sama dengan banyaknya sisi ditambah satu atau di tulis:*

$$\text{Jika } T \text{ pohon, maka } |V(T)| = |E(T)| + 1$$

Bukti.

Akan dibuktikan teorema di atas dengan induksi pada $|V(T)|$. Jika pohon T mempunyai satu simpul sisi T adalah nol yang merupakan pohon trivial. Jika teorema benar untuk pohon T dengan satu sisi simpul. Asumsikan bahwa pernyataan dalam teorema benar untuk pohon dengan k simpul, artinya T mempunyai paling banyak k titik, maka $|V(T)| = |E(T)| + 1$.

Akan ditunjukkan bahwa jika pohon T mempunyai $k + 1$ simpul maka $|V(T)| = |E(T)| + 1$. Misalkan T adalah pohon dengan dengan $k + 1$ simpul dan l adalah sebuah sisi T . Maka $T - l$ memiliki tepat dua komponen T_1 dan T_2 , dan masing-masing komponen adalah pohon dengan simpul kurang dari $k + 1$. Sehingga menurut asumsi, $|V(T_i)| = |E(T_i)| + 1; i = 1, 2$.

Selanjutnya $|E(T)| = |E(T_1)| + |E(T_2)| + 1$, sehingga

$$\begin{aligned}
|V(T)| &= |V(T_1)| + |V(T_2)| \\
&= |E(T_1)| + 1 + |E(T_2)| + 1 \\
&= (|E(T_1)| + |E(T_2)|) + 1 \\
&= |E(T)| + 1
\end{aligned}$$

Dengan demikian teorema terbukti.

1. Derajat Simpul

Jumlah atau banyaknya sisi yang menempel dengan suatu simpul v_i , disebut derajat dari simpul tersebut; di notasikan $\deg v_i$. Derajat suatu simpul sering juga disebut valensi dari simpul. Derajat minimum dari graf G dinotasikan dengan $\delta(G)$ dan derajat maksimumnya dinotasikan dengan $\Delta(G)$.

Teorema 2.2.5. *Misal graf $G(p, q)$ dimana $V(G) = v_1, v_2, \dots, v_n$ maka*

$$\sum_{i=1}^p \deg v_i = 2q$$

Bukti. Setiap menghitung derajat suatu simpul di G , maka suatu sisi dihitung satu kali karena setiap sisi menghubungkan dua simpul berbeda maka dengan demikian diperoleh bahwa jumlah semua derajat simpul di G sama dengan dua kali jumlah sisi di G . Jadi terbukti bahwa

$$\sum_{i=1}^p \deg v_i = 2q$$

Teorema 2.2.5 kemudian dikenal sebagai teorema jabat tangan. Berdasarkan hubungan yang dijelaskan dari teorema 2.2.5, maka banyak simpul berderajat ganjil dalam suatu graf genap. Hal ini dinyatakan dalam akibat berikut.

Akibat 2.2.6. *Banyaknya simpul berderajat ganjil dalam suatu graf selalu genap*

Bukti. Misalkan G adalah suatu graf dengan sisi sebanyak q , misalkan W adalah himpunan simpul ganjil di G dan U adalah himpunan simpul genap di G . Maka

$$\sum_{v \in V(G)} \deg v = \sum_{v \in W} \deg v + \sum_{v \in U} \deg v = 2q$$

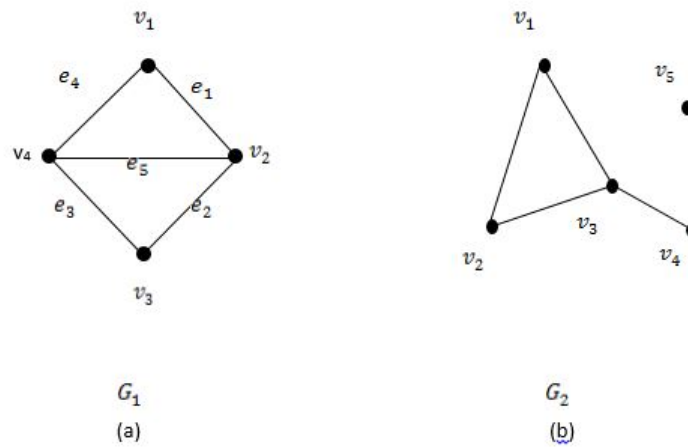
Karena U adalah himpunan *vertex* genap, maka $\sum_{v \in U} \deg v$ adalah genap, karena $2q$ adalah bilangan genap dan $\sum_{v \in V} \deg v$ juga genap maka $\sum_{v \in W} \deg v$ haruslah genap. Karena W merupakan himpunan simpul ganjil dan $\sum_{v \in W} \deg v$ adalah bilangan genap, maka banyak simpul di W haruslah genap. Jadi terbukti bahwa banyaknya simpul berderajat ganjil di G adalah genap.

2.3 Terminologi Dasar Graf

Dalam pembahasan mengenai graf biasanya sering menggunakan terminologi (istilah) yang berkaitan dengan graf. Berikut ini terminologi (istilah) yang berkaitan dengan graf yang akan digunakan dalam skripsi ini, yang dirujuk dari Munir (2005: 364-376).

1. Bertetangga (*Adjacent*)

Dua buah titik pada graf tak berarah G dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung dengan sebuah sisi. Sehingga dengan kata lain v_j bertetangga dengan v_k jika (v_j, v_k) adalah sebuah sisi pada graf G (Munir, 2005: 365). Pada Gambar 2.3(a), titik v_1 bertetangga dengan titik v_2 dan titik v_4 , titik v_1 tidak bertetangga dengan titik v_3 .

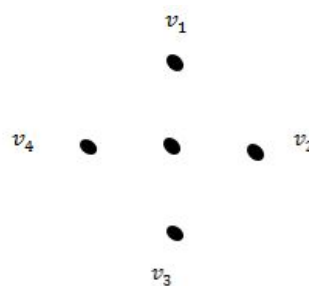
Gambar 2.3: Graf G_1 dan Graf G_2

2. Bersisian (*Incident*)

Untuk sembarang sisi, $e = (v_j, v_k)$ sisi e dikatakan bersisian dengan titik v_j dan titik v_k (Munir, 2005: 365). Pada Gambar 2.3 (a), sisi e_1 bersisian dengan titik v_1 dan titik v_2 , tetapi sisi e_1 tidak bersisian dengan titik v_4 .

3. Graf Kosong (*Null Graph*)

Graf yang berhimpunan sisinya merupakan himpunan kosong disebut Graf Kosong (*Null Graph*) dan ditulis sebagai N_n , n adalah jumlah titik (Munir, 2005:366). Menurut (Wilson & Watkin, 1976: 36) Graf kosong (graf nol) adalah graf yang tidak memiliki sisi. Graf kosong dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4

Gambar 2.4: Graf Kosong (*Null Graph*)

4. Derajat (*Degree*)

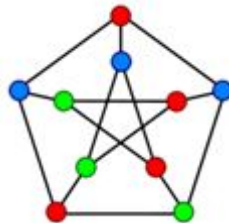
Derajat suatu titik pada graf tak berarah adalah jumlah sisi yang ber-sisian dengan titik tersebut (Munir, 2005: 366). Pada Gambar 2.3 (a), graf $G_1 : d(v_1) = d(v_3) = 2, d(v_2) = d(v_4) = 3$

2.4 Pewarnaan Graf

Pewarnaan graf (*graph coloring*) adalah kasus khusus dari pelabelan graf. Pewarnaan graf adalah metode pemberian warna pada elemen graf yang terdiri dari pewarnaan simpul, busur, dan peta. Pada skripsi ini hanya akan dijelaskan tentang pewarnaan simpul yang akan digunakan dalam pengaturan arus lalu lintas di Matraman Jakarta Timur. Pewarnaan graf dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

1. Pewarnaan Simpul

Pewarnaan simpul (*vertex coloring*) adalah memberi warna pada simpul-simpul suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua simpul bertetangga mempunyai warna yang sama.



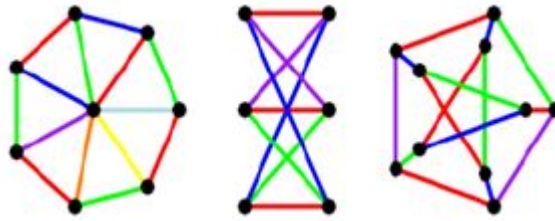
Gambar 2.5: Contoh Pewarnaan Simpul

Melalui pewarnaan graf, tidak hanya sekedar mewarnai simpul-simpul dengan warna yang berbeda dari warna simpul yang bertetangga saja, tetapi juga menginginkan jumlah macam warna yang digunakan semini-mum mungkin. Pewarnaan simpul di sisi dibatasi pada graf sederhana

atau graf yang tidak mempunyai sisi rangkap atau gelung.

2. Pewarnaan Sisi

Pewarnaan sisi (*edge coloring*) merupakan pemberian warna pada setiap sisi pada graf sehingga sisi-sisi yang terhubung tidak memiliki warna yang sama.



Gambar 2.6: Contoh Pewarnaan Sisi

Ukuran keterwarnaan suatu graf didefinisikan sama dengan ukuran keterwarnaan titik/ simpul, yaitu mengacu pada banyaknya warna yang memungkinkan sehingga setiap sisi yang berdekatan mendapat warna yang berbeda. Banyaknya warna minimal yang digunakan untuk mewarnai sisi-sisi dalam suatu graf G disebut indeks kromatik G , dinotasikan $\chi'(G)$.

3. Pewarnaan Wilayah

Pewarnaan wilayah (*region coloring*) merupakan pemberian warna pada setiap wilayah pada graf sehingga tidak ada wilayah yang bersebelahan memiliki warna yang sama.

Pada prinsipnya pewarnaan wilayah memiliki kesamaan karakteristik dengan pewarnaan simpul. Pewarnaan tersebut terletak pada pemodelan wilayah yang akan diwarnai dalam bentuk graf dimana setiap wilayah digambarkan sebagai simpul pada graf. Batas antar wilayah yang terhubung digambarkan sebagai sisi. Jadi, untuk mewarnai suatu wilayah

dapat digunakan pewarnaan simpul dengan terlebih dahulu mengkonversi objek/ wilayah yang akan diwarnai menjadi simpul/titik dalam graf.



Gambar 2.7: Contoh Pewarnaan Wilayah

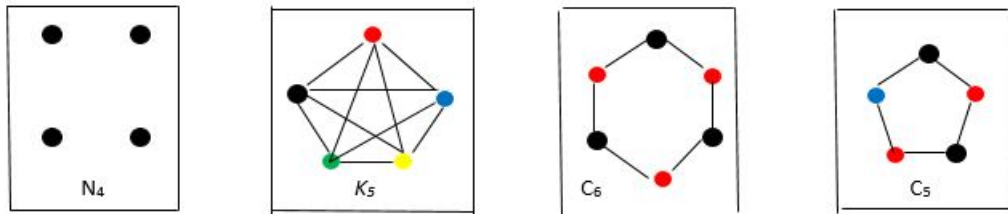
2.5 Bilangan Kromatik

Pewarnaan simpul dari graf G dapat dinyatakan dalam sebuah fungsi $f : V(G) \rightarrow C$, dimana C merupakan warna yang mungkin digunakan untuk mewarnai G . Berdasarkan fungsi tersebut maka dua simpul *adjacent* di G , $(uv \in E(G))$ berlaku $f(u) \neq f(v)$. Banyaknya warna minimum yang diperlukan sehingga tepat mewarnai simpul di G disebut bilangan kromatik, dinotasikan $\chi(G) = k$. maka G disebut graf k -kromatik.

Graf sederhana G merupakan k -colourable jika dapat diberikan satu dari k warna sedemikian sehingga setiap simpul yang bertetangga mempunyai warna yang berbeda. Jumlah warna minimum yang dapat digunakan untuk mewarnai titik pada suatu graf G disebut bilangan kromatik graf G . Jika G merupakan k -colourable, tapi tidak $(k-1)$ -colourable, maka G disebut k -chromatic, atau dengan kata lain k adalah bilangan kromatik dari G , ditulis $\chi(G) = k$.

Untuk graf tertentu kita dapat langsung menentukan bilangan kromatiknya, seperti pada graf kosong N_n , $\chi(N_n) = 1$, karena semua simpul tidak

terhubung. Pada graf lengkap K_n , $\chi(K_n) = n$, karena semua simpul terhubung sehingga dibutuhkan n warna untuk mewarnai semua simpul. Graf lingkaran dengan jumlah simpul genap mempunyai bilangan kromatik dua, sedangkan graf lingkaran dengan jumlah simpul ganjil mempunyai bilangan kromatik 3. Pada Gambar 2.8 dapat dilihat $\chi(N_4) = 1, \chi(K_5) = 5, \chi(C_6) = 2$, dan $\chi(C_5) = 3$.



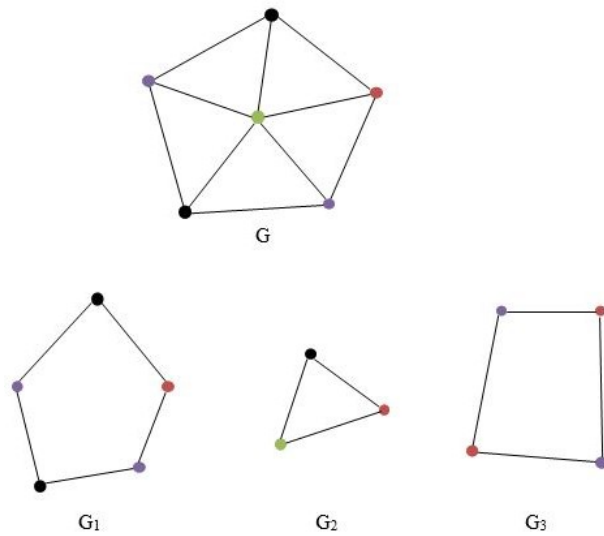
Gambar 2.8: k -colourable untuk graf (a) N_4 , (b) K_5 , (c) C_6 , (d) C_5

Teorema 2.5.1. *Jika ada sebuah pewarnaan- k pada graf G , maka $\chi(G) \leq k$*

Bukti. Jika ada warna - k pada graf G berarti semua titik pada graf G dapat diwarnai dengan menggunakan k warna. Karena bilangan kromatik merupakan minimum banyaknya warna yang digunakan untuk mewarnai semua simpul pada graf G , sedemikian sehingga syarat pewarnaan terpenuhi. Maka $\chi(G) \leq k$.

Teorema 2.5.2. *Jika $G_1, G_2, \dots, G_k$ adalah komponen - komponen graf G , maka: $\chi(G) = \max\{\chi(G_i) \mid 1 \leq i \leq k\}$*

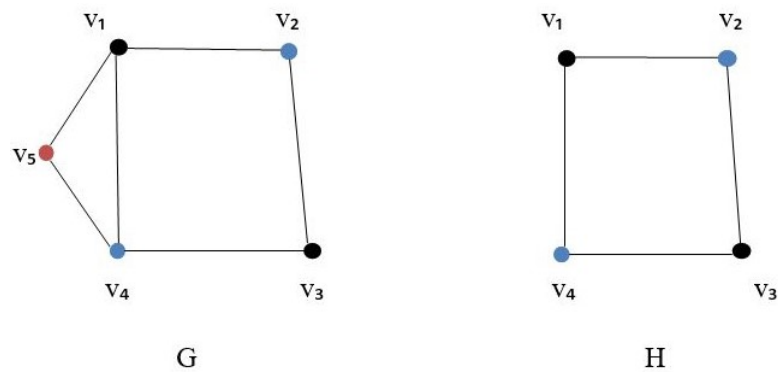
Bukti. Misalkan G_i untuk semua $1 \leq i \leq k$ yang ditulis dengan $G_1, G_2, \dots, G_k$ adalah komponen - komponen graf G yang mempunyai bilangan kromatik maksimum, katakan t . Sehingga t warna yang digunakan untuk mewarnai semua titik di G_i , dapat digunakan untuk mewarnai semua titik di G pada komponen selain G_i , sehingga diperoleh sebuah pewarnaan pada G . Berdasarkan definisi bahwa $\chi(G) \leq t$ dan karena G_i graf bagian dari G dan $\chi(G_i) = t$, maka $\chi(G) \geq \chi(G_i) = t$. Karena $\chi(G) \leq t$ dan $\chi(G) \geq t$, maka $\chi(G) = t$.



Gambar 2.9: Graf G_1 , G_2 , G_3 adalah komponen - komponen dari graf G

Teorema 2.5.3. *Jika H sebuah graf bagian dari graph G . maka $\chi(H) \subseteq \chi(G)$*

Bukti. Misalkan H sebuah graf bagian dari graf G . Berarti $V(H) \subseteq V(G)$ dan $E(H) \subseteq E(G)$. Karena setiap pewarnaan titik H dapat diperluas ke sebuah pewarnaan titik di G , maka $\chi(H) \subseteq \chi(G)$.



Gambar 2.10: Contoh Graf G dan Graf H

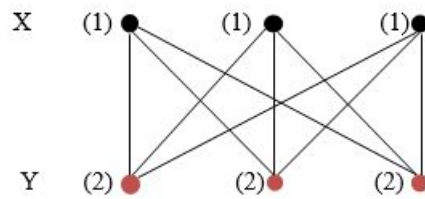
Teorema 2.5.4. *Misalkan G graf tak kosong. Graf G bipartisi jika dan hanya jika $\chi(G) = 2$*

Bukti: $(\Rightarrow)$ Jika G bipartisi maka $\chi(G) = 2$

G bipartisi maka G dapat dipartisi menjadi dua himpunan, misalkan X dan Y . Gunakan warna 1 untuk mewarnai semua titik di X (karena tiap titik di X tidak saling berhubungan). Gunakan warna 2 untuk mewarnai semua titik di Y (karena tiap titik di Y tidak saling berhubungan). Sehingga hanya dibutuhkan 2 warna untuk mewarnai graf G , berarti $\chi(G) = 2$.

($\Leftarrow$) Jika $\chi(G) = 2$ maka G bipartisi

Misalkan semua titik yang diwarnai dengan warna (1) diletakkan dalam himpunan X dan semua titik yang diwarnai dengan warna (2) diletakkan dalam himpunan Y . Berarti titik-titik yang terletak dalam himpunan X tidak mungkin saling berhubungan karena berwarna sama, begitu juga untuk titik-titik yang terletak dalam himpunan Y , tetapi pastilah titik-titik yang terletak dalam himpunan X dan titik-titik yang terletak dalam himpunan Y berhubungan agar terbentuk suatu graf. Sehingga graf yang terbentuk adalah graf bipartisi.



Gambar 2.11: Graf G dengan $\chi(G) = 2$

Teorema 2.5.5. *Jika G graf sederhana dengan derajat maksimum $\Delta(G)$, maka $\chi(G) \leq \Delta(G) + 1$*

Bukti. (dengan induksi)

Misalkan G graf sederhana dengan n simpul, dapat ditulis $|V(G)| = n$

- Untuk $|V(G)| = 1$ maka $G = K_1$ (G graf kosong), sehingga $\chi(G) = 1$ dan $\Delta(G) = 0$. Akibatnya

$$\chi(G) = 1 \leq 0 + 1$$

$$\chi(G) = \Delta(G) + 1$$

Jadi, pernyataan benar untuk $n=1$

- Diasumsikan pernyataan benar untuk graf G dengan $|V(G)| = n - 1$ untuk $n > 1$ dan misalkan G graf sederhana dengan $|V(G)| = n$. Pandang sebarang simpul v di G dan hapus simpul v itu sehingga terbentuk graf baru $G-v$ dengan $n - 1$ simpul. Berdasarkan asumsi, diperoleh $\chi(G - v) \leq \Delta(G - v) + 1$, berarti semua simpul di graf $G-v$ dapat diwarnai dengan $\Delta(G - v) + 1$ warna. Karena simpul v dihapus pada graf G maka $\Delta(G - v) \leq \Delta(G)$.

Dari $\Delta(G - v) \leq \Delta(G)$ terdapat 2 kasus, yaitu:

Kasus 1: $\Delta(G - v) = \Delta(G)$

Karena $\chi(G - v) \leq \Delta(G - v) + 1$, berarti semua titik di $G-v$ dapat diwarnai dengan $\Delta(G - v) + 1$ warna sedemikian hingga syarat pewarnaan terpenuhi. Karena banyaknya warna yang diperlukan untuk mewarnai $N_{G(v)}$ di $G-v$ sebanyak banyaknya $\Delta(G)$, padahal pewarnaan $-(\Delta(G - v) + 1)$ di graf $G-v$, maka terdapat paling sedikit satu warna di $G-v$ yang tidak muncul pada $N_{G(v)}$ di G , sehingga warna tersebut dapat digunakan untuk mewarnai simpul v di G . Diperoleh pewarnaan $-(\Delta(G - v) + 1)$ pada graf G . Akibatnya, berdasarkan definisi bilangan kromatik diperoleh $\chi(G) \leq \Delta(G - v) + 1$

Kasus 2: $\Delta(G - v) < \Delta(G)$

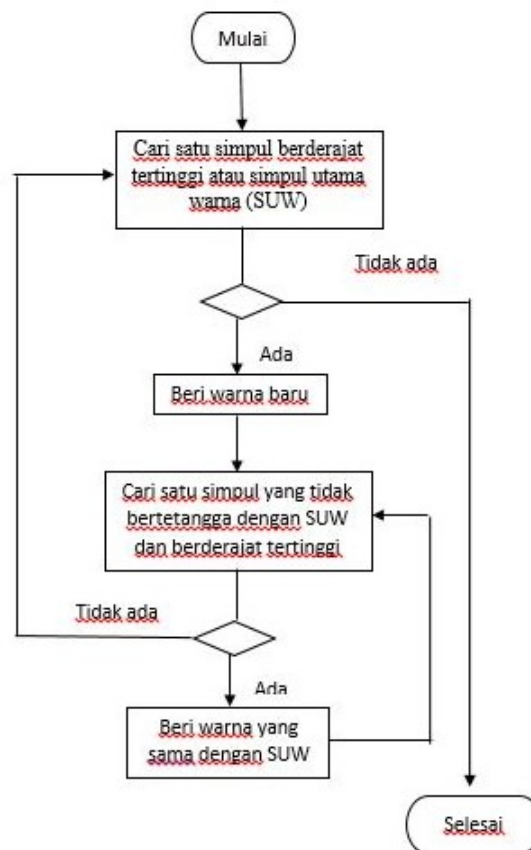
Berdasarkan asumsi diperoleh $\chi(G - v) \leq \Delta(G - v) + 1$. Karena $\chi(G - v) \leq \Delta(G) + 1$ dan $\chi(G - v) \leq \Delta(G)$, maka $\chi(G - v) < \Delta(G) + 1$ atau $\chi(G - v) \leq \Delta(G)$ (karena bilangan kromatik dari graf $G-v$ adalah bilangan bulat). Artinya ada pewarnaan $-\Delta(G)$ pada graf $G-v$. Warnai simpul v di G dengan warna (warna baru) selain warna yang muncul di graf $G-v$ sehingga diperoleh pewarnaan $-\Delta(G) + 1$ pada graf G .

Dari kasus 1 dan kasus 2 , maka diperoleh $\chi(G - v) \leq \Delta(G) + 1$

2.6 Algoritma *Welch-Powell*

Pewarnaan graf adalah metode pewarnaan elemen sebuah graf yang terdiri dari pewarnaan simpul (*vertex*), sisi (*edge*), dan wilayah (*region*). Pewarnaan simpul pada graf dengan memberi warna pada simpul-simpul suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua simpul bertetangga yang memiliki warna yang sama (Asad, 2008).

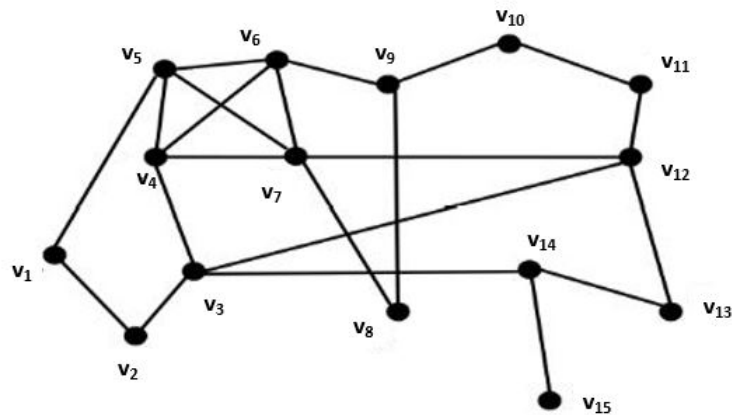
Algoritma *Welch-Powell* tidak selalu memberikan jumlah warna minimum yang diperlukan untuk mewarnai graf, tetapi algoritma ini cukup praktis untuk digunakan dalam pewarnaan simpul sebuah graf. Algoritma *Welch-Powell* hanya cocok digunakan untuk graf dengan orde yang kecil. Langkah-langkah algoritma *Welch-Powell* sebagai berikut:



Gambar 2.12: *Flowchart* Langkah-langkah Algoritma *Welch-Powell*

Algoritma *Welch-Powell* digunakan mewarnai simpul suatu graf berdasarkan derajat tertinggi dari simpul-simpulnya. Selain itu, juga memberikan batas atas jumlah warna yang dapat dipakai untuk mewarnai suatu graf.

Contoh 3. Pewarnaan graf G pada gambar dibawah ini dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*



Gambar 2.13: Graf G

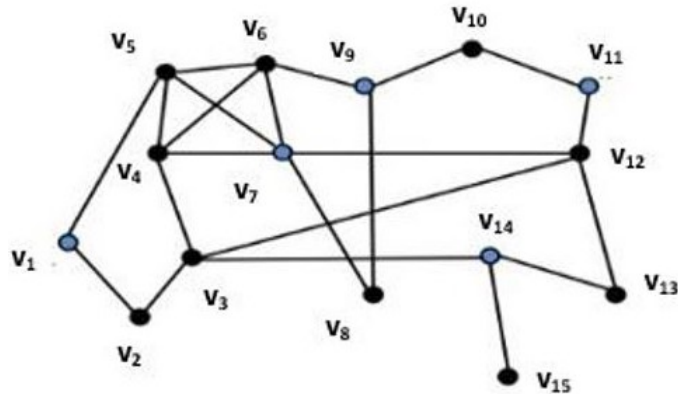
Langkah-langkah penyelesaiannya sebagai berikut:

1. Jumlah simpul graf G pada gambar 2.13 adalah 15. Urutan simpul dari derajat yang tertinggi hingga yang terendah, seperti Tabel 1.

Tabel 2.1: Jumlah derajat simpul graf G

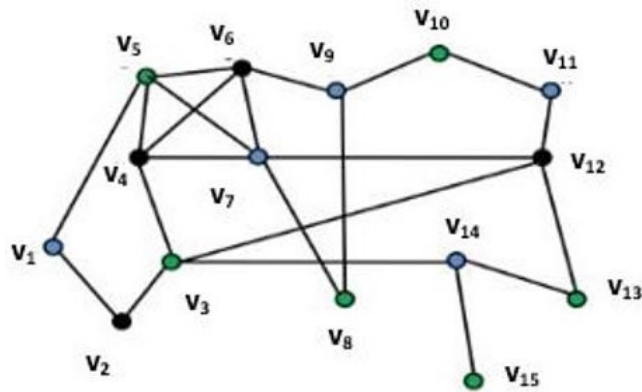
Simpul	v_7	v_3	v_4	v_5	v_6	v_{12}	v_9	v_{14}	v_1	v_2	v_8	v_{10}	v_{11}	v_{13}	v_{15}
Derajat Simpul	5	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	1

2. Karena v_7 mempunyai derajat tertinggi, maka simpul v_7 dapat diwarnai pertama, misalnya dengan warna biru. Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung dengan simpul v_7) diberi warna biru. Simpul v_9, v_{14}, v_1, v_{11} diberi warna yang sama dengan simpul v_7 karena tidak saling *adjacent* dengan simpul v_7 .



Gambar 2.14: Pewarnaan Pertama

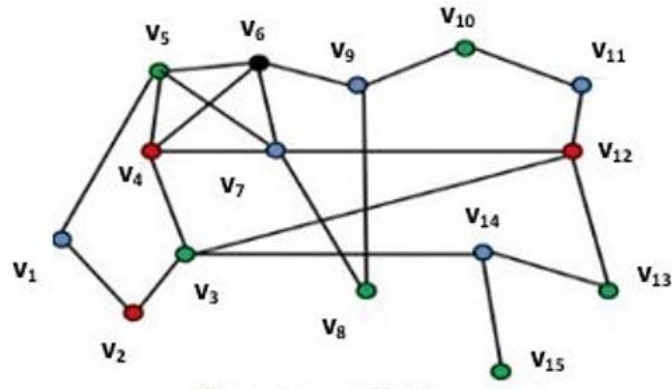
3. Selanjutnya mewarnai simpul v_3 yang merupakan simpul dengan derajat tertinggi berikutnya, misal dengan warna hijau. Warnai simpul v_3 (karena simpul v_3 sekarang diurutan pertama). Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung) dengan simpul v_3 , diberi warna yang sama yaitu warna hijau. Simpul $v_5, v_8, v_{10}, v_{13}, v_{15}$ yang tidak *adjacent* dengan v_3 juga diwarnai warna hijau.



Gambar 2.15: Pewarnaan Kedua

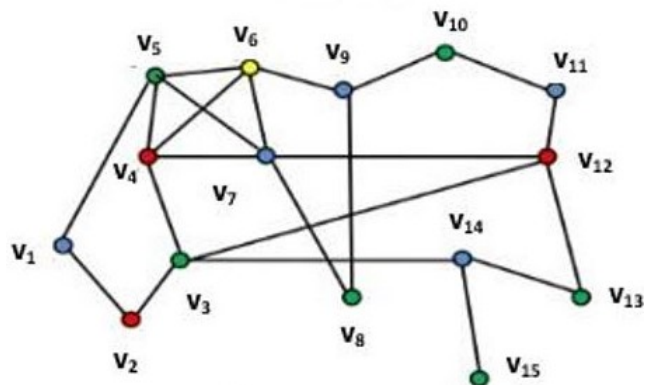
4. Langkah berikutnya mewarnai simpul v_4 yang merupakan simpul dengan derajat tertinggi berikutnya, misal warna merah. Warnai simpul v_4 (karena simpul v_4 sekarang diurutan pertama). Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung) dengan simpul v_4 , diberi warna

yang sama yaitu warna merah. Simpul v_2 dan v_{12} yang tidak saling *adjacent* dengan v_4 juga diwarnai warna merah.



Gambar 2.16: Pewarnaan Ketiga

5. Simpul terakhir yang belum diwarnai adalah v_6 . Karena simpul ini saling *adjacent* dengan simpul v_4 , v_5 dan v_7 maka yang digunakan harus berbeda dengan simpul-simpul tersebut. Jadi v_6 diwarnai dengan warna kuning.



Gambar 2.17: Pewarnaan Keempat

6. Pewarnaan selesai, maka jumlah warna pada graf tersebut sebanyak 4. Jadi, $\chi(G) = 4$

2.7 Teori Transportasi

Transportasi adalah pemindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat yang lainnya dengan menggunakan sebuah wahana yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi digunakan untuk memudahkan manusia dalam melakukan aktifitas sehari-hari. Di negara maju, mereka biasanya menggunakan kereta bawah tanah (*subway*) dan taksi.

Penduduk negara maju jarang yang mempunyai kendaraan pribadi karena mereka sebagian besar menggunakan angkutan umum sebagai transportasi mereka. Transportasi sendiri terdiri dibagi 3, yaitu, transportasi darat, laut, dan udara.

Menurut Abbas Salim (1993), transportasi adalah kegiatan pemindahan barang (muatan) dan penumpang dari suatu tempat ke tempat lain. Melalui transportasi menyebabkan adanya spesialisasi atau pembagian pekerjaan menurut keahlian sesuai dengan budaya, adat istiadat, dan budaya suatu bangsa atau daerah. Pertumbuhan ekonomi suatu negara atau bangsa tergantung pada tersedianya pengangkutan dalam negara atau bangsa yang bersangkutan. Melalui transportasi maka dapat dilihat dua kategori, yaitu:

1. Pemindahan bahan-bahan dan hasil-hasil produksi dengan menggunakan alat angkut.
2. Mengangkut penumpang dari suatu tempat ke tempat lain

Selain itu, dalam transportasi terlihat ada dua unsur yang terpenting yaitu:

1. Pemindahan atau pergerakan (*movement*)
2. Secara fisik mengubah tempat dari barang (komoditi) dan penumpang yang lain

Hal yang sama juga dikemukakan oleh Rustian Kamaluddin (2003), bahwa transportasi adalah mengangkut atau membawa sesuatu barang dari suatu tempat ke tempat lainnya atau dengan kata lain yaitu merupakan suatu pergerakan pemindahan barang barang atau orang dari suatu tempat ke tempat yang lain.

Simpang adalah sutu daerah yang di dalamnya terdapat dua atau lebih cabang jalan yang bertemu/bersilangan, termasuk di dalamnya fasilitas yang diperlukan untuk pergerakan lalu lintas (Morlok,1978). Persimpangan merupakan bagian penting dari suatu jaringan jalan, oleh karena itu efisien dari penggunaan jaringan jalan tergantung dari pelayanan yang diberikan oleh persimpangan baik dari segi keamanan maupun kenyamanan kendaraan.

Persimpangan jalan adalah suatu daerah umum di mana dua atau lebih ruas jalan (*link*) saling bertemu atau berpotongan yang mencakup fasilitas jalur jalan (*roadway*) dan tepi jalan (*road side*), di mana lalu lintas dapat bergerak di dalamnya (Harianto, 2004: 2). Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas menerus. Lalu lintas yang saling memotong pada satu atau lebih dari kaki persimpangan dan mencakup juga pergerakan perputaran.

Pergerakan lalu lintas ini dikendalikan berbagai cara, bergantung pada jenis persimpangannya. Dilihat dari bentuknya ada beberapa macam jenis persimpangan sebidang, sebagai berikut:

1. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabang tiga
2. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabang empat
3. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabang banyak
4. Bundaran (*Rotary Intersection*)

- Efektivitas

Menurut Daryanto, (1998: 300) efektif berarti ada efeknya (akibatnya, pengaruhnya, kesannya), dapat membawa hasil, berhasil guna sedangkan menurut Poerwadarminto dalam Andhi Fajar (2002, 9) efektivitas adalah keberhasilan. Dari pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa efektif berarti tingkat keberhasilan. Jadi yang dimaksud efektivitas penempatan lampu lalu lintas adalah keberhasilan, kesesuaian, ketepatan didirikannya lampu lalu lintas di suatu tempat (persimpangan). Efektif tidaknya lampu lalu lintas pada suatu persimpangan jalan dipengaruhi oleh:

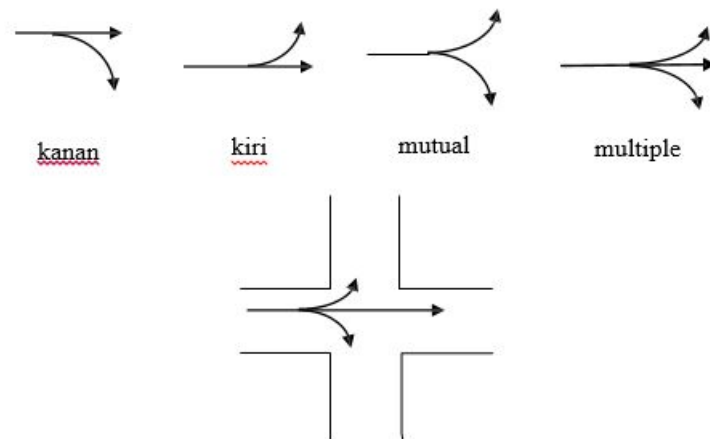
- a. Kondisi lampu lalu lintas
- b. Penempatan, dengan berpedoman pada tiga pertimbangan, yaitu pada (1) kondisi jalan dan lingkungan yang menyangkut kondisi lingkungan, kondisi parkir, median dan hambatan samping, (2) kondisi lalu lintas yang menyangkut kepadatan lalu lintas, (3) aspek keselamatan, keamanan, ketertiban dan kelancaran lalu lintas yang menyangkut tingkat kecelakaan, kemacetan lalu lintas serta tingkat pelanggaran (Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 62 Tahun 1993 Tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas).

2.7.1 Bentuk Alih Gerak (*manuver*)

Melalui sifat dan tujuan gerakan di daerah persimpangan, dikenal beberapa bentuk alih gerak (*manuver*) antara lain: *Diverging* (memisah), *Merging* (menggabung), *Crossing* (memotong), dan *Weaving* (menyilang).

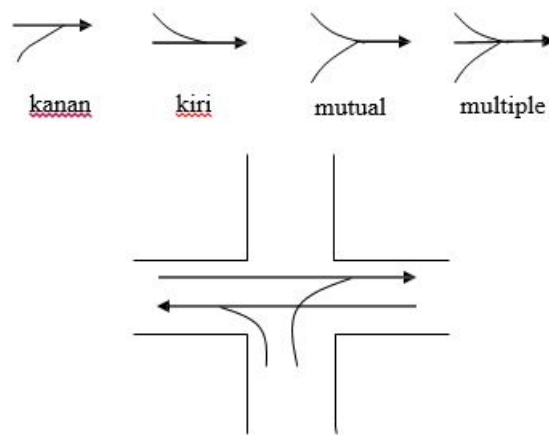
1. *Diverging* (memisah)

Diverging adalah peristiwa memisahkannya kendaraan dari suatu arus yang sama ke jalur yang lain:

Gambar 2.18: Arus Memisah (*Diverging*)

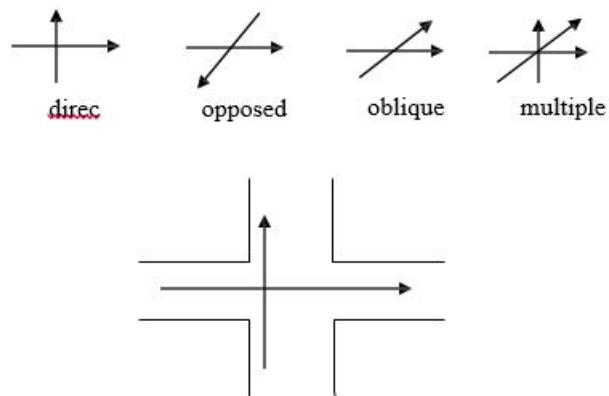
2. *Merging* (menggabungkan)

Merging adalah peristiwa menggabungkannya kendaraan dari suatu jalur ke jalur yang lain:

Gambar 2.19: Arus Menggabung (*Merging*)

3. *Crossing* (memotong)

Crossing adalah peristiwa perpotongan antara arus kendaraan dari satu jalur ke jalur yang lain pada persimpangan perempatan jalan, di mana keadaan yang demikian akan menimbulkan titik konflik pada persimpangan tersebut.

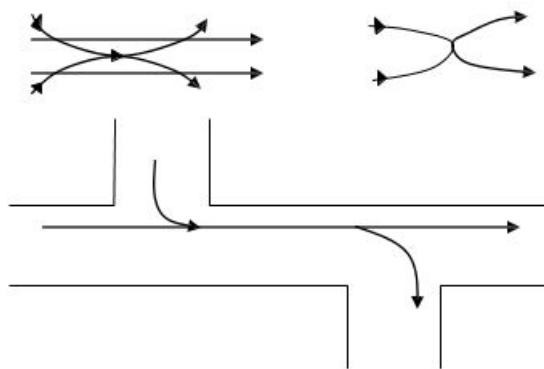


Gambar 2.20: Arus Memotong (*Crossing*)

4. *Weaving* (menyilang)

Weaving adalah pertemuan dua arus lalu lintas atau lebih yang berjalan menurut arah yang sama sepanjang suatu lintasan di jalan raya tanpa bantuan rambu lalu lintas.

Gerakan ini sering terjadi pada suatu kendaraan yang berpindah dari suatu jalur ke jalur lain misalnya pada saat kendaraan masuk ke suatu jalan raya dari jalan masuk, kemudian bergerak ke jalur lainnya untuk mengambil jalan keluar dari jalan raya tersebut keadaan ini juga akan menimbulkan titik konflik pada persimpangan tersebut.



Gambar 2.21: Arus Menyilang (*Weaving*)

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Pada pembahasan ini mengkaji tentang penerapan pewaranaan graf menggunakan algoritma *Welch-Powell* untuk pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan, dengan lokasi penelitian di persimpangan *traffic light* di Matraman Jakarta Timur. Penelitian ini memerlukan data tentang bentuk persimpangan jalan dari lokasi serta menentukan arus yang terjadi pada persimpangan tersebut. Sehingga akan didapat kekeeftiftasan durasi lampu menyala tiap persimpangan.

3.2 Aplikasi Pewarnaan Simpul Pada *Traffic Light* di Persimpangan Jalan

Traffic light yang tersedia di persimpangan jalan mempunyai beberapa tujuan antara lain menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan, memfasilitasi pejalan kaki agar dapat menyebrang dengan aman, dan mengurangi tingkat kecelakaan yang diakibatkan oleh tabrakan karena perbedaan arus jalan. Namun *traffic light* juga memiliki beberapa permasalahan yang perlu segera diselesaikan, salah satunya pengaturan durasi menyala lampu merah dan hijau. Permasalahan ini dikaji melalui pengaturan *traffic light* di Matraman menggunakan prinsip pewarnaan simpul. Untuk lebih jelasnya berikut langkah- langkah aplikasi pewarnaan simpul pada

traffic light di persimpangan jalan, yaitu:

1. Mentransformasi persimpangan jalan beserta arusnya ke bentuk graf. Simpul merepresentasikan arus dan garis merepresentasikan arus-arus yang *uncompatible*, artinya arus-arus yang tidak boleh berjalan bersamaan, yang selanjutnya simpul-simpul tersebut saling dihubungkan.
2. Mewarnai setiap simpul pada graf dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Selain untuk mengetahui arus mana saja yang bisa berjalan bersamaan, diperoleh juga jumlah bilangan kromatik yang akan bermanfaat pada tahap berikutnya.
3. Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu hijau dan lampu merah menyala dengan siklus waktu tertentu, caranya dengan membagi satu siklus yang terdiri dari total durasi lampu merah dan lampu hijau menyala dengan bilangan kromatik yang telah diperoleh dari langkah 2, hasil pembagiannya menunjukkan durasi lampu hijau menyala.

Langkah selanjutnya adalah menghitung tingkat keefektifitasan dari data primer yang didapat melalui hasil pengambilan data di persimpangan *traffic light* Matraman.

3.3 Tahap Pengambilan Data

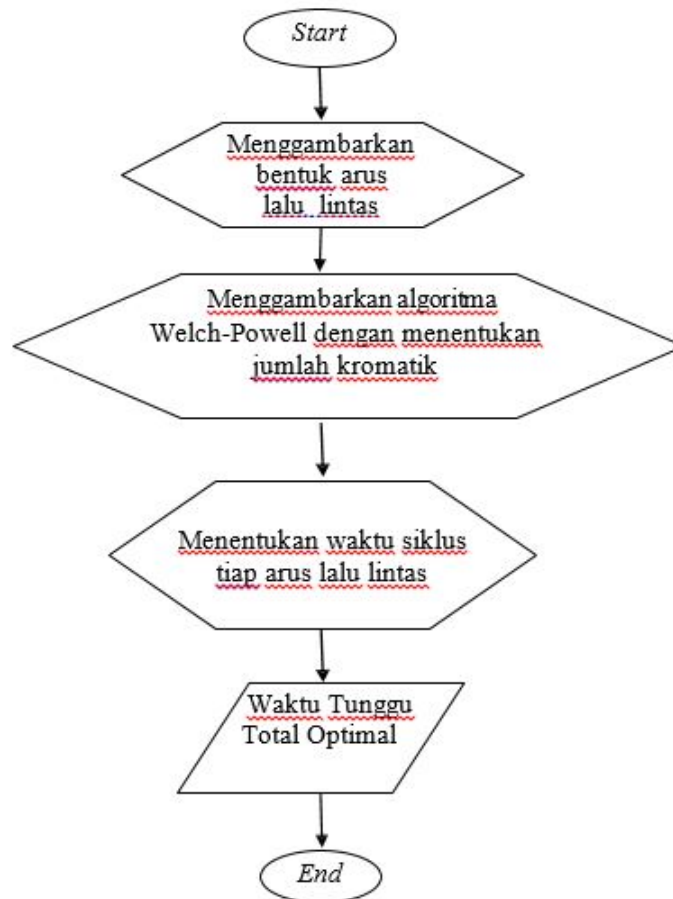
Langkah pertama adalah menentukan lokasi penelitian. Penelitian dilaksanakan di persimpangan jalan Matraman Jakarta Timur. Pada penelitian ini, dibuat penerapan pewarnaan graf menggunakan algoritma *Welch-Powell* untuk menentukan waktu tunggu total optimal *traffic light* dan program simulasi untuk menggambarkan keadaan yang mirip dengan objek penelitian, yaitu persimpangan simpang empat jalan Matraman Jakarta Timur.

Selanjutnya gambar persimpangan tersebut diubah ke bentuk pewarnaan graf menggunakan algoritma *Welch-Powell*, kemudian dilakukan proses untuk mencari beberapa arah yang dapat berjalan secara bersamaan dengan aman dan konsisten berdasarkan waktu tunggu tiap jalur.

Asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada *busway*
2. Boleh belok kiri langsung dan lampu kuning sejalan dengan lampu merah
3. Data yang diamati pada tiap ruas jalan dari dua arah hanya kendaraan bermotor dan roda empat, sedangkan pejalan kaki dan penyeberang jalan diabaikan.
4. Tidak ada *fly over*
5. Pengguna jalan menaati peraturan lalu lintas sehingga tidak ada pelanggaran
6. Jalur cepat dan jalur lambat dianggap sama
7. Arus lalu lintas yang diamati yaitu yang berbelok kiri mengikuti lampu.

3.4 Diagram Alur (*Flowchart*)



Gambar 3.1: Diagram Alur (*Flowchart*)

3.5 Gambar Sistem Arus Lalu Lintas

Jika akan menggambar arus lalu lintas perlu melakukan observasi awal untuk menentukan banyaknya lintasan yang diperbolehkan melintas pada persimpangan tersebut dan arus-arus yang saling melintas pada persimpangan *traffic light* Matraman.

Keadaan *traffic light* di perempatan Matraman jika dilihat pada waktu tertentu terlihat begitu padat. Setelah dilakukan pengamatan terjadi kesa-

lahan pada pengaturan *traffic light* dimana pada saat lampu hijau dari arah Jatinegara dan dari arah Salemba menyala bersamaan. Hal ini dapat memungkinkan terjadinya tabrakan.

Selain itu, pengaturan waktu yang tidak sesuai pada waktu tertentu. Permasalahan tersebut akan dibuat solusi menggunakan konsep dasar teori graf dengan mengatur *traffic light* pada perempatan Matraman serta mengatur waktu agar menghasilkan waktu yang optimal. Kondisi *traffic light* Matraman terlihat pada Gambar 3.2



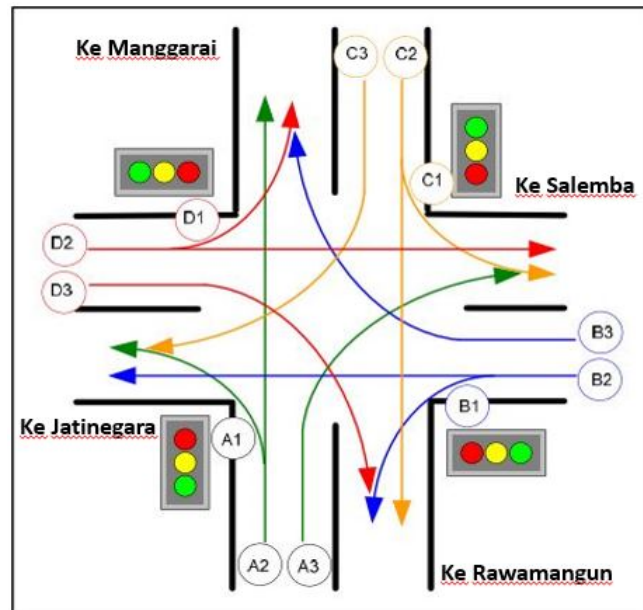
Gambar 3.2: Kondisi *Traffic Light* Matraman

Setelah melihat bagaimana kondisi *traffic light* Matraman seperti yang di tunjukkan pada Gambar 3.2 tersebut. Selanjutnya dilakukan ilustrasi *scats* tiap persimpangan yang terdapat di *traffic light* Matraman. Ilustrasi pada *traffic light* terlihat pada Gambar 3.3

Keterangan:

Jalur yang bisa digunakan untuk melintas pada *traffic light* Gambar 3.3, yaitu:

1. A_1 = arus dari Rawamangun menuju Jatinegara
- A_2 = arus dari Rawamangun menuju Manggarai
- A_3 = arus dari Rawamangun menuju Salemba



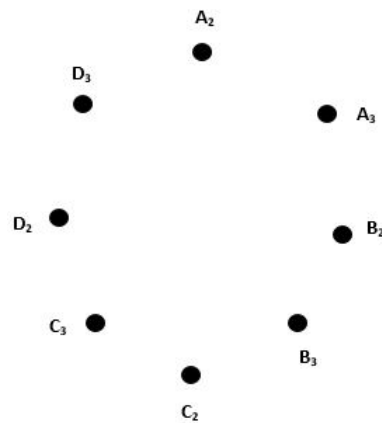
Gambar 3.3: Ilustrasi *Traffic Light* Matraman

2. B_1 = arus dari Salemba menuju Rawamangun
 B_2 = arus dari Salemba menuju Jatinegara
 B_3 = arus dari Salemba menuju Manggarai
3. C_1 = arus dari Manggarai menuju Salemba
 C_2 = arus dari Manggarai menuju Rawamangun
 C_3 = arus dari Manggarai menuju Jatinegara
4. D_1 = arus dari Jatinegara menuju Manggarai
 D_2 = arus dari Jatinegara menuju Salemba
 D_3 = arus dari Jatinegara menuju Rawamangun

3.6 Menentukan Urutan *Traffic Light* dengan Teknik Pewarnaan

Langkah langkah pewarnaan graf untuk perempatan Matraman sebagai berikut:

1. Membuat simpul-simpul sebagai tanda dari semua jalur yang bisa dilewati dalam perempatan jalan. Letak dari simpul-simpul tersebut bebas, tidak ada aturan tertentu untuk mengharuskan simpul harus diletakkan di posisi mana karena hal itu tidak terlalu berpengaruh



Gambar 3.4: Simpul arah jalur yang dilewati

Keterangan:

A_2 = arus dari Rawamangun menuju Manggarai

A_3 = arus dari Rawamangun menuju Salemba

B_2 = arus dari Salemba menuju Jatinegara

B_3 = arus dari Salemba menuju Manggarai

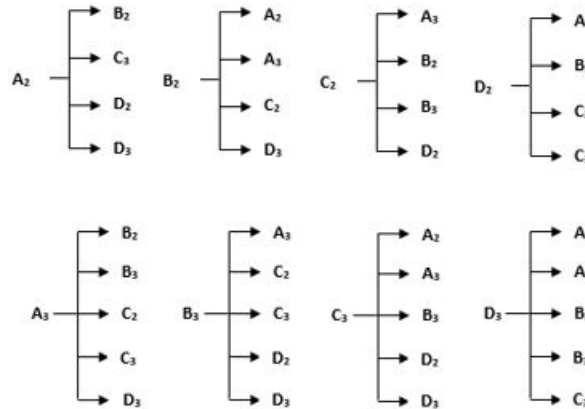
C_2 = arus dari Manggarai menuju Rawamangun

C_3 = arus dari Manggarai menuju Jatinegara

D_2 = arus dari Jatinegara menuju Salemba

D_3 = arus dari Jatinegara menuju Rawamangun

2. 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 3.5: Sisi penghubung simpul yang akan melintas

Keterangan:

Arus-arus yang *uncompatible* (tidak boleh berjalan bersamaan) pada gambar 3.5, antara lain:

Arus A_2 tidak boleh berjalan bersamaan dengan B_2 , C_3 , D_2 , D_3 .

Arus A_3 tidak boleh berjalan bersamaan dengan B_2 , B_3 , C_2 , C_3 , D_3 .

Arus B_2 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_2 , A_3 , C_2 , D_3 .

Arus B_3 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_3 , C_2 , C_3 , D_2 , D_3 .

Arus C_2 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_3 , B_2 , B_3 , D_2 .

Arus C_3 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_2 , A_3 , B_3 , D_2 , D_3 .

Arus D_2 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_2 , B_3 , C_2 , C_3 .

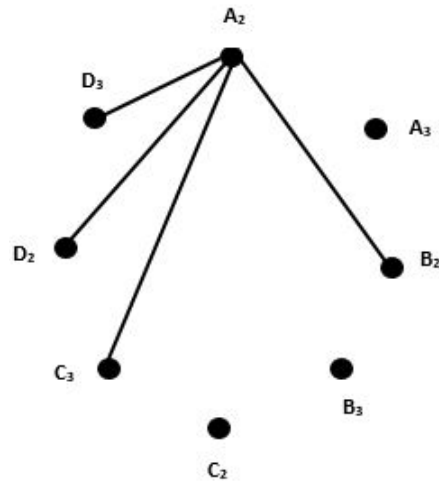
Arus D_3 tidak boleh berjalan bersamaan dengan A_2 , A_3 , B_2 , B_3 , C_3 .

3. Membuat simpul-simpul penghubung setiap arah

- Pertama, pilih simpul A_2 (arus dari Rawamangun menuju Manggarai).

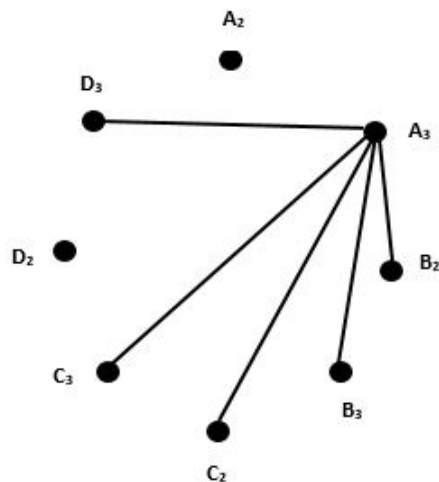
Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul B_2 , C_3 , D_2 , D_3 .

Berikut disajikan pada Gambar 3.6 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul A_2 .



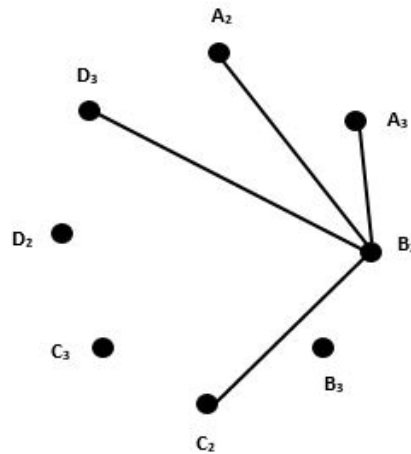
Gambar 3.6: Simpul jalur A_2

- Kedua, pilih simpul A_3 (arus dari Rawamangun menuju Salemba). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul B_2 , B_3 , C_2 , C_3 , D_3 . Berikut disajikan pada Gambar 3.7 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul A_3 .



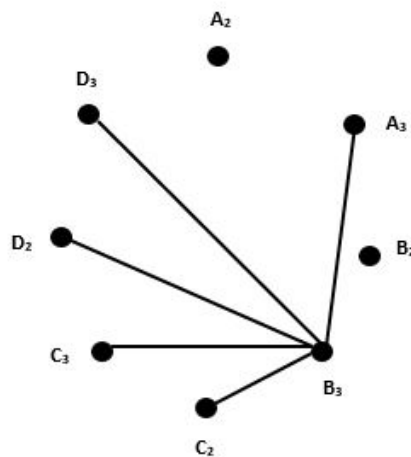
Gambar 3.7: Simpul jalur A_3

- Ketiga, pilih simpul B_2 (arus dari Salemba menuju Jatinegara). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_2 , A_3 , C_2 , D_3 . Berikut disajikan pada Gambar 3.8 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul B_2 .



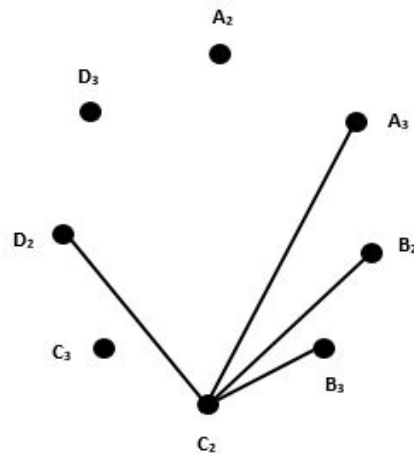
Gambar 3.8: Simpul jalur B_2

- Keempat, pilih simpul B_3 (arus dari Salemba menuju Manggarai). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_3 , C_2 , D_2 , D_3 . Berikut disajikan pada Gambar 3.9 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul B_3 .



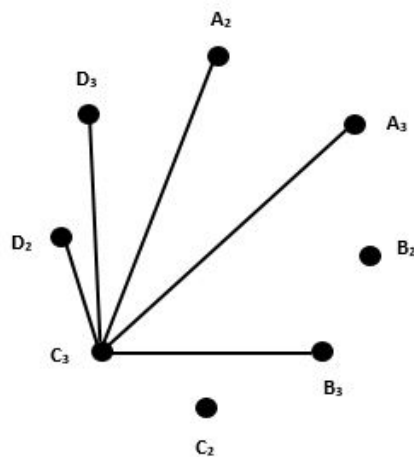
Gambar 3.9: Simpul jalur B_3

- Kelima, pilih simpul C_2 (arus dari Manggarai menuju Rawamangun). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_3 , B_2 , B_3 , D_2 . Berikut disajikan pada Gambar 3.10 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul C_2 .



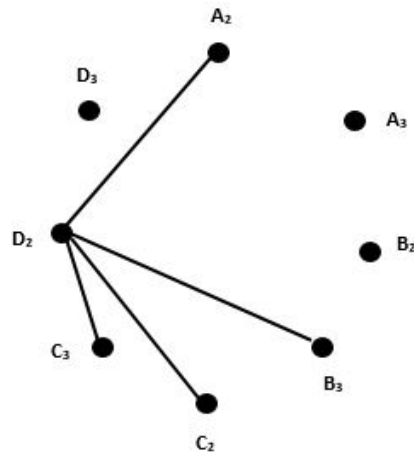
Gambar 3.10: Simpul jalur C_2

- Keenam, pilih simpul C_3 (arus dari Manggarai menuju Jatinegara). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_2 , A_3 , B_3 , D_2 , D_3 . Berikut disajikan pada Gambar 3.11 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul C_3 .



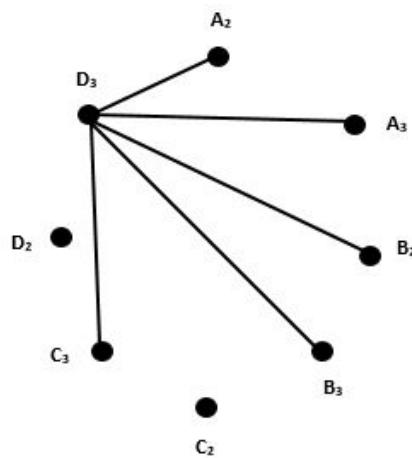
Gambar 3.11: Simpul jalur C_3

- Ketujuh, pilih simpul D_2 (arus dari Jatinegara menuju Salemba). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_2 , B_3 , C_2 , C_3 . Berikut disajikan pada Gambar 3.12 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul D_2 .



Gambar 3.12: Simpul jalur D_2

- Kedelapan, pilih simpul D_3 (arus dari Jatinegara menuju Rawamangun). Maka simpul tersebut akan bertabrakan dengan simpul A_2 , A_3 , B_2 , B_3 , C_3 . Berikut pada Gambar 3.13 simpul-simpul yang akan bertabrakan dengan simpul D_3 .



Gambar 3.13: Simpul jalur D_3

3.7 Teknik Pewarnaan Menggunakan Algoritma *Welch-Powell*

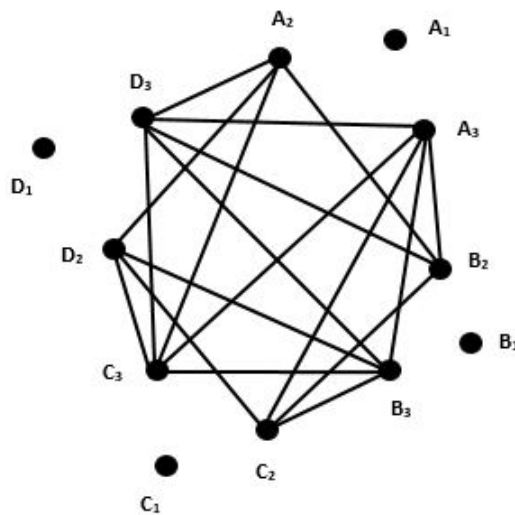
Setelah menghubungkan semua simpul (jalur) yang saling berseberangan. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah memberi warna pada masing-masing simpul lainnya dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Langkah-langkah penyelesaiannya sebagai berikut:

1. Jumlah simpul graf pada Gambar 3.4 adalah 8. Urutkan derajat yang tertinggi hingga yang terendah, seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Bilangan Kromatik

Simpul	A_3	B_3	C_3	D_3	A_2	B_2	C_2	D_2	A_1	B_1	C_1	D_1
Derajat Simpul	5	5	5	5	4	4	4	4	0	0	0	0

2. Mentransformasikan persimpangan *traffic light* Matraman ke bentuk graf



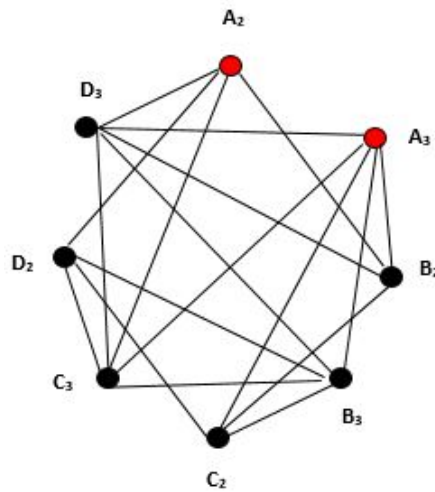
Gambar 3.14: Graf Simpang 4 Matraman

Melalui transformasi graf pada Gambar 3.14 diketahui bahwa simpul A_1 , B_1 , C_1 , D_1 , merupakan simpul-simpul yang saling asing. Ini berarti arus yang dinyatakan A_1 , B_1 , C_1 , D_1 dapat langsung beriringan dengan arus lain.

Jadi, untuk arus yang dinyatakan oleh A_1 , B_1 , C_1 , D_1 selalu berlampu hijau. Selanjutnya untuk simpul yang tersisa akan diberi warna dengan algoritma *Welch-Powell*.

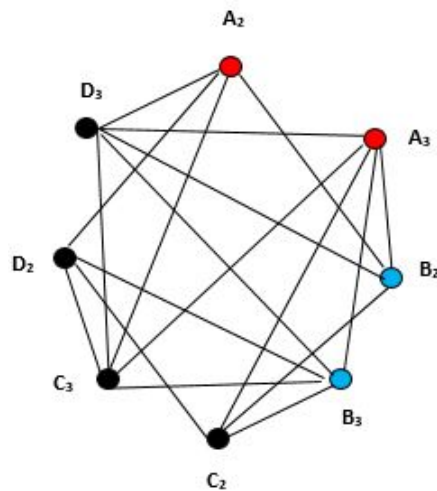
3. Setelah menghubungkan semua simpul (jalur) yang saling berseberangan. Langkah selanjutnya yaitu mewarnai graf dengan algoritma *Welch-Powell* untuk mencari bilangan kromatik.

- Karena A_3 mempunyai derajat tertinggi, maka simpul A_3 dapat diwarnai pertama, misalnya dengan warna merah. Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung dengan simpul A_3) diberi warna merah. Simpul A_2 diberi warna yang sama dengan simpul A_3 karena tidak saling *adjacent* dengan simpul A_3 .



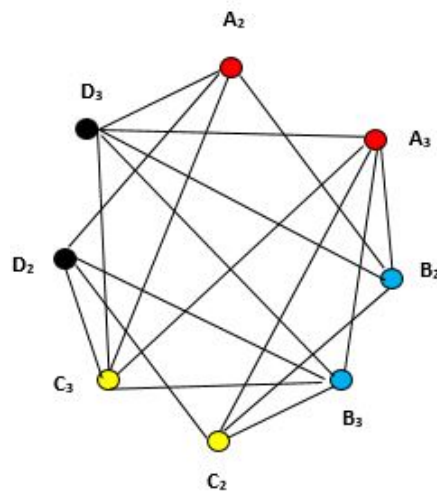
Gambar 3.15: Pewarnaan Pertama

- Selanjutnya mewarnai simpul B_3 yang merupakan simpul dengan derajat tertinggi berikutnya, misal dengan warna biru. Warnai simpul B_3 (karena simpul B_3 sekarang diurutan pertama). Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung) dengan simpul B_3 , diberi warna yang sama yaitu warna hijau. Simpul B_2 yang tidak *adjacent* dengan B_3 juga diwarnai warna biru.



Gambar 3.16: Pewarnaan Kedua

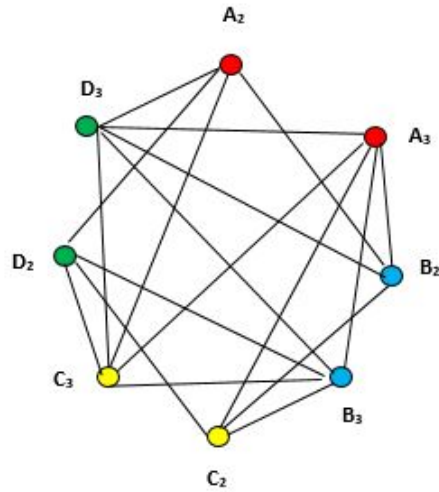
- Langkah berikutnya mewarnai simpul C_3 sebagai simpul dengan derajat tertinggi berikutnya dengan warna kuning. Begitu juga simpul C_2 yang tidak saling *adjacent* dengan C_3 .



Gambar 3.17: Pewarnaan Ketiga

- Simpul terakhir yang belum diwarnai adalah D_3 , misal diberi warna hijau. Kemudian cari simpul yang tidak berdampingan (tidak terhubung) dengan simpul D_3 , sehingga diberi warna yang sama yaitu warna hijau. Karena Simpul D_2 yang tidak saling bertetangga (*adjacent*) dengan D_3 juga diwarnai warna

hijau.



Gambar 3.18: Pewarnaan Keempat

Melalui pewarnaan graf pada Gambar 3.18 diperoleh bilangan kromatik sebanyak 4 dan arus-arus yang dapat berjalan bersamaan terlihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2: Warna Simpul Graf *Traffic Light* Matraman

Warna	Simpul
Merah	A_2, A_3
Biru	B_2, B_3
Kuning	C_2, C_3
Hijau	D_2, D_3

Melalui tabel 3.2, dapat dibentuk partisi pengaturan lalu lintas sebagai berikut.

1. Partisi pertama, arus A_2 berjalan bersamaan dengan arus A_3
2. Partisi kedua, arus B_2 berjalan bersamaan dengan arus B_3
3. Partisi ketiga, arus C_2 berjalan bersamaan dengan arus C_3
4. Partisi keempat, arus D_2 berjalan bersamaan dengan arus D_3

3.8 Menghitung Alternatif Penyelesaian Durasi *Traffic Light*

1. Pagi Hari

Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu merah dan lampu hijau menyala. Berikut diberikan hasil pengambilan data primer pada persimpangan *traffic light* Matraman di waktu pagi hari pada Tabel 3.3

Tabel 3.3: Data Primer Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	329	31	360
Jatinegara	139	221	360
Manggarai	330	30	360
Salemba	257	103	360
Total	1055	385	1440

Berdasarkan data primer pada Tabel 3.3 memiliki waktu satu siklus 360 detik, merujuk pada jurnal Meilana dan Maryono (2014). Langkah selanjutnya adalah melakukan pembagian dengan bilangan kromatik yaitu 4, sehingga diperoleh hasil durasi lampu hijau menyala dan durasi lampu merah menyala pada Tabel 3.4 melalui alternatif penyelesaian.

Tabel 3.4: Alternatif Penyelesaian Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi waktu total = 360 detik Bilangan Kromatik=4		
	Lampu Lalin	Perhitungan	Hasil (detik)
Rawamangun	Hijau	$360/4$	90
	Merah	$329-90$	239
Jatinegara	Hijau	$360/4$	90
	Merah	$139-90$	49
Manggarai	Hijau	$360/4$	90
	Merah	$330-90$	240
Salemba	Hijau	$360/4$	90
	Merah	$257-90$	167

Setelah dilakukan dengan alternatif penyelesaian untuk mencari solusi efektivitas pada *traffic light* Matraman, maka didapat hasil data *traffic light* baru hasil perhitungan di persimpangan Matraman yang disajikan pada Tabel 3.5 berikut

Tabel 3.5: Data Baru Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	239	90	329
Jatinegara	49	90	139
Manggarai	240	90	330
Salemba	167	90	257
Total	695	360	1055

Berdasarkan durasi lampu merah dan lampu hijau di persimpangan Matraman dapat diketahui bahwa data baru hasil penyelesaian kasus pengaturan *traffic light* persimpangan Matraman dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* berselisih angka yang tidak terlalu banyak pada data primer. Berikut disajikan data primer dan data baru *traffic light* Matraman pada Tabel 3.6

Tabel 3.6: Data Primer dan Data Baru *Traffic Light* Matraman

Kaki Simpang	Data Primer		Data Baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Rawamangun	329	31	238	90
Jatinegara	139	221	49	90
Manggarai	330	30	240	90
Salemba	257	103	167	90
Total	1055	385	695	360

Berdasarkan Tabel 3.6, durasi total lampu hijau menyala dari data primer adalah 385 detik, sedangkan dengan pewarnaan simpul durasi total lampu menyala adalah 360 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitasnya didapat yaitu:

$$Hijau = \frac{385-360}{360}.100\% = 6,94\%$$

Berdasarkan Tabel 3.6, durasi total lampu merah menyala dari data primer adalah 1055 detik, sedangkan dengan pewarnaan simpul durasi total lampu menyala adalah 695 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitasnya didapat yaitu:

$$Merah = \frac{1055-695}{695}.100\% = 51,79\%$$

Jadi, untuk kasus pada persimpangan *traffic light* Matraman di pagi hari. Dapat disimpulkan bahwa durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 6,94%, sedangkan durasi lampu merah menyala dapat dikurangi sebesar 51,79%.

2. Siang Hari

Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu merah dan lampu menyala pada persimpangan *traffic light* Matraman. Berikut diberikan hasil pengambilan data primer pada persimpangan *traffic light* di Matraman di waktu siang hari pada pukul 12.30-13.30 WIB terlihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.7: Data Primer Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	326	26	352
Jatinegara	244	108	352
Manggarai	300	52	352
Salemba	208	144	352
Total	1078	330	1408

Berdasarkan data primer pada Tabel 3.7 terlihat bahwa memiliki waktu satu siklus 352 detik, merujuk pada jurnal penelitian oleh Meilana dan Maryono (2014). Langkah selanjutnya adalah melakukan pembagian dengan bilangan kromatik yaitu 4, sehingga diperoleh hasil durasi lampu hijau menyala dan durasi lampu merah menyala di persimpangan *traffic light* Matraman

maka terlihat pada Tabel 3.8 melalui alternatif penyelesaian.

Tabel 3.8: Alternatif Penyelesaian Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi waktu total = 352 detik Bilangan Kromatik=4		
	Lampu Lalin	Perhitungan	Hasil (detik)
Rawamangun	Hijau	352/4	88
	Merah	326-88	238
Jatinegara	Hijau	352/4	88
	Merah	244-88	156
Manggarai	Hijau	352/4	88
	Merah	300-88	212
Salemba	Hijau	352/4	88
	Merah	208-88	120

Setelah dilakukan dengan alternatif penyelesaian untuk mencari solusi tingkat efektifitas pada *traffic light* Matraman, maka didapat hasil data *traffic light* baru hasil perhitungan di persimpangan Matraman yang disajikan pada Tabel 3.9 berikut

Tabel 3.9: Data Baru Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	238	88	326
Jatinegara	156	88	244
Manggarai	212	88	300
Salemba	120	88	208
Total	726	352	1078

Berdasarkan durasi menyala lampu merah dan lampu hijau di persimpangan *traffic light* Matraman, maka dapat diketahui bahwa data baru hasil penyelesaian kasus pengaturan *traffic light* persimpangan Matraman dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* berselisih angka yang tidak terlalu banyak pada data primer yang telah di dapat melalui hasil observasi lapangan. Berikut disajikan data primer dan data baru *traffic light* Matraman pada Tabel

Tabel 3.10: Data Primer dan Data Baru *Traffic Light* Matraman

Kaki Simpang	Data Primer		Data Baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Rawamangun	326	26	238	88
Jatinegara	244	108	156	88
Manggarai	300	52	212	88
Salemba	208	144	120	88
Total	1078	330	726	352

Berdasarkan Tabel 3.10 yang disajikan, terlihat bahwa durasi total lampu hijau menyala dari data primer adalah 330 detik, sedangkan dengan menggunakan pewarnaan simpul di dapat bahwa durasi total lampu menyala adalah 352 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitas durasi lampu hijau adalah:

$$Hijau = \frac{352-330}{330}.100\% = 6,67\%$$

Berdasarkan Tabel 3.10 yang disajikan, terlihat bahwa durasi total lampu merah menyala dari data primer adalah 1078 detik, sedangkan dengan menggunakan pewarnaan simpul di dapat bahwa durasi total lampu menyala adalah 726 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitas durasi lampu merah adalah:

$$Merah = \frac{1078-726}{726}.100\% = 48,48\%$$

Jadi, untuk kasus pada persimpangan *traffic light* Matraman di siang hari. Dapat di simpulkan bahwa durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 6,67%, sedangkan durasi lampu merah menyala dapat dikurangi sebesar 48,48%.

3. Malam Hari

Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu merah dan lampu menyala pada persimpangan *traffic light* Matraman. Berikut diberikan hasil pengambilan data primer yang telah di dapat dari hasil observasi lapangan pada persimpangan *traffic light* Matraman di waktu malam hari pukul 18.30-

19.30 WIB pada Tabel 3.11

Tabel 3.11: Data Primer Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	345	12	357
Jatinegara	294	63	357
Manggarai	307	50	357
Salemba	160	197	357
Total	1106	322	1428

Berdasarkan data primer pada Tabel 3.11 terlihat bahwa memiliki waktu satu siklus 357 detik, merujuk pada jurnal Meilana dan Maryono (2014). Langkah selanjutnya adalah melakukan pembagian dengan bilangan kromatik yaitu 4, sehingga diperoleh hasil durasi lampu hijau menyala dan durasi lampu merah menyala di persimpangan *traffic light* Matraman maka terlihat pada Tabel 3.12 melalui alternatif penyelesaian.

Tabel 3.12: Alternatif Penyelesaian Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi waktu total = 357 detik Bilangan Kromatik=4		
	Lampu Lalin	Perhitungan	Hasil (detik)
Rawamangun	Hijau	$357/4$	89,25
	Merah	$345-89,25$	255,75
Jatinegara	Hijau	$357/4$	89,25
	Merah	$294-89,25$	204,75
Manggarai	Hijau	$357/4$	89,25
	Merah	$307-89,25$	217,75
Salemba	Hijau	$357/4$	89,25
	Merah	$160-89,25$	70,75

Setelah dilakukan dengan alternatif penyelesaian untuk mencari solusi tingkat efektivitas pada *traffic light* Matraman, maka didapat hasil data *traffic light* baru hasil perhitungan di persimpangan Matraman yang disajikan pada Tabel 3.13 berikut

Tabel 3.13: Data Baru Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	255,75	89,25	345
Jatinegara	204,75	89,25	294
Manggarai	217,75	89,25	307
Salemba	70,75	89,25	160
Total	749	357	1106

Berdasarkan durasi lampu merah dan lampu hijau di persimpangan Matraman dapat diketahui bahwa data baru hasil penyelesaian kasus pengaturan *traffic light* persimpangan Matraman dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* berselisih angka yang tidak terlalu banyak pada data primer.

Berikut disajikan data primer dan data baru *traffic light* Matraman pada Tabel 3.14

Tabel 3.14: Data Primer dan Data Baru *Traffic Light* Matraman

Kaki Simpang	Data Primer		Data Baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Rawamangun	345	12	255,75	89,25
Jatinegara	294	63	204,75	89,25
Manggarai	307	50	217,75	89,25
Salemba	160	197	70,75	89,25
Total	1106	322	749	357

Berdasarkan Tabel 3.14 yang disajikan, terlihat bahwa durasi total lampu hijau menyala dari data primer hasil observasi lapangan adalah 322 detik, sedangkan dengan menggunakan pewarnaan simpul di dapat bahwa durasi total lampu menyala adalah 357 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitas durasi lampu hijau didapat yaitu:

$$Hijau = \frac{357-322}{322} \cdot 100\% = 10,86\%$$

Berdasarkan Tabel 3.14 yang disajikan, terlihat bahwa durasi total lampu merah menyala dari data primer hasil observasi lapangan adalah 1106

detik, sedangkan dengan menggunakan pewarnaan simpul di dapat bahwa durasi total lampu menyala adalah 749 detik. Sehingga untuk mencari tingkat efektivitas durasi lampu merah didapat yaitu:

$$Merah = \frac{1106-749}{749}.100\% = 47,66\%$$

Jadi, unntuk kasus pada persimpangan *traffic light* Matraman di siang hari. Durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 10,86%, sedangkan durasi lampu merah menyala dapat dikurangi sebesar 47,66%.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pewarnaan simpul dengan algoritma *Welch-Powell* dapat diaplikasikan untuk menyelesaikan perhitungan durasi waktu pada *traffic light*. Langkah yang ditempuh yaitu dengan mentransformasi persimpangan jalan beserta arusnya ke bentuk graf. Simpul merepresentasikan arus dan garis merepresenrasikan arus yang *uncompatible*. Selanjutnya warnai simpul pada graf dengan algoritma *Welch-Powell* untuk mengetahui arus yang dapat berjalan bersamaan dan memperoleh bilangan kromatik yang berfungsi untuk menentukan alternatif penyelesaian durasi waktu *traffic light*.
2. Penyelesaian perhitungan durasi waktu pada *traffic light* dengan pewarnaan simpul memberikan alternatif hasil yang lebih efektif sehingga didapatkan tingkat keefektifitasan sebagai berikut:
 - Untuk kasus pada simpang Matraman di pagi hari. Durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 6,94%, sedangkan durasi lampu merah menyala dapat dikurangi sebesar 51,79%.
 - Untuk kasus pada simpang Matraman di siang hari. Durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 6,67%, sedangkan durasi lampu

merah menyala dapat dikurangi sebesar 48,48%.

- Untuk kasus pada simpang Matraman di malam hari. Durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 10,86%, sedangkan durasi lampu merah menyala dapat dikurangi sebesar 47,66%.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan program komputer agar penyelesaian masalah pewarnaan simpul pada *traffic light* dapat lebih singkat
2. Melalui penerapan algoritma *Welch-Powell* merupakan salah satu langkah praktis dalam hal pengaturan *traffic light* dan juga dapat diimplementasikan pada persimpangan *traffic light* yang lainnya.
3. Untuk mengurangi kemacetan yang ada maka pemerintah harus lebih teliti dalam melihat kondisi jalan di sekitar lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- As'ad, Nabila. 2008. *Aplikasi Pewarnaan Graf pada Pemecahan Masalah Penyusunan Jadwal*. Fakultas Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Baruah, A.K, & Baruah, Niky, 2012, *Signal Group of Compatible Graph in Traffic Control Problems*, *Int. J Advanced Networking and Applications*, Vol: 04 Issue: 01 Pages: 1473-1480 ISSN: 0975-0290
- Christine,L. Swarintha. 2010. *Implementasi Algoritma Pewarnaan Graf Pada Persoalan Penjadwalan Ujian*. Skripsi. Departemen Matematika. Universitas Indonesia. Depok.
- Daryanto. 1998. *Administrasi Pendidikan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Direktoral Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. 1970. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1970*.
- Gould, Ronald. 1988. *Graph Theory*. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company.
- Hariyanto, J. 2004. Sistem Pengendalian Lalu Lintas Pada Pertemuan Jalan Sebidang. Sumatera Utara: *Jurnal Jurusan Teknil Sipil Universitas Sumatera Utara*
- Hobbs,F.D. 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 62 Tahun 1993 Tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.
- Komaluddin, Rustian. 2003. *Ekonomi Transportasi Karakteristik, Teori dan Kebijakan*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Meiliana, C.H. & Maryono D, 2014, *Aplikasi Pewarnaan Graf untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light di Sukoharjo*, JIPTEK, Vol.VII No.1

- Morlok, E.K. 1978. *Pengantar Teknik dan Perancangan Transportasi*. Jakarta: Erlangga.
- Munir, R. 2005. *Matematika Diskrit*. Bandung: Informatika.
- Nugroho, A. D. 2008. *Analisis Penerapan Belok Kiri Langsung Terhadap Tundaan Lalu Lintas Pada Pendekat Persimpangan Bersinyal*. Tesis, Semarang: Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Nurhalim, M. Dede. 2013. *Pelabelan Total Simpul Ajaib Pada Graf*. Skripsi. Program Studi Matematika . Universitas Negeri Jakarta.
- Permana, Agus A. 2009. *Penerapan Algoritma Welch Powell Pada Penyusunan Jadwal Kuliah*. Skripsi. Program Studi Matematika. Universitas Negeri Jakarta.
- Pramodya, Lingga. 2011. *Penyelesaian Masalah Quadratic Minimum Spanning Tree Dengan Algoritma Prim*. Skripsi. Program Studi Matematika. Universitas Negeri Jakarta.
- Purnamasari, D., M.Z Ilman, & D. Wulandari, 2012, *Algoritma Welch-Powell Untuk Pengendalian Lampu Lalu Lintas*, UG Jurnal, Vol: 06 No. 03 Pages: 1-7 ISSN: 1978-4783
- Poerwadarminto. 2002. *Kamus Umum Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Rosen, K.H. 1996. *Discrete Mathematics and Its Applications (sixth edition)*. McGraw Hill, New York.
- Salim, Abbas. 2000. *Manajemen Transportasi*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Wilson, R. J. & Watkins, J. J. 1976. *Graphs An Introductory Approach*. New York: Published Simultancously in Canada.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengambilan Data Kesatu di Persimpangan Matraman

1. Pengambilan Data I Pagi Hari (Selasa, 17 Mei 2016)

Tabel 4.1: Data Primer Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	329	31	360
Jatinegara	139	221	360
Manggarai	330	30	360
Salemba	257	103	360
Total	1055	385	1440

2. Pengambilan Data I Siang Hari (Selasa, 17 Mei 2016)

Tabel 4.2: Data Primer Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	326	26	352
Jatinegara	244	108	352
Manggarai	300	52	352
Salemba	208	144	352
Total	1078	330	1408

3. Pengambilan Data I Malam Hari (Selasa, 17 Mei 2016)

Tabel 4.3: Data Primer Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	345	12	357
Jatinegara	294	63	357
Manggarai	307	50	357
Salemba	160	197	357
Total	1106	322	1428

Lampiran 2. Pengambilan Data Kedua di Persimpangan Matraman

1. Pengambilan Data II Pagi Hari (Kamis, 19 Mei 2016)

Tabel 4.4: Data Primer Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	329	31	360
Jatinegara	139	221	360
Manggarai	330	30	360
Salemba	257	103	360
Total	1055	385	1440

2. Pengambilan Data II Siang Hari (Kamis, 19 Mei 2016)

Tabel 4.5: Data Primer Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	326	26	352
Jatinegara	244	108	352
Manggarai	300	52	352
Salemba	208	144	352
Total	1078	330	1408

3. Pengambilan Data II Malam Hari (Kamis, 19 Mei 2016)

Tabel 4.6: Data Primer Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	345	12	357
Jatinegara	294	63	357
Manggarai	307	50	357
Salemba	160	197	357
Total	1106	322	1428

Lampiran 3. Pengambilan Data Ketiga di Persimpangan Matraman

1. Pengambilan Data III Pagi Hari (Rabu, 1 Juni 2016)

Tabel 4.7: Data Primer Pagi Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	329	31	360
Jatinegara	139	221	360
Manggarai	330	30	360
Salemba	257	103	360
Total	1055	385	1440

2. Pengambilan Data III Siang Hari (Rabu, 1 Juni 2016)

Tabel 4.8: Data Primer Siang Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	326	26	352
Jatinegara	244	108	352
Manggarai	300	52	352
Salemba	208	144	352
Total	1078	330	1408

3. Pengambilan Data III Malam Hari (Rabu, 1 Juni 2016)

Tabel 4.9: Data Primer Malam Hari

Kaki Simpang	Durasi Lampu Lalu Lintas		Total
	Merah	Hijau	
Rawamangun	345	12	357
Jatinegara	294	63	357
Manggarai	307	50	357
Salemba	160	197	357
Total	1106	322	1428

Lampiran 4. Kondisi *Traffic Light* Matraman

1. Foto Penelitian Pagi Hari Persimpangan *Traffic Light* Matraman



2. Foto Penelitian Siang Hari Persimpangan *Traffic Light* Matraman



3. Foto Penelitian Malam Hari Persimpangan *Traffic Light* Matraman



Lampiran 5. Hasil Pemrograman Menggunakan MATLAB

Berikut ditampilkan program algoritma *Welch-Powell* untuk pewarnaan simpul dengan menggunakan aplikasi MATLAB

INPUT

```
G=
[0 0 1 0 0 1 1 1;
0 0 1 1 1 1 0 1;
1 1 0 0 1 0 0 1;
0 1 0 0 1 1 1 1;
0 1 1 1 0 0 1 0;
1 1 0 1 0 0 1 1;
1 0 0 1 1 1 0 0;
1 1 1 1 0 1 0 0]
A2=1
A3=2
B2=3
B3=4
C2=5
C3=6
D2=7
D3=8
x= [A2 A3 B2 B3 C2 C3 D2 D3]
sum(G)
p= sum (G)
m= max (p)
max(sum(G))
n= min (p)
```

```

min(sum(G))
G1= G(1:8,1:8)
sum(G1)
q=sum(G1)
m=max(q)
max(sum(G1))
n=min(q)
min(sum(G1))
G2= G(3:8,3:8)
sum(G2)
r=sum(G2)
m=max(r)
max(sum(G2))
n=min(r)
min(sum(G2))
G3= G(5:8,5:8)
sum(G3)
s=sum(G3)
m=max(s)
max(sum(G3))
n=min(s)
min(sum(G3))
G4= G(7:8,7:8)
sum(G4)
t=sum(G4)
m=max(t)
max(sum(G4))

```

```
n=min(t)
min(sum(G4))
W1=[1;1;0;0;0;0;0;0]
W2=[1;1;2;2;0;0;0;0]
W3=[1;1;2;2;3;3;0;0]
W4=[1;1;2;2;3;3;4;4]
misal=input('masukkan matriks: ');
a=length(misal);
if a==8
disp(W1);
elseif a==6
disp(W2);
elseif a==4
disp(W3);
elseif a==2
disp(W4);
end
```

OUTPUT

Hasil *command window* pada MATLAB

```
>> hengki
```

```
G =
```

```
0 0 1 0 0 1 1 1
```

```
0 0 1 1 1 1 0 1
```

```
1 1 0 0 1 0 0 1
```

```
0 1 0 0 1 1 1 1
```

```
0 1 1 1 0 0 1 0
```

```
1 1 0 1 0 0 1 1
```

```
1 0 0 1 1 1 0 0
```

```
1 1 1 1 0 1 0 0
```

```
A2 = 1
```

```
A3 = 2
```

```
B2 = 3
```

```
B3 = 4
```

```
C2 = 5
```

```
C3 = 6
```

```
D2 = 7
```

```
D3 = 8
```

```
x =
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8
```

```
ans =
```

```
4 5 4 5 4 5 4 5
```

```
p =
```

```
4 5 4 5 4 5 4 5
```

```
m = 5
```

ans = 5

n = 4

ans = 4

G1 =

0 0 1 0 0 1 1 1

0 0 1 1 1 1 0 1

1 1 0 0 1 0 0 1

0 1 0 0 1 1 1 1

0 1 1 1 0 0 1 0

1 1 0 1 0 0 1 1

1 0 0 1 1 1 0 0

1 1 1 1 0 1 0 0

ans =

4 5 4 5 4 5 4 5

q =

4 5 4 5 4 5 4 5

m = 5

ans = 5

n = 4

ans = 4

G2 =

0 0 1 0 0 1

0 0 1 1 1 1

1 1 0 0 1 0

0 1 0 0 1 1

0 1 1 1 0 0

1 1 0 1 0 0

ans =

2 4 3 3 3 3

r =

2 4 3 3 3 3

m = 4

ans = 4

n = 2

ans = 2

G3 =

0 0 1 0

0 0 1 1

1 1 0 0

0 1 0 0

ans =

1 2 2 1

s =

1 2 2 1

m = 2

ans = 2

n = 1

ans = 1

G4 =

0 0

0 0

ans =

0 0

t =

0 0

m = 0

ans = 0

n = 0

ans = 0

W1 =

1

1

0

0

0

0

0

0

W2 =

1

1

2

2

0

0

0

0

W3 =

1

1

2

2

3

3

0

0

 $W_4 =$

1

1

2

2

3

3

4

4

 $\gg G$ $G =$

0 0 1 0 0 1 1 1

0 0 1 1 1 1 0 1

1 1 0 0 1 0 0 1

0 1 0 0 1 1 1 1

0 1 1 1 0 0 1 0

1 1 0 1 0 0 1 1

1 0 0 1 1 1 0 0

1 1 1 1 0 1 0 0

 $\gg x$ $x =$

1 2 3 4 5 6 7 8

```
>> G1
```

```
G1 =
```

```
0 0 1 0 0 1 1 1
```

```
0 0 1 1 1 1 0 1
```

```
1 1 0 0 1 0 0 1
```

```
0 1 0 0 1 1 1 1
```

```
0 1 1 1 0 0 1 0
```

```
1 1 0 1 0 0 1 1
```

```
1 0 0 1 1 1 0 0
```

```
1 1 1 1 0 1 0 0
```

```
>> hengki2
```

```
masukkan matriks: G1
```

```
1
```

```
1
```

```
0
```

```
0
```

```
0
```

```
0
```

```
0
```

```
0
```

```
>> G2
```

```
G2 =
```

```
0 0 1 0 0 1
```

```
0 0 1 1 1 1
```

```
1 1 0 0 1 0
```

```
0 1 0 0 1 1
```

```
0 1 1 1 0 0
```

1 1 0 1 0 0

>> hengki2

masukkan matriks: G2

1

1

2

2

0

0

0

0

>> G3

G3 =

0 0 1 0

0 0 1 1

1 1 0 0

0 1 0 0

>> hengki2

masukkan matriks: G3

1

1

2

2

3

3

0

0

```
>> G4
```

```
G4 =
```

```
0 0
```

```
0 0
```

```
>> hengki2
```

```
masukkan matriks: G4
```

```
1
```

```
1
```

```
2
```

```
2
```

```
3
```

```
3
```

```
4
```

```
4
```

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Hengki Harianto
No. Registrasi : 3125120200
Jurusan : Matematika
Program Studi : Matematika

Menyatakan bahwa skripsi ini yang saya buat dengan judul ” **Aplikasi Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma *Welch-Powell* Pada Pengaturan *Traffic Light***” adalah :

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya tidak benar.

Jakarta, Juli 2016

Yang membuat pernyataan

Hengki Harianto

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

HENGKI HARIANTO. Lahir di Tais, 03 Januari 1995. Anak kelima dari pasangan Bapak Kaharman (alm) dan Ibu Nurhayani. Saat ini bertempat tinggal di Jl. Cendana II Gang Mangga Besar RT 001/ RW 001 No.6, Sawah Lebar Baru, Kota Bengkulu, 38228

No. Ponsel : 08973376765

Email : hengkihariant95.hh@gmail.com



Riwayat Pendidikan : Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri Talang Beringin kemudian pindah ke SD N 22 Kota Bengkulu lulus tahun 2006. Setelah itu melanjutkan ke SMP Negeri 7 Kota Bengkulu lulus tahun 2009. Kemudian kembali melanjutkan ke SMA Negeri 8 Kota Bengkulu lulus tahun 2012. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan ke Universitas Negeri Jakarta, Program Studi Matematika, melalui jalur SNMPTN Undangan. Di pertengahan tahun 2016 penulis telah memperoleh gelar Sarjana Sains untuk Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta.

Riwayat Organisasi : Adapun pengalaman-pengalaman organisasi yang pernah penulis ikuti selama di perkuliahan yaitu Wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Bumi Rafflesia (HIMAMIRA) UNJ Bengkulu tahun 2016, Staff Departemen Pendidikan BEM UNJ tahun 2015, Kepala Departemen Profesi dan Keilmuan (Profeil) BEMJ Matematika tahun 2014, *volunteer Global Peace Festival Foundation* (GPFF) Indonesia Regional Asia Tenggara tahun 2014, *volunteer National Care Development* tahun 2013, staff Departemen *Muslim Media Center* (M2C) Masjid Ulul Albaab tahun 2013 dan staff Departemen Profesi dan Keilmuan BEMJ Matematika tahun 2012.