



TESIS - SM235401

PERBANDINGAN ALGORITMA WELCH POWELL DAN
ALGORITMA GREEDY DENGAN PEWARNAAN SIMPUL
PADA PERSIMPANGAN EMPAT

ROSADHA FADHILLAH
6002221005

Dosen Pembimbing
Dr. Darmaji, S.Si, MT

Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024



TESIS - SM235401

**PERBANDINGAN ALGORITMA WELCH POWELL DAN
ALGORITMA GREEDY DENGAN PEWARNAAN SIMPUL
PADA PERSIMPANGAN EMPAT**

ROSADHA FADHILLAH
6002221005

Dosen Pembimbing
Dr. Darmaji, S.Si, MT

Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024



THESIS - SM235401

COMPARISON OF WELCH POWELL ALGORITHM &
GREEDY ALGORITHM WITH VERTEX COLORING AT
FOUR-WAY INTERSECTION

ROSADHA FADHILLAH
6002221005

Supervisor
Dr. Darmaji, S.Si, MT

Departement of Mathematics
Faculty of Scientics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Matematika (M.Mat.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ROSADHA FADHILLAH
NRP: 6002221005

Tanggal Ujian: 2 Agustus 2024
Periode Wisuda: September 2024

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Dr. Darmaji, S.Si, MT
NIP: 19691015 199412 1 001

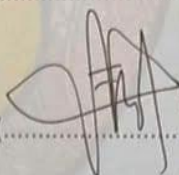
(.....


Penguji:

1. Prof. Dr. Chairul Imron, Ml.Komp.
NIP: 19611115 198703 1 003

(.....


2. Dr. Rinurwati, M.Si
NIP: 19640304 198903 2 002

(.....


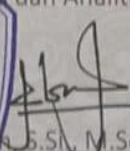
3. Dr. Dieky Adzkiya, S.Si, M.Si
NIP: 19830517 200812 1 003

(.....




Departemen Matematika
Ilmu dan Analitika Data

Prof. Subchan, S.Si, M.Sc., Ph.D.
NIP: 19710513 199702 1 001



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rosadha Fadhillah
NRP : 6002221005
Program Studi : S2 Matematika

Dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya yang berjudul:

“Perbandingan Algoritma Welch Powell dan Algoritma Greedy dengan Pewarnaan Simpul pada Persimpangan Empat”

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bahan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya mandiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari diketahui terjadi penyimpangan dari pernyataan yang saya buat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 5 Agustus 2024

Mahasiswa,



Rosadha Fadhillah
NRP. 6002221005

PERBANDINGAN ALGORITMA WELCH POWELL DAN ALGORITMA GREEDY DENGAN PEWARNAAN SIMPUL PADA PERSIMPANGAN EMPAT

Nama Mahasiswa : Rosadha Fadhillah
NRP : 6002221005
Pembimbing : Dr. Darmaji, S.Si, MT

ABSTRAK

Peningkatan mobilitas masyarakat yang terjadi mengakibatkan peningkatan penggunaan kendaraan sebagai sarana transportasi. Peningkatan ini akan menyebabkan kemacetan apabila jumlah kendaraan yang ada tidak seimbang dengan lebar jalan pada persimpangan. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan optimalisasi pada pengaturan lalu lintas yaitu dengan memodelkan persimpangan jalan dalam bentuk graf. Selanjutnya di lakukan pewarnaan dengan menggunakan dua algoritma yaitu Welch Powell dan Greedy yang akan di implementasikan pada persimpangan empat di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo. Hasil yang diperoleh kedua algoritma adalah bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Selanjutnya pada siklus waktu optimal dengan metode webster pada pagi, siang dan sore diperoleh 170 detik, 192 detik dan 185 detik. Perbandingan dari segi kompleksitas waktu, dalam kasus terburuk algoritma Greedy $O(n^2 \log n)$ lebih efisien dibandingkan dengan algoritma Welch Powell $O(n^2)$. Pada hasil implementasi simulasi MATLAB R2024a diperoleh bahwa dari segi waktu eksekusi program algoritma Greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma Welch Powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi, siang dan sore. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa algoritma greedy lebih efisien daripada algoritma Welch Powell.

Kata Kunci : Pengaturan lalu lintas, Pewarnaan Simpul, Algoritma Welch Powell, Algoritma Greedy.

COMPARISON OF WELCH POWELL ALGORITHM AND GREEDY ALGORITHM WITH VERTEX COLORING AT FOURTH INTERSECTION

Student Name : Rosadha Fadhillah
NRP : 6002221005
Supervisor : Dr. Darmaji, S.Si, MT

ABSTRACK

The increase in community mobility that occurs results in an increase in the use of vehicles as a means of transportation. This increase will cause congestion if the number of vehicles is not balanced with the width of the road at the intersection. To overcome this problem, optimization of traffic management can be done by modeling the road intersection in the form of a graph. Furthermore, coloring is done using two algorithms, namely Welch Powell and Greedy, which will be implemented at four intersections on Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo. The result obtained by both algorithms is a chromatic number of $\chi(G) = 4$. Furthermore, the optimal cycle time with the Webster method in the morning, afternoon and evening is 170 seconds, 192 seconds and 185 seconds. Comparison in terms of time complexity, in the worst case the Greedy $O(n^2 \log n)$ algorithm is more efficient than the Welch Powell $O(n^2)$ algorithm. In the MATLAB R2024a simulation implementation results obtained that in terms of program execution time Greedy algorithm is faster than the Welch Powell algorithm. This result applies to the time period Monday morning, afternoon and evening. This research obtained that the greedy algorithm is more efficient than the Welch Powell algorithm.

Keywords : Traffic Control, Vertex Coloring, Welch Powell Algorithm, Greedy Algorithm.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, karunia serta pertolongan-Nya yang tak pernah henti diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis dengan Judul “Perbandingan Algoritma Welch Powell dan Algoritma Greedy dengan Pewarnaan Simpul pada Persimpangan Empat” dengan baik, lancar, dan tepat waktu.

Penyusunan Laporan Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepala Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember beserta seluruh jajarannya yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama masa kuliah penulis di Departemen Matematika ITS.
2. Kepala Program Studi Pascasarjana Matematika ITS yang memberikan semangat penulis selama menjalani masa kuliah hingga selesainya penyusunan laporan tesis ini.
3. Bapak Dr. Darmaji, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan motivasinya kepada penulis dalam mengerjakan tesis ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Rinurwati, M.Si, Bapak Prof. Dr. Chairul Imron, MI.Komp, dan Bapak Dr. Dieky Adzkiya, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam mengerjakan tesis ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT selaku dosen wali, Bapak dan Ibu dosen pengajar, Tenaga Kependidikan dan keluarga besar Departemen Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas segala ilmu dan bantuan yang telah diberikan.
6. Orang tua, saudara serta sahabat penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, perhatian dan doa selama perkuliahan.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat memberikan inspirasi untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang ini. Penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam penulisan Laporan Tesis ini. Kritik dan saran yang membangun sangat dihargai guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya. Terima Kasih.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Definisi Graf	6
2.3 Pewarnaan Simpul pada Graf	6
2.4 Pembobotan	6
2.4.1 Perhitungan Satuan Mobil Penumpang (smp).....	7
2.4.2 Normalisasi Min-Max.....	7
2.4.3 Penentuan Bobot	7
2.5 Algoritma Welch Powell	8
2.6 Algoritma Greedy	10
2.7 Durasi Waktu Tunggu	13
BAB 3 METODE PENELITIAN	15
3.1 Studi Literatur	15
3.2 Pengumpulan Data	15
3.3 Pengelolaan Data	16
3.4 Simulasi Matlab	16
3.5 Penarikan Simpulan dan Saran	16
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Hasil Studi Penelitian	19
4.1.1 Persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur	19
4.1.2 Data volume kendaraan pada lalu lintas di persimpangan empat	21
4.1.3 Perhitungan smp Kendaraan	26

4.1.4	Normalisasi Volume Kendaraan dan Lebar Jalan	29
4.1.5	Penentuan Bobot	33
4.1.6	Pewarnaan Graf	39
4.1.7	Durasi Optimal Waktu Tunggu	49
4.1.8	Kompleksitas Algoritma	51
4.2	Pembahasan	53
4.3	Implementasi Pewarnaan Graf dengan MATLAB R2024a.....	53
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Simpulan	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN.....		63
BIOGRAFI PENULIS		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Graf G WP.....	9
Gambar 2.2 WP Langkah 1.....	9
Gambar 2.3 WP Langkah 2.....	9
Gambar 2.4 WP Langkah 3.....	10
Gambar 2.5 Graf G Gr.....	11
Gambar 2.6 Gr seleksi 1.....	12
Gambar 2.7 Langkah seleksi simpul e.....	12
Gambar 2.8 Langkah seleksi simpul c.....	12
Gambar 2.9 Langkah seleksi simpul d.....	12
Gambar 2.10 Langkah seleksi simpul a.....	12
Gambar 4.1 Peta Geografis Persimpangan Jalan.....	19
Gambar 4.2 Graf Arus Konflik Persimpangan.....	20
Gambar 4.3 Graf Berbobot Senin Pagi.....	38
Gambar 4.4 Graf Berbobot Senin Siang.....	38
Gambar 4.5 Graf Berbobot Senin Sore.....	38
Gambar 4.6 Graf Berbobot Selasa Pagi.....	38
Gambar 4.7 Graf Berbobot Selasa Siang.....	38
Gambar 4.8 Graf Berbobot Selasa Sore.....	38
Gambar 4.9 Graf Berbobot Rabu Pagi.....	38
Gambar 4.10 Graf Berbobot Rabu Siang.....	38
Gambar 4.11 Graf Berbobot Rabu Sore.....	38
Gambar 4.12 Graf Berbobot Kamis Pagi.....	39
Gambar 4.13 Graf Berbobot Kamis Siang.....	39
Gambar 4.14 Graf G Kamis Sore.....	39
Gambar 4.15 Graf Berbobot Jumat Pagi.....	39
Gambar 4.16 Graf Berbobot Jumat Sore.....	39
Gambar 4.17 Graf Berbobot Jumat Sore.....	39
Gambar 4.18 Graf G WP Senin Pagi 1.....	40
Gambar 4.19 <i>Graf G WP Senin Pagi 2</i>	40
Gambar 4.20 <i>Graf G WP Senin Pagi 2</i>	40
Gambar 4.21 WP Senin pagi.....	41
Gambar 4.22 WP Selasa Pagi.....	41
Gambar 4.23 WP Senin siang.....	41
Gambar 4.24 WP Selasa siang.....	41
Gambar 4.25 WP Senin sore.....	41
Gambar 4.26 WP Selasa sore.....	41
Gambar 4.27 WP Rabu pagi.....	41
Gambar 4.28 WP Kamis pagi.....	41
Gambar 4.29 WP Rabu siang.....	42
Gambar 4.30 WP Kamis siang.....	42
Gambar 4.31 WP Rabu sore.....	42
Gambar 4.32 WP Kamis sore.....	42
Gambar 4.33 WP Jumat pagi.....	42
Gambar 4.34 Jumat siang.....	42
Gambar 4.35 WP Jumat sore.....	42
Gambar 4.36 Langkah seleksi simpul bd.....	44
Gambar 4.37 Langkah seleksi simpul cd.....	44

Gambar 4.38 Langkah seleksi simpul ac	44
Gambar 4.39 Langkah seleksi simpul ca	44
Gambar 4.40 Langkah seleksi simpul da	44
Gambar 4.41 Langkah seleksi simpul bc	45
Gambar 4.42 Langkah seleksi simpul db	45
Gambar 4.43 Langkah seleksi simpul ab	45
Gambar 4.44 Langkah seleksi simpul ad	45
Gambar 4.45 Langkah seleksi simpul dc	45
Gambar 4.46 Langkah seleksi simpul ba	45
Gambar 4.47 Langkah seleksi simpul cb	45
Gambar 4.49 Gr Senin pagi	46
Gambar 4.50 Gr Selasa Pagi	46
Gambar 4.51 Gr Senin siang	46
Gambar 4.52 Gr Selasa siang	46
Gambar 4.53 Gr Senin sore	46
Gambar 4.54 Gr Selasa sore	46
Gambar 4.55 Gr Rabu pagi	46
Gambar 4.56 Gr Kamis pagi	46
Gambar 4.57 Gr Rabu siang	47
Gambar 4.58 Gr Kamis siang	47
Gambar 4.59 Gr Rabu sore	47
Gambar 4.60 Gr Kamis sore	47
Gambar 4.61 Gr Jumat pagi	47
Gambar 4.62 Gr Jumat siang	47
Gambar 4.63 Gr Jumat sore	47
Gambar 4.64 Graf dengan $\chi(G) = 4$	48
Gambar 4.65 Tampilan Awal Software	54
Gambar 4.66 Hasil Input Data	54
Gambar 4.67 Gambar Berbot	54
Gambar 4.68 Pewarnaan Welch Powell	55
Gambar 4.69 Pewarnaan Greedy	55

DAFTAR SIMBOL

G	: Graf dengan himpunan simpul dan himpunan sisi
$V(G)$: Himpunan simpul
$E(G)$: Himpunan sisi
v_n	: Anggota himpunan simpul
e_n	: Anggota himpunan sisi
$\chi(G)$: Bilangan kromatik graf G
X_i'	: Nilai yang sudah dinormalisasi
X_i	: Nilai asli dalam data
X_{min}	: Nilai minimum dalam data
X_{max}	: Nilai maksimum dalam data
w_V	: Koefisien bobot volume kendaraan
w_l	: Koefisien bobot lebar jalan
V_i'	: Volume kendaraan yang sudah dinormalisasi
l_i'	: Lebar jalan yang sudah dinormalisasi
(s)	: Arus jenuh
y_i	: Aliran lalu lintas pada arus i
q_i	: Volume kendaraan pada arus i
L	: Waktu hilang
C_o	: Waktu siklus
Y	: Jumlah aliran arus
g_i	: Waktu hijau efektif

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang	7
Tabel 2.2 Derajat Simpul Graf	9
Tabel 2.3 Urutan Simpul dari Derajat Terbanyak WP.....	9
Tabel 2. 4 Urutan Simpul dari Derajat Terbanyak GR.....	11
Tabel 2.5 Arus Jenuh.....	13
Tabel 4.1 Volume Kendaraan Pada Hari Senin	21
Tabel 4.2 Volume Kendaraan Pada Hari Selasa	22
Tabel 4.3 Volume Kendaraan Pada Hari Rabu	23
Tabel 4.4 Volume Kendaraan Pada Hari Kamis	24
Tabel 4.5 Volume Kendaraan Pada Hari Jumat.....	25
Tabel 4.6 Perhitungan smp pada Hari Senin	27
Tabel 4.7 Perhitungan smp pada Hari Selasa	27
Tabel 4.8 Perhitungan smp pada Hari Rabu.....	28
Tabel 4.9 Perhitungan smp pada Hari Kamis.....	28
Tabel 4.10 Perhitungan smp pada Hari Jumat.....	29
Tabel 4.11 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Senin.....	30
Tabel 4.12 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Selasa.....	30
Tabel 4.13 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Rabu	31
Tabel 4.14 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Kamis	31
Tabel 4.15 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Jumat	32
Tabel 4.16 Metode Min-Max Normalization Lebar Jalan pada Senin	33
Tabel 4.17 Bobot Kombinasi pada Senin Pagi.....	33
Tabel 4.18 Bobot Kombinasi pada Senin Siang.....	34
Tabel 4.19 Bobot Kombinasi pada Senin Sore.....	34
Tabel 4.20 Bobot Kombinasi pada Selasa Pagi.....	34
Tabel 4.21 Bobot Kombinasi pada Selasa Siang.....	35
Tabel 4.22 Bobot Kombinasi pada Selasa Sore	35
Tabel 4.23 Bobot Kombinasi pada Rabu Pagi	35
Tabel 4.24 Bobot Kombinasi pada Rabu Siang	35
Tabel 4.25 Bobot Kombinasi pada Rabu Sore	36
Tabel 4.26 Bobot Kombinasi pada Kamis Pagi	36
Tabel 4.27 Bobot Kombinasi pada Kamis Siang	36
Tabel 4.28 Bobot Kombinasi pada Kamis Sore	37
Tabel 4.29 Bobot Kombinasi pada Jumat Pagi	37
Tabel 4.30 Bobot Kombinasi pada Jumat Siang	37
Tabel 4.31 Bobot Kombinasi pada Jumat Sore	38
Tabel 4.32 Pengurutan Simpul berdasarkan derajat terbanyak	39
Tabel 4.33 Pengurutan Simpul berdasarkan bobot terbesar	39
Tabel 4.34 Pengurutan Simpul berdasarkan derajat <i>terbanyak</i>	43
Tabel 4.35 Pengurutan Simpul berdasarkan bobot terbesar	43
Tabel 4.36 Tabel Perbandingan Fase Lalu lintas.....	48
Tabel 4.37 Hasil Siklus Waktu Optimum.....	50
Tabel 4.38 Hasil Pengujian pada Hari Senin.....	55
Tabel 4.39 Hasil Pengujian pada Hari Selasa.....	56
Tabel 4.40 Hasil Pengujian Hari Rabu.....	56
Tabel 4.41 Hasil Pengujian pada Hari Kamis	57
Tabel 4.42 Hasil Pengujian pada Hari Jumat	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan mobilitas masyarakat yang telah terjadi mengakibatkan peningkatan penggunaan kendaraan sebagai sarana transportasi. Apabila peningkatan jumlah kendaraan tidak diiringi oleh infrastruktur transportasi yang memadai, maka akan terjadi ketidakseimbangan antara permintaan dan kapasitas infrastruktur yang tersedia. Ketidakseimbangan ini pada akhirnya dapat menghambat perjalanan yang dapat menyebabkan kemacetan. Kemacetan di dalam suatu kota bukanlah fenomena baru dan dapat terjadi di jalan-jalan dan persimpangan, hal ini karena adanya gerakan arah kendaraan yang bertabrakan di setiap arah persimpangan. Oleh karena itu, untuk mengurangi insiden-insiden ini, berbagai kontrol dilakukan dengan melakukan optimasi pada persimpangan menggunakan lampu lalu lintas, terutama pada kota-kota besar.

Kota Surabaya adalah kota terbesar kedua di Indonesia yang menghadapi berbagai masalah, salah satunya yang perlu mendapatkan perhatian lebih adalah masalah lalu lintas. Kota Surabaya juga menempati peringkat kedua sebagai kota dengan tingkat kemacetan tertinggi di Indonesia. Hal ini disebabkan karena meningkatnya volume kendaraan yang tidak seimbang dengan lebar jalan sehingga menyebabkan penumpukan kendaraan dan kemacetan lalu lintas yang panjang. Salah satu persimpangan empat yang seringkali mengalami kemacetan adalah Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Oleh karenanya, untuk mengurangi kemacetan tersebut perlu dilakukan optimalisasi pada pengaturan lalu lintas salah satunya dengan menggunakan teori graf, yakni persimpangan jalan di modelkan dalam bentuk graf (Fakhri dkk., 2021)

Teori graf adalah cabang dari matematika diskrit yang dalam aplikasinya dapat digunakan di berbagai ilmu dan kehidupan sehari-hari. Salah satu aplikasi dari teori graf adalah pewarnaan graf. Pewarnaan graf terdiri dari tiga jenis pewarnaan, yakni pewarnaan simpul, pewarnaan sisi dan pewarnaan wilayah. Pada pewarnaan simpul, dilakukan dengan memberikan warna pada simpul-simpul dalam graf sehingga tidak ada dua simpul yang berdekatan memiliki warna yang sama. Pada pewarnaan sisi, dilakukan dengan memberikan warna pada sisi-sisi K dari graf G dengan beberapa warna dari K atau seluruhnya memberikan warna pada semua sisi graf G sehingga

setiap pasang sisi memiliki simpul terkait yang diwarnai dengan warna yang berbeda. Pada pewarnaan wilayah, pewarnaan difokuskan pada bidang, sehingga tidak ada bidang yang bersebelahan memiliki warna yang sama. Jumlah warna minimum yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah pewarnaan graf disebut sebagai bilangan kromatik. Pada penelitian ini, pewarnaan yang digunakan adalah pewarnaan simpul pada arus lalu lintas di persimpangan empat di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur.

Persimpangan empat di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur merupakan persimpangan yang arus lalu lintasnya cukup padat karena dilewati banyak kendaraan sebagai akses jalan untuk pergi ke sekolah, kampus, tempat ibadah atau tempat kerja sehingga seringkali terjadi kemacetan pada simpang tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengaturan lalu lintas sehingga dapat mengurangi kemacetan pada persimpangan empat tersebut.

Penelitian terkait perbandingan algoritma telah dilakukan oleh Kravel dan Kraveva (2023) dengan judul "A Comparative Analysis Between Two Heuristic Algorithms for the Graph Vertex Coloring Problem" yang memperoleh hasil bahwa algoritma Welsh-Powell (WPA) dan Sequential Coloring Algorithm (SCA) menghasilkan solusi yang hampir sama pada graf dengan kurang dari 600 simpul. Pada graf dengan lebih dari 1.000 simpul, WPA menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam 35% kasus dibandingkan dengan SCA. Studi ini menunjukkan bahwa perbedaan waktu eksekusi kedua algoritma dapat diterima, namun kualitas solusi yang dihasilkan oleh WPA lebih unggul dalam lebih dari 20% kasus.

Penelitian terkait metode Webster untuk mengoptimalkan durasi lalu lintas telah dilakukan oleh Yin (2019) dengan judul "Intersection Signal Timing Optimization based on Webster Timing Method". Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode Webster dapat secara signifikan mengurangi penundaan kendaraan, waktu parkir, panjang antrian maksimum, panjang antrian rata-rata, serta jumlah pemberhentian kendaraan di persimpangan. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM mengungkapkan bahwa setelah optimasi sinyal lalu lintas, rata-rata penundaan kendaraan berkurang sebesar 25.24% dan waktu parkir berkurang sebesar 35.16%. Penurunan ini berdampak positif terhadap kapasitas persimpangan dan meningkatkan tingkat pelayanan lalu lintas, sehingga memperbaiki kondisi kemacetan di persimpangan North Street.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka peneliti akan membahas tentang perbandingan algoritma welch powell dan greedy pada

persimpangan jalan dengan parameter volume kendaraan, lebar jalan dan fase jalan, sehingga berdasarkan permasalahan didapatkan judul “Perbandingan Algoritma Welch Powell dan Algoritma Greedy dengan Pewarnaan Simpul pada Persimpangan Empat”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis perbandingan implementasi graf pada persimpangan jalan menggunakan algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy untuk optimalisasi pengaturan lalu lintas?
2. Bagaimana simulasi kedua algoritma dengan menggunakan MATLAB R2024a dalam optimalisasi pengaturan lalu lintas?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang di bahas dalam penelitian ini dibatasi oleh ruang lingkup berikut:

1. Pengamatan dan pengambilan data dilakukan pada salah satu persimpangan empat yaitu di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur.
2. Pengamatan pada persimpangan empat di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur meneliti sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV).
3. Pengamatan dilakukan pada hari Senin-Jumat dengan asumsi pada jam padat yaitu saat pagi hari (07.00-08.00), saat siang hari (12.00-13.00), saat malam hari (17.00-18.00).

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbandingan implementasi graf pada persimpangan menggunakan algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy untuk optimalisasi pengaturan lalu lintas.
2. Mengimplementasi simulasi optimalisasi pengaturan lalu lintas pada MATLAB R2024a dan memilih algoritma terbaik untuk kasus ini.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Manfaat yang bisa diambil bagi peneliti adalah mampu mengembangkan ilmunya, terutama dalam hal perbandingan implementasi pewarnaan graf dengan algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy untuk optimalisasi pengaturan lalu lintas.

2. Bagi pihak lain

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan referensi yang berkaitan dengan teori pewarnaan graf dan juga memberi referensi penerapan algoritma Welch-Powell atau Greedy untuk pengaturan lampu lalu lintas. Simulasi pemograman Matlab dapat digunakan pihak dishub untuk mencari klasifikasi arus pada fase yang optimal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait perbandingan algoritma telah dilakukan oleh Kravel dan Krалеva (2023) dengan judul "A Comparative Analysis Between Two Heuristic Algorithms for the Graph Vertex Coloring Problem" yang memperoleh hasil bahwa algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy menghasilkan solusi yang hampir sama pada graf dengan kurang dari 600 simpul. Pada graf dengan lebih dari 1.000 simpul, Welch Powell menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam 35% kasus dibandingkan dengan algoritma Greedy. Studi ini menunjukkan bahwa perbedaan waktu eksekusi kedua algoritma dapat diterima, namun kualitas solusi yang dihasilkan oleh Welch Powell lebih unggul dalam lebih dari 20% kasus.

Penelitian terkait perbandingan algoritma yang dilakukan oleh (Ermanto dkk., 2021) dengan judul "Comparison of Welch-Powell and Recursive Largest First Algorithm Implementation in Course Scheduling" diperoleh berdasarkan hasil uji waktu eksekusi untuk menyelesaikan masalah penjadwalan algoritma Welch Powell adalah 0.0083 dan memiliki tingkat kompleksitas 98 baris kode. Sedangkan dengan algoritma Recursive Largest First (RLF) hasil uji waktu sebesar 0.107 detik dan memiliki kompleksitas 168 baris kode. Sehingga dalam penelitian ini dibuat kesimpulan bahwa algoritma Welch-Powell lebih cepat dari segi waktu dan lebih efisien dari segi kompleksitas dibandingkan dengan algoritma RLF.

Penelitian terkait metode Webster untuk mengoptimalkan durasi lalu lintas telah dilakukan oleh Yin (2019) dengan judul "Intersection Signal Timing Optimization based on Webster Timing Method". Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode Webster dapat secara signifikan mengurangi penundaan kendaraan, waktu parkir, panjang antrian maksimum, panjang antrian rata-rata, serta jumlah pemberhentian kendaraan di persimpangan. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM mengungkapkan bahwa setelah optimasi sinyal lalu lintas, rata-rata penundaan kendaraan berkurang sebesar 25.24% dan waktu parkir berkurang sebesar 35.16%. Penurunan ini berdampak positif terhadap kapasitas persimpangan dan meningkatkan tingkat pelayanan lalu lintas, sehingga memperbaiki kondisi kemacetan di persimpangan North Street.

2.2 Definisi Graf

Sebuah graf $G = (V, E)$ terdiri dari dua himpunan yakni himpunan berhingga tak kosong dan himpunan sisi. Dengan $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n\}$ disebut sebagai himpunan berhingga tak kosong dari simpul/titik (vertices atau node) dan $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, \dots, e_n\}$ yang disebut sebagai himpunan sisi, sedemikian rupa sehingga setiap sisi e_k terkait dengan pasangan tak berurutan dari simpul-simpul (v_i, v_j) (Rosen, 2019). Simpul v_i dan v_j yang terkait dengan sisi e_k disebut sebagai ujung dari sisi tersebut. Apabila simpul v_i menjadi ujung dari sisi e_k , maka hubungan antara v_i dan e_k incidences atau dapat dikatakan bahwa simpul v_i terhubung dengan sisi e_k . Sisi-sisi yang tidak sejajar disebut sebagai tetangga jika keduanya terhubung pada simpul yang sama. Demikian pula, dua simpul disebut bertetangga jika keduanya merupakan ujung dari sisi yang sama. Representasi graf secara umum dilakukan melalui diagram, dengan simpul direpresentasikan sebagai titik-titik dan sisi direpresentasikan sebagai kurva sederhana yang menghubungkan dua simpul (Arifin et al., 2022).

2.3 Pewarnaan Simpul pada Graf

Diberikan graf G dan bilangan bulat positif k , k -pewarnaan adalah fungsi $K : V(G) \rightarrow \{1, \dots, k\}$ dari $v \in V(G)$ dari himpunan simpul ke himpunan bilangan bulat positif kurang dari atau sama dengan k . Kita mengatakan bahwa K adalah pewarnaan k yang tepat dari G jika untuk setiap pasangan u, v dari simpul yang bertetangga berakibat $K(u) \neq K(v)$, yang berarti simpul-simpul yang bertetangga diwarnai berbeda. Jika pewarnaan seperti itu ada untuk grafik G , kita katakan bahwa G adalah k -pewarnaan. Diberikan graf G , bilangan kromatik yang dinotasikan dengan $\chi(G)$, adalah bilangan bulat terkecil K sehingga G dapat diwarnai dengan k -pewarnaan (J.Harris dkk., 2000).

2.4 Pembobotan

Pada penelitian ini, pembobotan dilakukan dengan dua jenis data utama, yaitu volume kendaraan dan lebar jalan. Sebelum data volume kendaraan digunakan lebih lanjut, perlu dilakukan konversi ke satuan mobil penumpang (smp). Setelah dilakukan konversi, langkah berikutnya adalah normalisasi kedua data, yaitu volume kendaraan yang sudah dalam satuan smp dan lebar jalan dengan metode normalisasi min-max. Pada langkah terakhir untuk mendapatkan bobot yang akurat, dilakukan bobot kombinasi.

2.4.1 Perhitungan Satuan Mobil Penumpang (smp)

Dalam mengukur dan menganalisis tipe kendaraan yang heterogen, maka dilakukan konversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp), dimana kendaraan dari berbagai kategori yaitu MC, LV, HV dikonversikan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan cara mengalikan volume kendaraan dengan nilai emp yang sesuai (Singh, 2020). Dalam penelitian ini nilai emp berdasarkan pada standar MKJI dimana kendaraan diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu Kendaraan Bermotor (MC) dengan faktor 0.5; Kendaraan Ringan (LV) dengan faktor 1,0; Kendaraan berat (HV) dengan faktor 1,3 (Alfitra & Umar, 2023). Ekuivalensi mobil penumpang diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Klasifikasi emp	Jenis Kendaraan	Emp
Sepeda Motor (MC)	Sepeda motor roda 2	0,5
Kendaraan Ringan (LV)	Mobil, pick up, mobil box	1,0
Kendaraan Berat (MC)	Bus besar, truk	1,3

2.4.2 Normalisasi Min-Max

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mempermudah perbandingan dan analisis pada data yang memiliki skala pengukuran berbeda adalah metode normalisasi min-max. Normalisasi Min-Max adalah metode yang merubah data dalam skala [0,1]. Metode Normalisasi Min-Max menggunakan rumus sebagai berikut (Henderi, 2021):

$$X'_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2.1)$$

Dimana

X'_i = Nilai yang sudah di normalisasi

X_i = Nilai asli dalam data

X_{min} = Nilai minimum dalam data

X_{max} = Nilai maksimum dalam data

2.4.3 Penentuan Bobot

Setelah dilakukan normalisasi data, langkah berikutnya adalah menentukan bobot untuk masing-masing variabel sesuai kepentingannya. Karena volume kendaraan dan lebar jalan sama-sama berpengaruh pada kemacetan di Jl. Kertajaya-Jl.

Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur maka masing masing diberi bobot 0,5. Kombinasi bobot menggunakan rumus sebagai berikut (Triantaphyllou, 2020):

$$\text{Bobot Kombinasi} = (w_V \times V'_i) + (w_l \times l'_i) \quad (2.2)$$

Dimana,

w_V = Koefisien bobot volume kendaraan

w_l = Koefisien bobot lebar jalan

V'_i = Volume kendaraan yang sudah di normalisasi

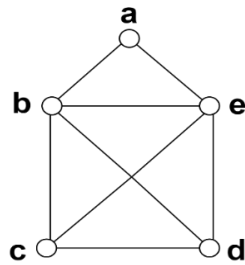
l'_i = lebar jalan yang sudah di normalisasi

2.5 Algoritma Welch Powell

Algoritma Welch Powell adalah metode pewarnaan graf di mana simpul-simpul diurutkan dalam urutan menurun berdasarkan derajat tertinggi. Setiap simpul kemudian diberi warna terkecil yang tersedia yang belum digunakan oleh simpul-simpul yang berdekatan. Algoritma ini bertujuan untuk meminimalkan jumlah warna yang warna yang digunakan sambil memastikan tidak ada dua simpul yang berdekatan memiliki warna yang sama. Berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan pewarnaan graf dengan algoritma Welch-Powell (Ganguli & Roy, 2017):

1. Urutkan simpul berdasarkan derajatnya, yakni dari simpul dengan derajat terbanyak ke simpul dengan derajat tersedikit.
2. Beri warna pada simpul yang telah diurutkan berdasarkan derajat. Selanjutnya simpul-simpul yang tidak bertetangga dengan simpul tersebut juga diberi warna yang sama.
3. Proses diulangi dengan memilih warna kedua dan memberi warna pada simpul-simpul yang belum di beri warna yang tidak bertetangga dengan simpul-simpul sebelumnya.
4. Langkah 1 hingga 3 dilakukan berulang hingga seluruh simpul dalam graf telah diwarnai.

Contoh pewarnaan pada graf dengan algoritma Welch Powell



Gambar 2.1 Graf G WP

Berdasarkan pada Gambar 2.1, dapat dibuat Tabel 1 untuk mengetahui banyaknya derajat pada masing-masing simpul.

Tabel 2.2 Derajat Simpul Graf

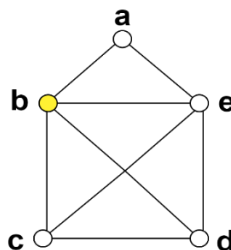
Simpul	a	b	c	d	e
Derajat	2	4	3	3	4

1. Urutkan simpul berdasarkan derajatnya dari derajat terbanyak ke derajat tersedikit.

Tabel 2.3 Urutan Simpul dari Derajat Terbanyak WP

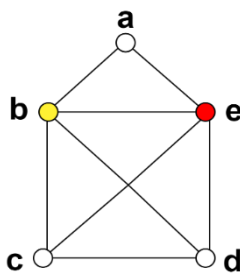
Simpul	b	e	c	d	a
Derajat	4	4	3	3	2

2. Pilih simpul yang memiliki derajat tertinggi dan beri warna pertama. Pada simpul-simpul yang tidak bertetangga juga diberi warna yang sama.



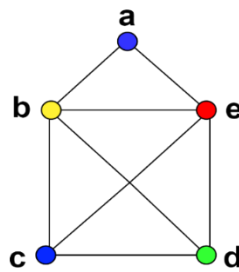
Gambar 2.2 WP Langkah 1

3. Proses diulangi dengan memilih warna kedua dan simpul-simpul yang tidak bertetangga diberi warna yang sama.



Gambar 2.3 WP Langkah 2

4. Lakukan langkah 1 hingga 3 secara berulang sampai seluruh simpul telah diwarnai.



Gambar 2.4 WP Langkah 3

Pewarnaan graf dengan algoritma Welch-Powell menghasilkan bilangan kromatik yaitu $\chi(G) = 4$.

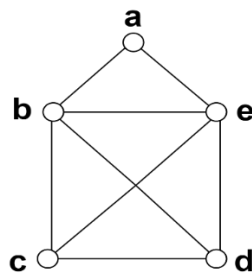
2.6 Algoritma Greedy

Algoritma Greedy merupakan salah satu metode dalam penyelesaian masalah optimasi baik dalam konteks maksimasi maupun minimasi. Diberikan graf tak berarah $G = (V, E)$, dan lingkungan $N(v) = \{u \in V : (u, v) \in E\}$. Untuk setiap simpul v dari graf, Algoritma Greedy mencatat warna dari simpul-simpul tetangga v dalam satu himpunan warna terlarang, dan menetapkan warna legal minimum pada simpul v berdasarkan himpunan warna terlarang tersebut (Giannoula dkk., 2023). Adapun Langkah-langkah Algoritma Greedy adalah (Rahma dkk.,2021):

1. Membangun himpunan kandidat C yang merupakan himpunan yang berisi kandidat warna yang akan digunakan.
2. Mengurutkan simpul berdasarkan derajat terbanyak ke derajat tersedikit.
3. Pilih simpul yang akan diisi warnanya dengan fungsi seleksi simpul. Fungsi seleksi simpul adalah fungsi yang menyeleksi simpul mana yang akan diwarnai terlebih dahulu. Prioritas pengerjaan simpul dilihat dari simpul yang memiliki derajat terbesar.
4. Memilih kandidat warna dengan menggunakan fungsi seleksi warna. Fungsi seleksi warna adalah fungsi yang akan memilih warna yang digunakan dalam mewarnai peta.
5. Periksa kelayakan warna yang dipilih menggunakan fungsi kelayakan untuk memeriksa apakah warna layak digunakan untuk sebuah simpul atau tidak. Pemeriksaan kelayakan dapat dilihat dari simpul- simpul yang bertetangga dengan simpul yang akan diwarnai. Ada 2 tahap dalam menentukan kelayakan warna yang akan digunakan pada simpul, yaitu:
 - a. Dilakukan penyeleksian terhadap himpunan solusi S. Jika warna pada himpunan solusi S layak, maka warna tersebut digunakan untuk pewarnaan simpul.

- b. Jika tidak ada satupun warna yang layak dari himpunan solusi S, maka ambil warna baru dari himpunan kandidat C yang belum pernah digunakan, untuk simpul tersebut. Warna yang layak digunakan untuk simpul terpilih akan dimasukkan ke dalam himpunan solusi S, jika warna tidak layak maka proses kembali ke langkah 2.
6. Memasukkan warna menjadi elemen dari himpunan solusi S Himpunan solusi S adalah himpunan yang berisi elemen solusi pemecahan masalah.
7. Periksa apakah solusi sudah meliputi pewarnaan seluruh simpul menggunakan fungsi obyektif. Proses pewarnaan selesai jika seluruh simpul sudah diwarnai. Jika pewarnaan belum meliputi keseluruhan simpul maka proses kembali ke langkah 2.

Contoh penerapan algoritma greedy pada sebuah graf:



Gambar 2.5 Graf G Gr

1. Membangun himpunan kandidat C

Dalam melakukan pewarnaan graf ini, himpunan kandidat warna yang akan digunakan terdiri dari 5 jenis warna. Himpunan kandidat $C = \{Kuning, Biru, Merah, Hijau, Ungu\}$.

2. Mengurutkan Simpul

Berdasarkan tabel 2.1, dapat dibentuk kembali Tabel 2.3 yang berisikan urutan berdasarkan jumlah derajat dari yang paling banyak hingga paling sedikit.

Tabel 2. 4 Urutan Simpul dari Derajat Terbanyak GR

Simpul	b	e	c	d	a
Derajat	4	4	3	3	2

3. Memilih Simpul dan Warna

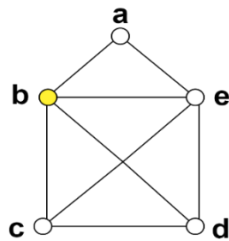
- a. Memilih Simpul

Pada tahapan ini akan dilakukan pewarnaan simpul yang telah dipilih. Prioritas pengerjaan diberikan pada simpul dengan derajat terbanyak.

Berdasar pada Tabel 2.4, simpul dengan derajat paling banyak adalah simpul b, sehingga simpul b akan di warnai terlebih dahulu.

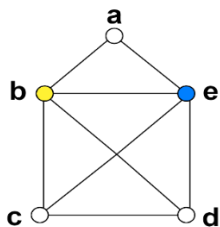
b. Memberi Warna

Seleksi warna dari himpunan kandidat C, untuk pewarnaan simpul b menggunakan warna dari himpunan kandidat pertama yang dipilih dari himpunan kandidat C yaitu warna kuning. Karena warna pada kandidat pertama telah digunakan satu anggota maka elemen himpunan kandidat C tersisa 4 anggota yaitu $C = \{Biru, Merah, Hijau, Ungu\}$.

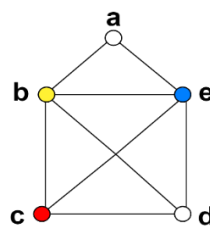


Gambar 2.6 Gr seleksi 1

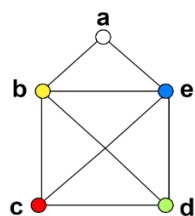
4. Pada tahap selanjutnya akan di periksa kelayakan warna kuning yang digunakan untuk simpul b, dapat dilihat dari matriks ketetanggannya. Simpul b bertetangga dengan 4 buah simpul yang belum diwarnai, sehingga warna kuning layak digunakan untuk simpul b.
5. Warna kuning yang sudah digunakan untuk simpul b masuk kedalam himpunan solusi, sehingga himpunan solusi yang terbentuk yaitu $C = \{Kuning\}$.
6. Pada tahapan ini digunakan apakah solusi sudah meliputi pewarnaan seluruh simpul dengan solusi optimal, jika sudah maka berhenti dan jika belum kembali ke langkah seleksi simpul, karena pewarnaan simpul masih simpul b, maka proses kembali ke langkah seleksi simpul.
7. Langkah Seleksi Simpul



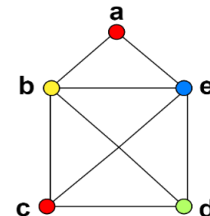
Gambar 2.7 Langkah seleksi simpul e



Gambar 2.8 Langkah seleksi simpul c



Gambar 2.9 Langkah seleksi simpul d



Gambar 2.10 Langkah seleksi simpul a

Pewarnaan graf dengan algoritma Greedy menghasilkan bilangan kromatik yaitu $\chi(G) = 4$.

2.7 Durasi Waktu Tunggu

Pada penelitian ini, untuk menentukan durasi waktu tunggu menggunakan Metode Webster. Metode Webster adalah metode yang digunakan untuk menentukan sinyal waktu pada persimpangan dengan tujuan mengurangi waktu tunda kendaraan (X. Ren, 2020). Metode ini berdasarkan perhitungan dari waktu tunda kendaraan untuk menentukan panjang siklus sinyal lalu lintas. Langkah-langkah metode Webster sebagai berikut (Yin, 2019):

1. Menentukan Arus Jenuh

Arus jenuh adalah banyaknya keberangkatan kendaraan pada antrian saat kendaraan berada di laju konstan, yakni setelah melakukan percepatan, sampai kendaraan melakukan perlambatan selama periode hijau dan kuning. Arus jenuh biasanya dinyatakan dalam kendaraan per jam waktu hijau (Tamin, 2000).

Tabel 2.5 Arus Jenuh

Lebar Jalan (m)	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Arus Jenuh (smp/jam)	1850	1875	1975	2175	2550	2900

Jika lebar jalan melebihi nilai yang ditetapkan, maka arus jenuh

$$(s) = \text{lebar jalan} \times 525 \text{ (smp/jam)} \quad (2.3)$$

2. Menentukan Aliran lalu lintas

$$y_i = \frac{q_i}{s} \quad (2.4)$$

3. Menghitung waktu hilang

Faktor yang di diperlukan untuk menghitung siklus waktu maksimum adalah waktu hilang (L), yaitu lama waktu satu siklus penuh pada saat tidak ada kendaraan. Hal ini dilakukan tidak hanya waktu merah dan waktu merah/merah/kuning tetapi juga sebagai waktu persiapan jalan (*Starting-Up*) dan persiapan berhenti (*Tailing-Off*) yang terjadi pada saat perubahan warna lampu. Waktu yang hilang dihitung dengan rumus:

$$L = 2n + R \quad (2.5)$$

4. Menghitung waktu siklus optimum

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad (2.6)$$

5. Menghitung waktu hijau efektif untuk setiap fase

$$g_i = \frac{y_i(C_o - L)}{Y} \quad (2.7)$$

BAB 3

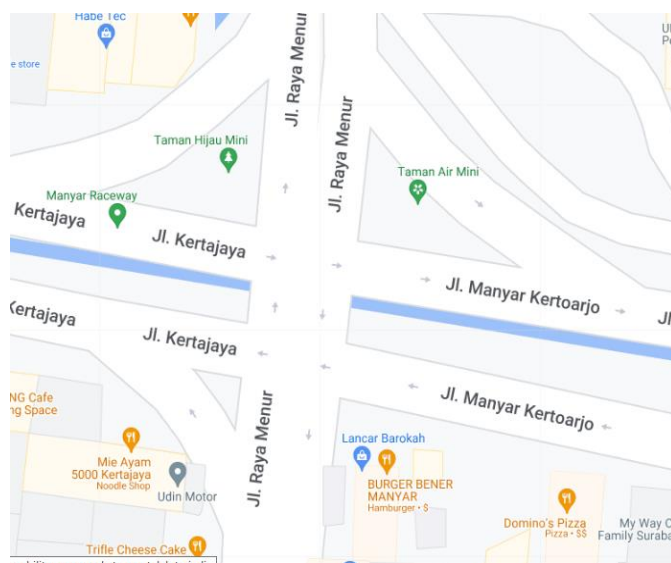
METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini akan dipelajari lebih mendalam literatur-literatur mengenai pewarnaan graf berbobot dengan algoritma Welch-Powell dan Algoritma Greedy.

3.2 Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian ini adalah pengamatan dan pencatatan volume kendaraan melalui CCTV. Data yang di gunakan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini adalah volume kendaraan sedangkan data sekunder pada penelitian ini adalah jumlah fase dan lebar jalan. Lokasi pada penelitian ini adalah persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Waktu pengambilan data pada penelitian ini akan dibagi menjadi tiga periode waktu yakni pada pagi hari, siang hari, dan sore hari setiap hari Senin-Jumat. Untuk pagi hari, dibatasi pada pukul 07.00 – 08.00, dengan asumsi persimpangan akan banyak dilalui pengendara baik milik pribadi maupun umum karena para pekerja dan pelajar berangkat pada jam tersebut. Untuk siang hari dibatasi pada pukul 12.00 – 01.00, dengan asumsi persimpangan akan banyak dilalui pengendara baik milik pribadi maupun umum karena masih terdapat para pekerja yang berangkat pada jam tersebut juga banyak truk yang melewati persimpangan sehingga menambah kemacetan pada persimpangan tersebut. Untuk sore hari, dibatasi pada pukul 17.00 – 18.00, dengan asumsi persimpangan akan banyak dilalui para pengendara karena jam pulang kerja. Berikut adalah peta Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur.



Gambar 3. 1 Peta Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur

3.3 Pengelolaan Data

Setelah pengambilan data selesai, maka dilanjutkan langkah pengolahan data yang pertama adalah dengan memodelkan persimpangan menjadi graf konflik dimana simpul-simpul pada graf tersebut mewakili arus lalu lintas pada setiap jalur persimpangan, sedangkan sisi-sisi pada graf mewakili pasangan-pasangan arus yang apabila bergerak bersamaan akan bertabrakan. Selanjutnya akan dilakukan pembobotan dari data volume dan data lebar jalan. Setelah diperoleh nilai bobotnya maka akan di masukkan ke dalam simpul graf dan akan menjadi graf berbobot. Langkah berikutnya yaitu dilakukan pewarnaan simpul pada graf yang telah diberi bobot dengan algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy. Hasil dari kedua algoritma kemudian dibandingkan. Untuk memperlihatkan hasil penelitian secara jelas, peneliti menggunakan sistem simulasi pada Matlab R2024a.

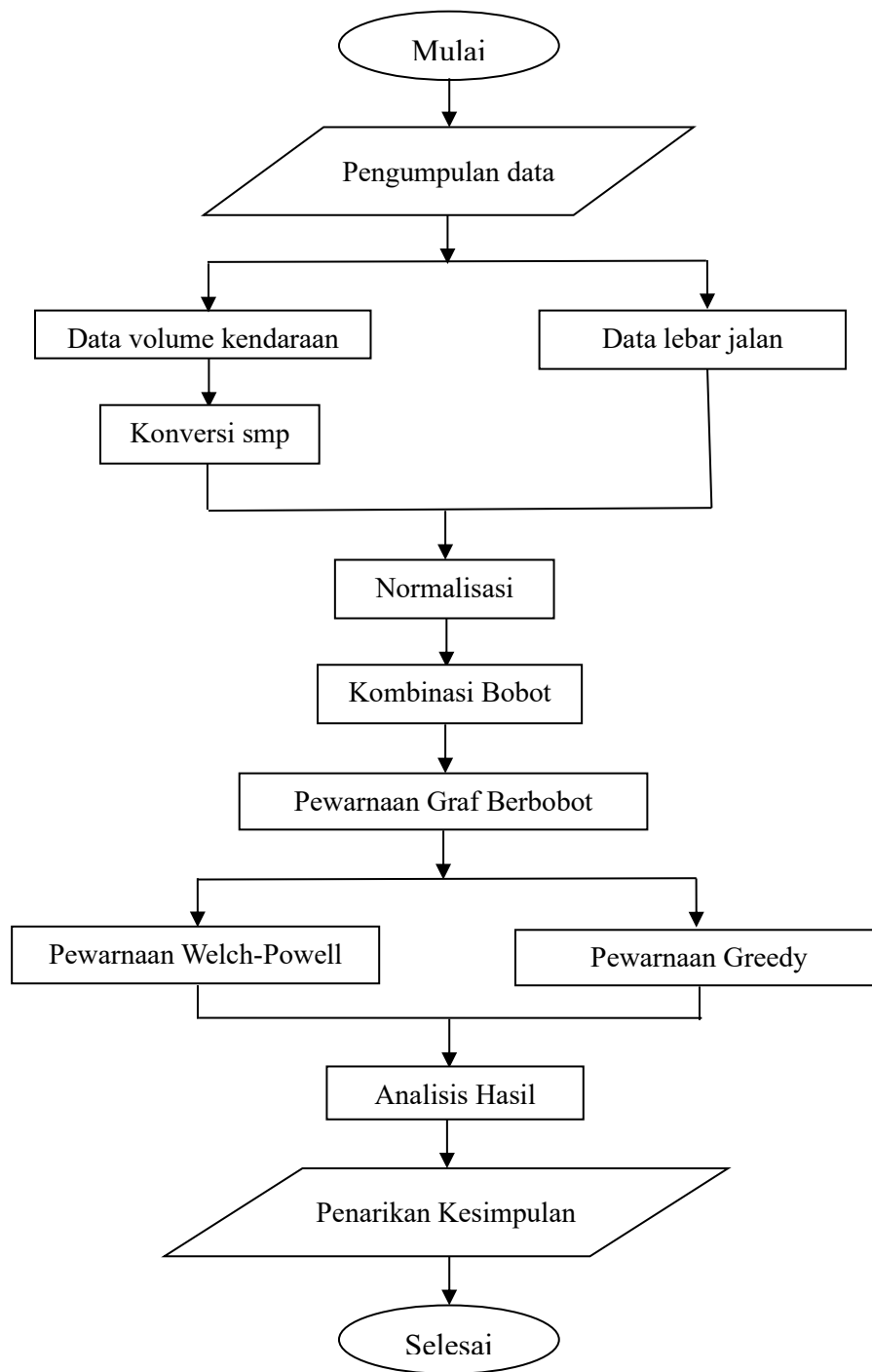
3.4 Simulasi Matlab

Pada tahap ini peneliti menggunakan bantuan software pada MATLAB R2024a untuk simulasi dalam optimalisasi pengaturan lalu lintas.

3.5 Penarikan Simpulan dan Saran

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, maka ditariklah sebuah kesimpulan untuk menjawab seluruh tujuan penelitian yang telah ditetapkan pada awal penelitian. Pada tahap ini, beberapa saran juga akan diberikan terhadap masalah-masalah yang ditemukan sehingga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak lain.

Berdasarkan prosedur penelitian yang telah dipaparkan, alur penelitian yang digunakan adalah:



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dibahas tentang pewarnaan graf berbobot yang merupakan representasi dari jalur lalu lintas persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Proses pewarnaan ini akan dilakukan dengan dua algoritma yaitu algoritma Welch-Powell dan algoritma Greedy.

4.1 Hasil Studi Penelitian

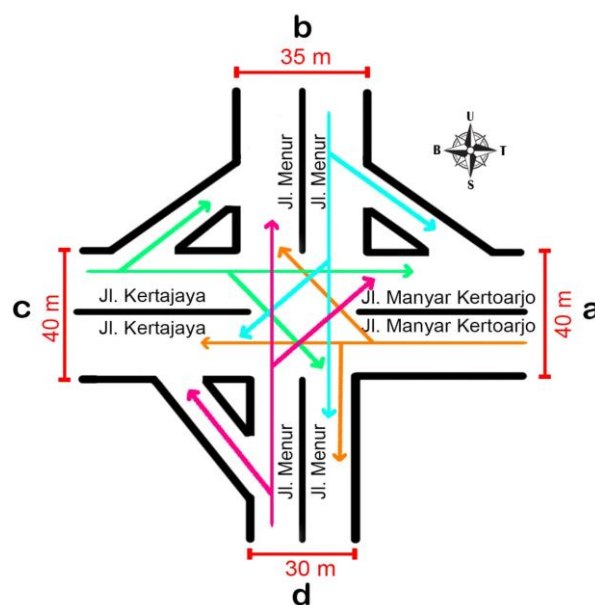
Persimpangan yang dijadikan Lokasi pada penelitian ini adalah Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur karena persimpangan tersebut merupakan salah satu persimpangan yang sering mengalami kemacetan.

4.1.1 Persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur

Lebar jalan pada setiap simpang di persimpangan empat jalan adalah:

1. Jalan Manyar Kertoarjo (A) memiliki 2 jalur simpang, dimana terdapat jalur keluar dan masuk dengan lebar 40 m.
2. Jalan Raya Menur (Bagian Utara) (B) memiliki 2 jalur simpang, dimana terdapat jalur keluar dan masuk dengan 35 m.
3. Jalan Kertajaya (C) memiliki 2 jalur simpang, dimana terdapat jalur keluar dan masuk dengan lebar 40 m.
4. Jalan Raya Menur (Bagian Selatan) memiliki 2 jalur simpang, dimana jalur keluar dan masuk dengan lebar 30 m.

Berikut ini diberikan ilustrasi jalan pada persimpangan empat Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur.



Gambar 4.1 Peta Geografis Persimpangan Jalan

Persimpangan lalu lintas pada Gambar 4.1 memiliki 12 jalur yang dapat dilewati oleh pengguna jalan. Jalur tersebut akan dinotasikan kembali menjadi:

ab = Arus dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Menur (Utara)

ac = Arus dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya

ad = Arus dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Menur (Selatan)

ba = Arus dari Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo

bc = Arus dari Jalan Menur (Utara) menuju Kertajaya

bd = Arus dari Jalan Menur (Utara) menuju Menur (Selatan)

ca = Arus dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Manyar Kertoarjo

cb = Arus dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara)

cd = Arus dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Selatan)

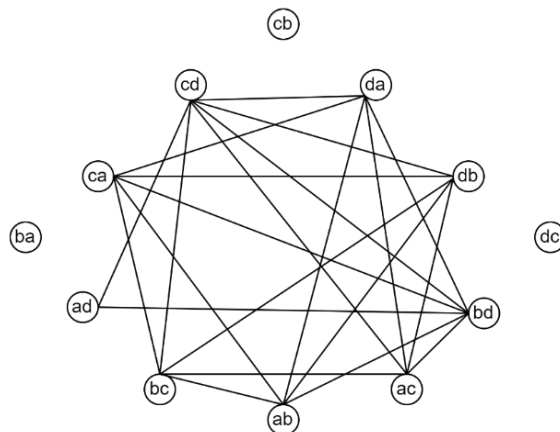
da = Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Manyar Kertoarjo

db = Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Menur (Utara)

dc = Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya

Persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur pada kondisi nyata memiliki 5 fase dalam satu siklus lalu lintas. Fase pertama arus lalu lintas adalah $ca-ac-ad$, fase kedua adalah $ca-cd$, fase ketiga adalah $bc-bd$, fase keempat $db-da-ad$, dan fase kelima adalah $ab-ac-ad$. Siklus berjalan dari fase pertama kemudian lanjut ke fase kedua, fase ketiga, fase keempat dan fase kelima secara berurutan.

Pembentukan graf dilakukan dengan merepresentasikan arus lalu lintas sebagai kumpulan sisi yang terhubung melalui simpul-simpul penghubung, Adapun simpul-simpul mewakili arus lalu lintas pada setiap jalur persimpangan, sedangkan sisi-sisi pada graf mewakili pasangan-pasangan arus yang apabila bergerak bersamaan akan mengalami tabrakan. Berikut adalah representasi graf berdasarkan pada peta geografis Gambar 4.1



Gambar 4.2 Graf Arus Konflik Persimpangan

Berdasarkan pada transformasi graf di atas, simpul ab, ac, ad, bc, bd, ca, cd, da, db merupakan simpul-simpul yang saling terhubung, artinya arus-arus ini akan mengalami konflik jika berjalan bersamaan. Sedangkan simpul ba, cb, dan dc merupakan simpul-simpul yang tidak saling terhubung dengan simpul lain dimana arus dapat berjalan bersamaan dengan arus lain dan selalu berlaku lampu hijau.

4.1.2 Data volume kendaraan pada lalu lintas di persimpangan empat

Pengumpulan data untuk volume kendaraan dilakukan dengan mengamati kendaraan melalui CCTV yang telah diberikan oleh Dinas Perhubungan. Pengumpulan data dilakukan per-jam dalam tiga periode waktu yaitu pagi, siang, dan sore. Hasil pengamatan melalui cctv di lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5. Berdasarkan kelima tabel di bawah ini puncak arus lalu lintas tertinggi terjadi pada Hari Senin.

Tabel 4.1 Volume Kendaraan Pada Hari Senin

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	308	582	500
	LV	150	357	333
	HV	5	6	2
ac	MC	1406	1815	2464
	LV	729	1431	1137
	HV	12	10	6
ad	MC	187	339	343
	LV	145	235	221
	HV	3	2	4
ba	MC	81	240	177
	LV	51	126	129
	HV	3	0	2
bc	MC	335	439	426
	LV	53	106	72
	HV	5	4	2
bd	MC	1083	895	1064
	LV	123	272	345
	HV	3	12	5
ca	MC	1565	1870	1454
	LV	380	1078	1069
	HV	7	5	2
cb	MC	62	174	150
	LV	32	83	94
	HV	3	6	0
cd	MC	227	246	260
	LV	46	79	108
	HV	2	4	5

Tabel 4.2 Volume Kendaraan Pada Hari Senin (Lanjutan)

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
da	MC	819	726	575
	LV	174	548	492
	HV	3	7	1
db	MC	590	637	786
	LV	72	243	168
	HV	7	8	2
dc	MC	133	147	148
	LV	69	73	80
	HV	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh bahwa volume kendaraan pada hari senin pagi relatif sedikit dibandingkan dengan Senin siang dan Senin Sore. Volume kendaraan tertinggi ditempati rute jalur dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya yakni volume kendaraan pada Senin pagi sebesar 2147 kendaraan, pada Senin Siang sebesar 3256 kendaraan, dan pada Senin Sore sebesar 3607 kendaraan. Sementara itu, volume kendaraan terkecil pada Senin Pagi ditempati rute jalur dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) sebesar 96 kendaraan sedangkan pada Senin Siang dan Senin Sore ditempati rute jalur Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya sebesar 220 kendaraan dan 228 kendaraan.

Tabel 4.3 Volume Kendaraan Pada Hari Selasa

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	283	560	494
	LV	134	374	310
	HV	5	5	2
ac	MC	1397	1806	2430
	LV	727	1426	1123
	HV	8	8	7
ad	MC	184	347	345
	LV	156	225	213
	HV	3	4	4
ba	MC	85	234	168
	LV	48	129	120
	HV	2	2	2
bc	MC	334	451	418
	LV	44	90	68
	HV	3	2	3
bd	MC	1082	890	1055
	LV	126	266	344
	HV	5	9	4
ca	MC	1572	1831	1439
	LV	371	1020	1021
	HV	10	7	1.5

Tabel 4.4 Volume Kendaraan Pada Hari Selasa (Lanjutan)

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
cb	MC	74	193	137
	LV	52	87	83
	HV	4	3	1
cd	MC	217	267	258
	LV	43	73	94
	HV	3	5	3
da	MC	776	752	567
	LV	153	560	492
	HV	6	6	2
db	MC	584	630	780
	LV	80	252	158
	HV	5	5	2
dc	MC	132	171	139
	LV	80	87	74
	HV	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.2 diperoleh bahwa volume kendaraan pada hari Selasa pagi relatif sedikit dibandingkan dengan Selasa siang dan Selasa Sore. Volume kendaraan tertinggi ditempati rute jalur dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya yakni volume kendaraan pada Selasa pagi sebesar 2132 kendaraan, pada Selasa Siang sebesar 3240 kendaraan, dan pada Selasa Sore sebesar 3560 kendaraan. Sementara itu, volume kendaraan terkecil pada Selasa Pagi ditempati rute jalur dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) sebesar 130 kendaraan sedangkan pada Selasa Siang dan Selasa Sore ditempati rute jalur Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya sebesar 258 kendaraan dan 212 kendaraan.

Tabel 4.5 Volume Kendaraan Pada Hari Rabu

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	268	548	510
	LV	126	377	321
	HV	3	6	2
ac	MC	1373	1790	2415
	LV	725	1411	1107
	HV	6	5	6
ad	MC	168	340	329
	LV	141	219	213
	HV	5	4	3
ba	MC	72	219	154
	LV	64	115	105
	HV	2	3	2
bc	MC	324	447	410
	LV	43	86	65
	HV	4	4	4
bd	MC	1067	892	1040
	LV	122	262	344
	HV	2	6	3

Tabel 4.6 Volume Kendaraan Pada Hari Rabu (Lanjutan)

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ca	MC	1570	1816	1422
	LV	345	1026	1022
	HV	6	5	2
cb	MC	82	185	127
	LV	51	76	79
	HV	3	2	4
cd	MC	154	275	268
	LV	44	69	81
	HV	3	3	2
da	MC	788	728	553
	LV	143	561	508
	HV	4	4	3
db	MC	581	606	757
	LV	77	249	138
	HV	5	6	2
dc	MC	122	148	145
	LV	63	70	72
	HV	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh bahwa volume kendaraan pada hari Rabu pagi relatif sedikit dibandingkan dengan Rabu siang dan Rabu Sore. Volume kendaraan tertinggi ditempati rute jalur dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya yakni volume kendaraan pada Rabu pagi sebesar 2104 kendaraan, pada Rabu Siang sebesar 3206 kendaraan, dan pada Rabu Sore sebesar 3528 kendaraan. Sementara itu, volume kendaraan terkecil pada Rabu Pagi ditempati rute jalur dari Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) sebesar 136 kendaraan sedangkan pada Rabu Siang dan Rabu Sore ditempati rute jalur Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya sebesar 218 kendaraan dan 217 kendaraan.

Tabel 4.7 Volume Kendaraan Pada Hari Kamis

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	281	554	499
	LV	123	366	322
	HV	7	6	5
ac	MC	1366	1788	2413
	LV	713	1394	1104
	HV	5	5	4
ad	MC	155	323	331
	LV	125	233	211
	HV	4	6	5
ba	MC	65	229	165
	LV	43	122	113
	HV	3	4	5

Tabel 4.8 Volume Kendaraan Pada Hari Kamis (Lanjutan)

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
bc	MC	317	444	406
	LV	46	94	67
	HV	6	5	4
bd	MC	1057	888	1036
	LV	121	264	341
	HV	4	6	5
ca	MC	1554	1823	1416
	LV	340	1018	1025
	HV	6	7	4
cb	MC	90	190	134
	LV	61	83	86
	HV	4	5	4
cd	MC	198	266	254
	LV	47	76	94
	HV	5	6	5
da	MC	788	725	547
	LV	151	567	494
	HV	5	6	4
db	MC	562	608	754
	LV	85	248	142
	HV	4	7	0
dc	MC	111	156	148
	LV	72	82	75
	HV	0	0	4

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh bahwa volume kendaraan pada hari Kamis pagi relatif sedikit dibandingkan dengan Kamis siang dan Kamis Sore. Volume kendaraan tertinggi ditempati rute jalur dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya yakni volume kendaraan pada Kamis pagi sebesar 2084 kendaraan, pada Kamis Siang sebesar 3187 kendaraan, dan pada Kamis Sore sebesar 3521 kendaraan. Sementara itu, volume kendaraan terkecil pada Kamis Pagi ditempati rute jalur dari Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo sebesar 111 kendaraan sedangkan pada Kamis Siang dan Kamis Sore ditempati rute jalur Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya sebesar 238 kendaraan dan 227 kendaraan.

Tabel 4.9 Volume Kendaraan Pada Hari Jumat

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	272	547	495
	LV	124	365	332
	HV	5	5	6
ac	MC	1358	1782	2411
	LV	712	1401	1094
	HV	6	7	5

Tabel 4.10 Volume Kendaraan Pada Hari Jumat (Lanjutan)

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ad	MC	166	336	326
	LV	135	240	215
	HV	2	7	3
ba	MC	73	217	166
	LV	48	122	117
	HV	3	6	4
bc	MC	311	436	397
	LV	50	101	75
	HV	5	7	6
bd	MC	1054	886	1026
	LV	134	274	347
	HV	5	5	6
ca	MC	1552	1818	1414
	LV	321	1013	1016
	HV	7	6	5
cb	MC	101	196	140
	LV	68	92	88
	HV	5	6	7
cd	MC	195	264	265
	LV	57	82	96
	HV	4	5	6
da	MC	783	724	545
	LV	156	563	493
	HV	2	5	6
db	MC	559	3298	745
	LV	88	252	157
	HV	4	6	2
dc	MC	105	159	142
	LV	78	88	78
	HV	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh bahwa volume kendaraan pada hari Jumat pagi relatif sedikit dibandingkan dengan Jumat siang dan Jumat Sore. Volume kendaraan tertinggi ditempati rute jalur dari Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya yakni volume kendaraan pada Jumat pagi sebesar 2076 kendaraan, pada Jumat Siang sebesar 3190 kendaraan, dan pada Jumat Sore sebesar 3521 kendaraan. Sementara itu, volume kendaraan terkecil pada Jumat Pagi ditempati rute jalur dari Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo sebesar 124 kendaraan sedangkan pada Jumat Siang dan Jumat Sore ditempati rute jalur Arus dari Jalan Menur (Selatan) menuju Jalan Kertajaya sebesar 247 kendaraan dan 220 kendaraan.

4.1.3 Perhitungan smp Kendaraan

Perhitungan smp kendaraan dilakukan dengan mengalikan volume kendaraan dengan nilai emp yang sesuai (Singh, 2020). Dalam penelitian ini nilai emp

berdasarkan pada standar MKJI dimana kendaraan diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu Kendaraan Bermotor (MC) dengan faktor 0,5, Kendaraan Ringan (LV) dengan faktor 1,0, Kendaraan berat (HV) dengan faktor 1,3 (Alfitra & Umar, 2023). Hasil perhitungan smp selama Hari Senin-Jumat dapat dilihat pada Tabel 4.6 sampai Tabel 4.10.

Tabel 4.11 Perhitungan smp pada Hari Senin

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	310,50	655,80	585,60
ac	1447,60	2351,50	2376,80
ad	242,4	407,1	397,7
ba	95,4	246	220,1
bc	227	330,7	287,6
bd	668,4	735,1	883,5
ca	1171,6	2020	1798,6
cb	66,9	177,8	169
cd	162,1	207,2	244,5
da	587,4	920,1	780,8
db	376,1	571,9	563,6
dc	135,5	146,5	154

Berdasarkan pada Tabel 4.6, pada saat Hari Senin pagi, Senin siang dan Senin sore nilai smp tertinggi terdapat pada Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya dengan total masing-masing smp sebanyak 1447,60; 2351,50 dan 2376,80. Sedangkan nilai smp terendah pada saat Senin pagi terdapat pada Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo sebanyak 95,4 sementara itu pada saat Senin siang dan Senin sore terdapat pada Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya dengan total masing-masing sebanyak 146,5 dan 154.

Tabel 4.12 Perhitungan smp pada Hari Selasa

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	282	660,50	559,60
ac	1435,90	2339,40	2347,10
ad	251,9	403,7	390,7
ba	93,1	248,6	206,6
bc	214,9	318,1	280,9
bd	673,5	722,7	876,7
ca	1170	1944,6	1743,1
cb	94,2	187,4	152,8
cd	155,4	213	226,9
da	548,8	943,8	778,1
db	378,5	573,5	550,6
dc	146	172,5	143,5

Berdasarkan pada Tabel 4.7, pada saat Hari Senin pagi, Senin siang dan Senin sore nilai smp tertinggi terdapat pada Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya

dengan total masing-masing smp sebanyak 1435,90; 2339,40 dan 2347,10. Sedangkan nilai smp terendah pada saat Senin pagi terdapat pada Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo sebanyak 93,1 sementara itu pada saat Senin siang dan Senin sore terdapat pada Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya dengan total masing-masing sebanyak 172,5 dan 143,5.

Tabel 4.13 Perhitungan smp pada Hari Rabu

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	263,90	658,80	578,60
ac	1419,30	2312,50	2322,30
ad	231,5	394,2	381,4
ba	102,6	228,4	184,6
bc	210,2	314,7	275,2
bd	658,1	715,8	217,6
ca	1137,8	1940,5	1735,6
cb	95,9	171,1	147,7
cd	124,9	210,4	217,6
da	542,2	930,2	788,4
db	374	559,8	519,1
dc	124	144	144,5

Berdasarkan pada Tabel 4.8, pada saat Hari Senin pagi, Senin siang dan Senin sore nilai smp tertinggi terdapat pada Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya dengan total masing-masing smp sebanyak 1419,30; 2312,50 dan 2322,30. Sedangkan nilai smp terendah pada saat Senin pagi terdapat pada Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) sebanyak 95,9 sementara itu pada saat Senin siang dan Senin sore terdapat pada Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya dengan total masing-masing sebanyak 144 dan 144,5.

Tabel 4.14 Perhitungan smp pada Hari Kamis

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	265,30	650,80	578
ac	1402,50	2294,50	2315,70
ad	207,7	402,3	383
ba	79,4	241,7	202
bc	208,3	322,5	275,2
bd	654,7	715,8	865,5
ca	1124,8	1938,6	1738,2
cb	111,2	184,5	158,2
cd	152,5	216,8	227,5
da	551,5	937,3	772,7
db	371,2	561,1	519
dc	127,5	160	154,2

Berdasarkan pada Tabel 4.9, pada saat Hari Senin pagi, Senin siang dan Senin sore nilai smp tertinggi terdapat pada Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya

dengan total masing-masing smp sebanyak 1402,50; 2294,50 dan 2315,70. Sedangkan nilai smp terendah pada saat Senin pagi terdapat pada Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo sebanyak 79,4 sementara itu pada saat Senin siang dan Senin sore terdapat pada Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya dengan total masing-masing sebanyak 144 dan 144,5.

Tabel 4.15 Perhitungan smp pada Hari Jumat

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	266,50	645	587,30
ac	1398,80	2301,1	2306
ad	970,6	417,1	381,9
ba	88,4	238,3	205,2
bc	212	328,1	281,3
bd	667,5	723,5	867,8
ca	1106,1	1929,8	1729,5
cb	125	197,8	167,1
cd	159,7	220,5	236,3
da	550,1	931,5	773,3
db	372,7	1908,8	532,1
dc	130,5	179,5	149

Berdasarkan pada Tabel 4.10, pada saat Hari Senin pagi, Senin siang dan Senin sore nilai smp tertinggi terdapat pada Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya dengan total masing-masing smp sebanyak 1398,80; 2301,1 dan 2306. Sedangkan nilai smp terendah pada saat Senin pagi terdapat pada Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) sebanyak 125 sementara itu pada saat Senin siang dan Senin sore terdapat pada Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya dengan total masing-masing sebanyak 179,5 dan 149.

4.1.4 Normalisasi Volume Kendaraan dan Lebar Jalan

Pada tahapan ini akan dilakukan normalisasi volume kendaraan dan lebar jalan karena kedua variabel memiliki skala pengukuran data berbeda. Metode yang digunakan dalam normalisasi ini adalah Normalisasi Min-Max dimana metode ini merubah data ke skala [0,1]. Metode Normalisasi Min-Max menggunakan rumus sebagai berikut (Henderi, 2021):

- Metode Normalisasi Min-Max pada volume kendaraan

$$V'_i = \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}$$

Hasil perhitungan normalisasi Min-Max volume kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.15.

Tabel 4.16 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Senin

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	0,176	0,231	0,194
ac	1	1	1
ad	0,127	0,118	0,110
ba	0,021	0,045	0,030
bc	0,116	0,084	0,060
bd	0,436	0,267	0,328
ca	0,800	0,850	0,740
cb	0	0,014	0,007
cd	0,069	0,028	0,041
da	0,377	0,351	0,282
db	0,224	0,193	0,184
dc	0,050	0	0

Dari Tabel 4.11 diperoleh hasil bahwa pada ruas Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya volume kendaraan mencapai nilai maksimum 1 pada semua rentang waktu yang diukur yakni saat Senin pagi, Senin siang, dan Senin malam. Hal ini menunjukkan bahwa ruas jalan tersebut memiliki volume kendaraan tertinggi. Sedangkan pada ruas Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) volume kendaraan mendekati 0 pada waktu Senin pagi, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas. Sementara itu pada ruas jalan lain yaitu Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya volume kendaraan mendekati 0 saat Senin siang dan sore, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas.

Tabel 4.17 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Selasa

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	0,141	0,225	0,189
ac	1	1	1
ad	0,118	0,107	0,112
ba	0	0,035	0,029
bc	0,091	0,067	0,062
bd	0,432	0,254	0,333
ca	0,802	0,818	0,726
cb	0,001	0,007	0,004
cd	0,046	0,019	0,038
da	0,339	0,356	0,288
db	0,213	0,185	0,185
dc	0,039	0	0

Dari Tabel 4.12 diperoleh hasil bahwa pada ruas Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya volume kendaraan mencapai nilai maksimum 1 pada semua rentang waktu yang diukur yakni saat Senin pagi, Senin siang, dan Senin malam. Hal

ini menunjukkan bahwa ruas jalan tersebut memiliki volume kendaraan tertinggi. Sedangkan pada ruas Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo volume kendaraan mendekati 0 pada waktu Senin pagi, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas. Sementara itu pada ruas jalan lain yaitu Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya volume kendaraan mendekati 0 saat Senin siang dan sore, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas.

Tabel 4.18 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Rabu

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	0,127	0,237	0,199
ac	1	1	1
ad	0,102	0,115	0,109
ba	0,005	0,039	0,018
bc	0,086	0,079	0,060
bd	0,425	0,264	0,332
ca	0,787	0,828	0,731
cb	0	0,012	0,001
cd	0,022	0,033	0,034
da	0,337	0,363	0,296
db	0,210	0,192	0,172
dc	0,021	0	0

Dari Tabel 4.13 diperoleh hasil bahwa pada ruas Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya volume kendaraan mencapai nilai maksimum 1 pada semua rentang waktu yang diukur yakni saat Senin pagi, Senin siang, dan Senin malam. Hal ini menunjukkan bahwa ruas jalan tersebut memiliki volume kendaraan tertinggi. Sedangkan pada ruas Jalan Kertajaya menuju Jalan Menur (Utara) volume kendaraan mendekati 0 pada waktu Senin pagi, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas. Sementara itu pada ruas jalan lain yaitu Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya volume kendaraan mendekati 0 saat Senin siang dan sore, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas.

Tabel 4.19 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Kamis

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	0,141	0,230	0,196
ac	1	1	1
ad	0,097	0,114	0,106
ba	0	0,038	0,022
bc	0,097	0,076	0,056
bd	0,435	0,260	0,329
ca	0,790	0,833	0,733
cb	0,024	0,011	0,002

Tabel 4.20 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Kamis
(Lanjutan)

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
cd	0,055	0,027	0,034
da	0,357	0,364	0,286
db	0,221	0,188	0,169
dc	0,036	0	0

Dari Tabel 4.14 diperoleh hasil bahwa pada ruas Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya volume kendaraan mencapai nilai maksimum 1 pada semua rentang waktu yang diukur yakni saat Senin pagi, Senin siang, dan Senin malam. Hal ini menunjukkan bahwa ruas jalan tersebut memiliki volume kendaraan tertinggi. Sedangkan pada ruas Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo volume kendaraan mendekati 0 pada waktu Senin pagi, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas. Sementara itu pada ruas jalan lain yaitu Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya volume kendaraan mendekati 0 saat Senin siang dan sore, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas.

Tabel 4.21 Metode Normalisasi Min-Max Volume Kendaraan pada Hari Jumat

Ruas Jalan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	0,136	0,224	0,203
ac	1	1	1
ad	0,101	0,117	0,108
ba	0	0,033	0,026
bc	0,094	0,075	0,061
bd	0,442	0,261	0,333
ca	0,777	0,826	0,733
cb	0,028	0,014	0,008
cd	0,054	0,025	0,040
da	0,352	0,358	0,289
db	0,217	0,816	0,178
dc	0,032	0	0

Dari Tabel 4.15 diperoleh hasil bahwa pada ruas Jalan Manyar Kertoarjo menuju Jalan Kertajaya volume kendaraan mencapai nilai maksimum 1 pada semua rentang waktu yang diukur yakni saat Senin pagi, Senin siang, dan Senin malam. Hal ini menunjukkan bahwa ruas jalan tersebut memiliki volume kendaraan tertinggi. Sedangkan pada ruas Jalan Menur (Utara) menuju Jalan Manyar Kertoarjo volume kendaraan mendekati 0 pada waktu Senin pagi, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas. Sementara itu pada ruas jalan lain yaitu Jalan Menur (Selatan) menuju Kertajaya volume kendaraan mendekati 0 saat

Senin siang dan sore, menunjukkan bahwa pada ruas jalan tersebut hanya terdapat sedikit kendaraan yang melintas.

- Min-Max Normalization untuk Lebar Jalan

$$l'_i = \frac{l_i - l_{min}}{l_{max} - l_{min}}$$

Hasil perhitungan normalisasi Min-Max Lebar Jalan dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.22 Metode Min-Max Normalization Lebar Jalan pada Senin

Ruas Jalan	Lebar Jalan	Normalisasi
a (Jl. Manyar Kertoarjo)	20	1,0
b (Jl. Menur Utara)	17,5	0,5
c (Jl. Kertajaya)	20	1,0
d (Jl. Menur Selatan)	15	0,0

Berdasarkan, 4.16 Ruas Jalan pada Jl. Manyar Kertoarjo dan Jl Menur Utara memiliki lebar jalan yang sama yaitu 20 meter. Setelah dinormalisasi, kedua ruas jalan ini memiliki nilai normalisasi 1 yang menunjukkan bahwa kedua ruas jalan ini memiliki lebar jalan yang maksimum. Pada Jl. Menur Selatan memiliki lebar jalan 15 meter. Setelah di normalisasi, nilai lebar jalan menjadi 0 yang menunjukkan bahwa ini adalah lebar jalan minimum.

4.1.5 Penentuan Bobot

Tahapan selanjutnya yaitu akan diberikan bobot kombinasi pada kedua variabel sesuai kepentingannya. Karena volume kendaraan dan lebar jalan sama-sama berpengaruh pada kemacetan di Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur maka masing masing diberi bobot 0,5. Kombinasi bobot menggunakan persamaan (2.2). Hasil perhitungan bobot kombinasi dapat dilihat pada Tabel 4.17 sampai Tabel 4.31.

Tabel 4.23 Bobot Kombinasi pada Senin Pagi

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,338	ca	0,900
ac	1	cb	0,250
ad	0,064	cd	0,034
ba	0,510	da	0,688
bc	0,558	db	0,362
bd	0,218	dc	0,525

Pada Tabel 4.17 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin pagi, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.24 Bobot Kombinasi pada Senin Siang

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,365	ca	0,925
ac	1	cb	0,257
ad	0,059	cd	0,014
ba	0,523	da	0,675
bc	0,542	db	0,346
bd	0,133	dc	0,500

Pada Tabel 4.18 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Siang, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Siang.

Tabel 4.25 Bobot Kombinasi pada Senin Sore

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,347	ca	0,870
ac	1	cb	0,253
ad	0,055	cd	0,020
ba	0,515	da	0,641
bc	0,530	db	0,342
bd	0,164	dc	0,500

Pada Tabel 4.19 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Sore, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Sore.

Tabel 4.26 Bobot Kombinasi pada Selasa Pagi

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,320	ca	0,901
ac	1	cb	0,250
ad	0,059	cd	0,023
ba	0,500	da	0,670
bc	0,545	db	0,356
bd	0,216	dc	0,520

Pada Tabel 4.20 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin pagi, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.27 Bobot Kombinasi pada Selasa Siang

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,363	ca	0,909
ac	1	cb	0,253
ad	0,053	cd	0,009
ba	0,518	da	0,678
bc	0,534	db	0,343
bd	0,127	dc	0,500

Pada Tabel 4.21 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Siang, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Siang.

Tabel 4.28 Bobot Kombinasi pada Selasa Sore

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,344	ca	0,863
ac	1	cb	0,252
ad	0,056	cd	0,019
ba	0,514	da	0,644
bc	0,531	db	0,342
bd	0,166	dc	0,500

Pada Tabel 4.22 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Sore, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Sore.

Tabel 4.29 Bobot Kombinasi pada Rabu Pagi

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,313	ca	0,894
ac	1	cb	0,250
ad	0,051	cd	0,011
ba	0,503	da	0,669
bc	0,543	db	0,355
bd	0,212	dc	0,511

Pada Tabel 4.23 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin pagi, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.30 Bobot Kombinasi pada Rabu Siang

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,369	ca	0,914
ac	1	cb	0,256
ad	0,058	cd	0,015
ba	0,519	da	0,681

Tabel 4.31 Bobot Kombinasi pada Rabu Siang (Lanjutan)

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
Bc	0,539	db	0,346
bd	0,132	dc	0,500

Pada Tabel 4.24 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Siang, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Siang.

Tabel 4.32 Bobot Kombinasi pada Rabu Sore

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,350	ca	0,865
ac	1	cb	0,251
ad	0,054	cd	0,017
ba	0,509	da	0,648
bc	0,530	db	0,336
bd	0,166	dc	0,500

Pada Tabel 4.25 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Sore, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Sore.

Tabel 4.33 Bobot Kombinasi pada Kamis Pagi

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,320	ca	0,895
ac	1	cb	0,262
ad	0,048	cd	0,028
ba	0,500	da	0,678
bc	0,549	db	0,360
bd	0,217	dc	0,518

Pada Tabel 4.26 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin pagi, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.34 Bobot Kombinasi pada Kamis Siang

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,365	ca	0,917
ac	1	cb	0,256
ad	0,057	cd	0,013
ba	0,519	da	0,682
bc	0,538	db	0,344
bd	0,130	dc	0,500

Pada Tabel 4.27 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Siang, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Siang.

Tabel 4.35 Bobot Kombinasi pada Kamis Sore

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,349	ca	0,867
ac	1	cb	0,252
ad	0,054	cd	0,018
ba	0,512	da	0,644
bc	0,529	db	0,355
bd	0,165	dc	0,500

Pada Tabel 4.28 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Sore, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.36 Bobot Kombinasi pada Jumat Pagi

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,318	ca	0,888
ac	1	cb	0,264
ad	0,050	cd	0,027
ba	0,500	da	0,676
bc	0,547	db	0,358
bd	0,221	dc	0,516

Pada Tabel 4.29 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin pagi, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Pagi.

Tabel 4.37 Bobot Kombinasi pada Jumat Siang

Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,362	ca	0,913
ac	1	cb	0,257
ad	0,058	cd	0,012
ba	0,517	da	0,679
bc	0,538	db	0,658
bd	0,130	dc	0,500

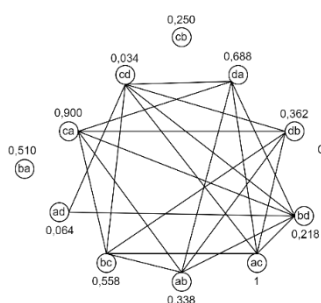
Pada Tabel 4.30 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Siang, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Siang.

Tabel 4.38 Bobot Kombinasi pada Jumat Sore

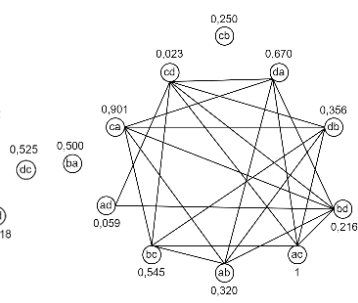
Arus Jalan	Bobot Kombinasi	Arus Jalan	Bobot Kombinasi
ab	0,352	ca	0,866
ac	1	cb	0,254
ad	0,054	cd	0,020
ba	0,513	da	0,645
bc	0,531	db	0,339
bd	0,167	dc	0,500

Pada Tabel 4.31 menunjukkan bobot kombinasi arus jalan pada Senin Sore, yang akan digunakan untuk membuat graf berbobot Senin Sore.

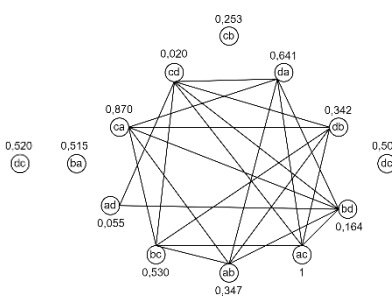
Selanjutnya dibentuk graf berbobot yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 sampai 4.17



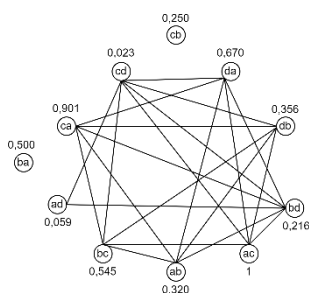
Gambar 4.3 Graf Berbobot Senin Pagi



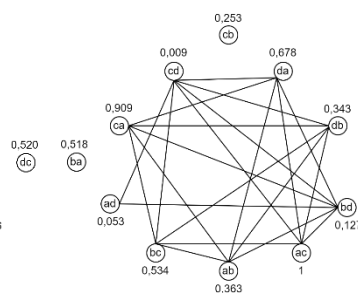
Gambar 4.4 Graf Berbobot Senin Siang



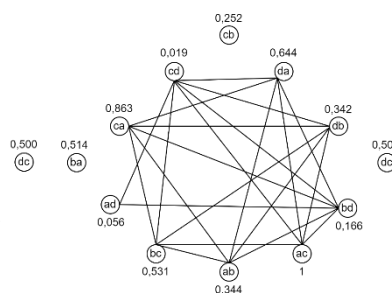
Gambar 4.5 Graf Berbobot Senin Sore



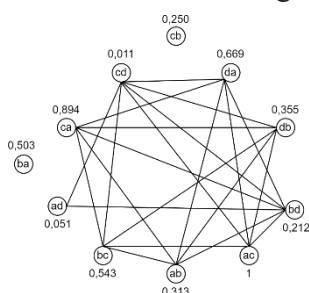
Gambar 4.6 Graf Berbobot Selasa Pagi



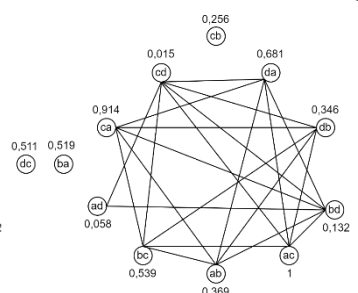
Gambar 4.7 Graf Berbobot Selasa Siang



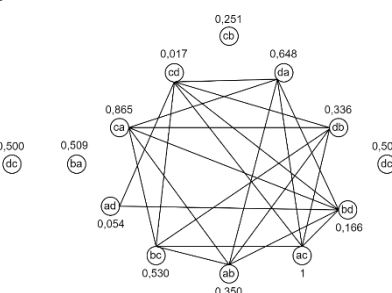
Gambar 4.8 Graf Berbobot Selasa Sore



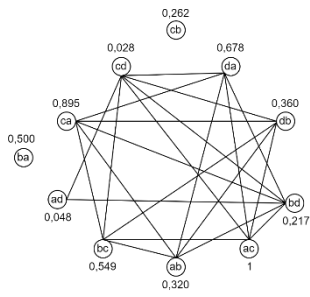
Gambar 4.9 Graf Berbobot Rabu Pagi



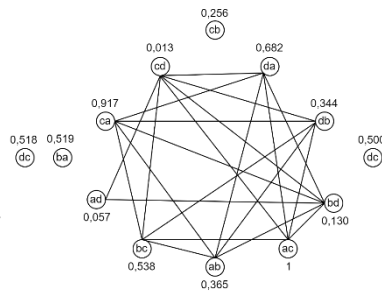
Gambar 4.10 Graf Berbobot Rabu Siang



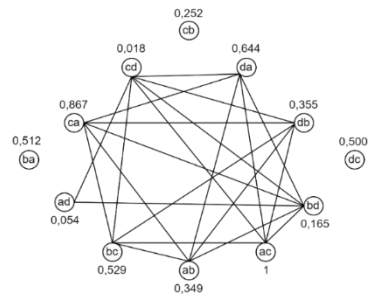
Gambar 4.11 Graf Berbobot Rabu Sore



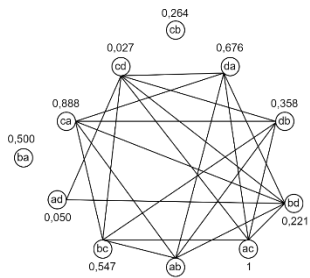
Gambar 4.12 Graf Berbobot Kamis Pagi



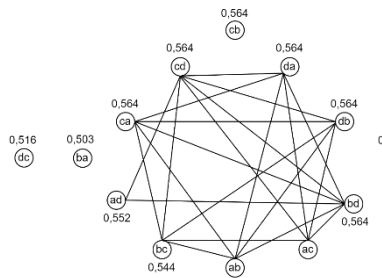
Gambar 4.13 Graf Berbobot Kamis Siang



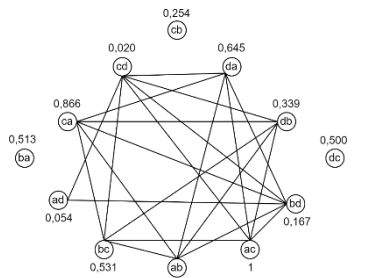
Gambar 4.14 Graf G Kamis Sore



Gambar 4.15 Graf Berbobot Jumat Pagi



Gambar 4.16 Graf Berbobot Jumat Sore



Gambar 4.17 Graf Berbobot Jumat Sore

4.1.6 Pewarnaan Graf

Pada Tahapan ini akan dilakukan pewarnaan graf dengan dua Algoritma yakni Algoritma Welch-Powell dan Algoritma Greedy.

a. Algoritma Welch Powell

Berdasarkan pada Gambar 4.3 graf berbobot senin pagi, akan dilakukan pewarnaan simpul dengan algoritma Welch Powell.

1. Urutkan simpul berdasarkan derajatnya yaitu dari derajat terbanyak ke derajat tersedikit dan bobot terbesar ke bobot terkecil.

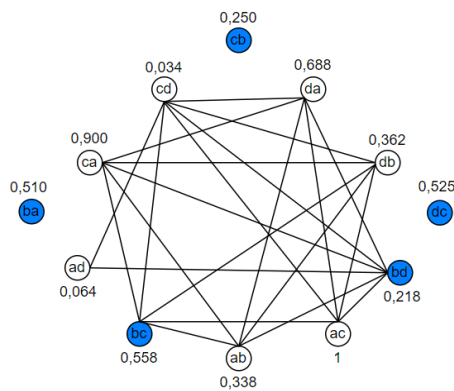
Tabel 4.39 Pengurutan Simpul berdasarkan derajat terbanyak

simpul	bd	cd	ac	ca	da	bc	ab	db	ad	ba	dc	cb
derajat	6	6	5	5	5	5	5	5	2	0	0	0

Tabel 4.40 Pengurutan Simpul berdasarkan bobot terbesar

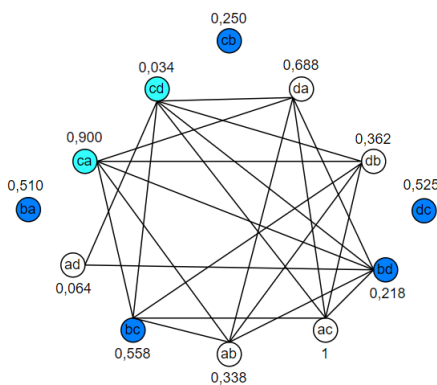
Simpul	Bobot	Simpul	Bobot
ac	1	ab	0,338
ca	0,900	db	0,362
da	0,688	cb	0,250
bc	0,558	bd	0,218
dc	0,525	ad	0,064
ba	0,510	cd	0,034

- Pilih simpul yang memiliki derajat terbanyak beri warna pertama dan apabila terdapat dua simpul yang memiliki derajat terbanyak yang sama maka simpul yang memiliki bobot tertinggi akan diwarnai terlebih dahulu dengan warna pertama. Simpul-simpul yang tidak bertetangga juga diberi warna pertama.



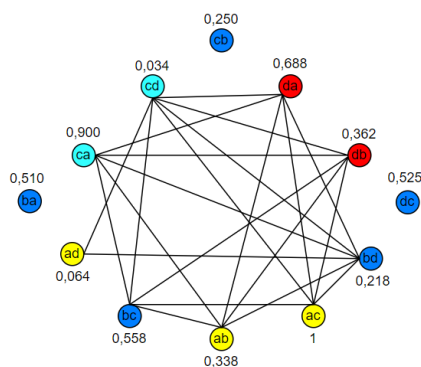
Gambar 4.18 Graf G WP Senin Pagi 1

- Proses diulangi dengan memilih warna kedua dengan simpul yang memiliki derajat yang terbanyak kedua dan dan apabila terdapat dua simpul yang memiliki derajat terbanyak yang sama maka simpul yang memiliki bobot tertinggi akan diwarnai terlebih dahulu dengan warna kedua. Simpul-simpul yang tidak bertetangga diberi warna kedua.



Gambar 4.19 Graf G WP Senin Pagi 2

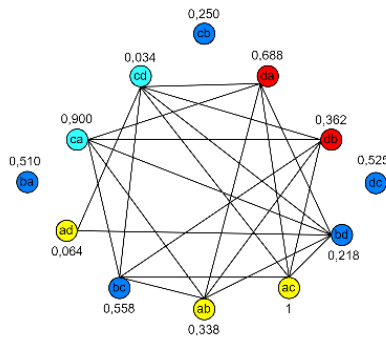
- Lakukan langkah 1 hingga 3 secara berulang sampai seluruh simpul telah diwarnai.



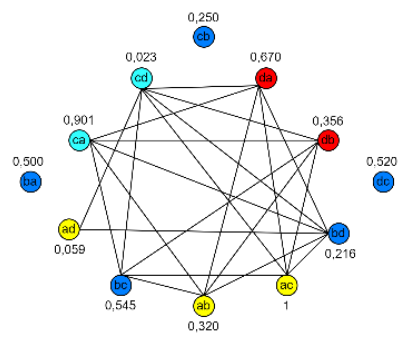
Gambar 4.20 Graf G WP Senin Pagi 2

Hasil pewarnaan ini menghasilkan bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Sehingga diperoleh 4 fase yaitu fase pertama $bd-bc-cb-dc-ba$, fase kedua adalah $ca-cd$, fase ketiga adalah $ad-ab-ac$, fase keempat $da-db$.

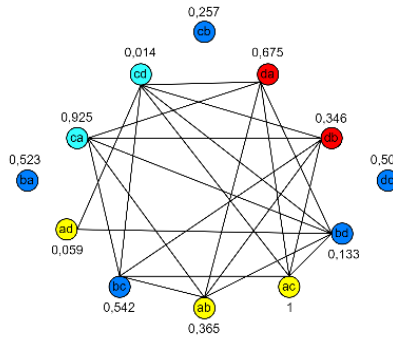
Berikut adalah Hasil pewarnaan Welch Powell Hari Senin-Kamis pada periode waktu pagi, siang dan sore.



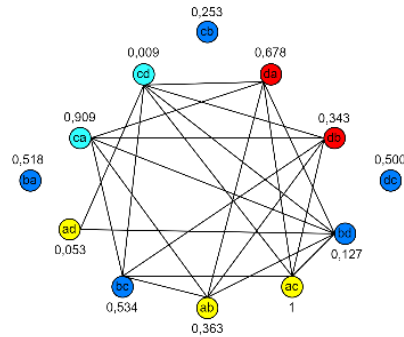
Gambar 4.21 WP Senin pagi



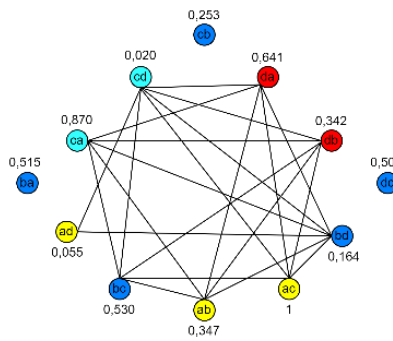
Gambar 4.22 WP Selasa Pagi



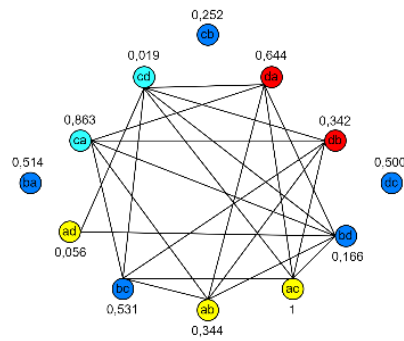
Gambar 4.23 WP Senin siang



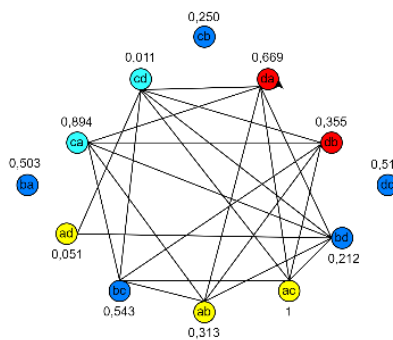
Gambar 4.24 WP Selasa siang



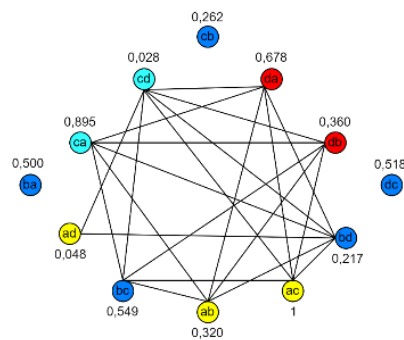
Gambar 4.25 WP Senin sore



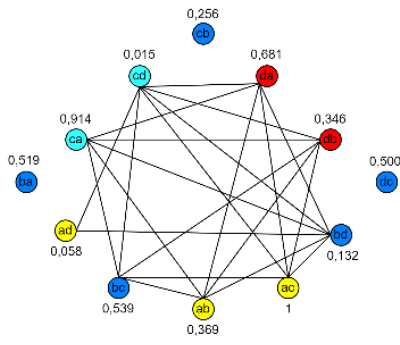
Gambar 4.26 WP Selasa sore



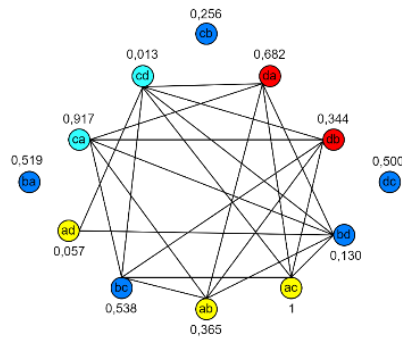
Gambar 4.27 WP Rabu pagi



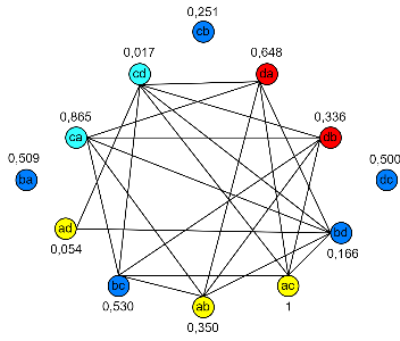
Gambar 4.28 WP Kamis pagi



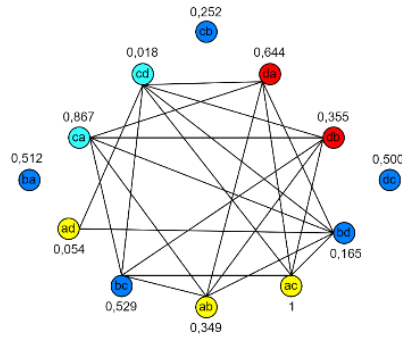
Gambar 4.29 WP Rabu siang



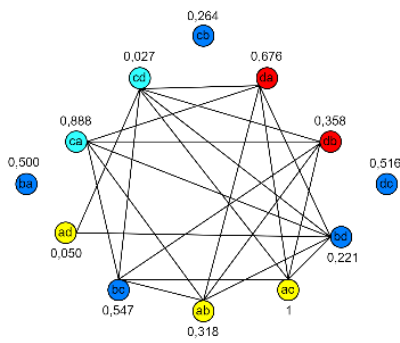
Gambar 4.30 WP Kamis siang



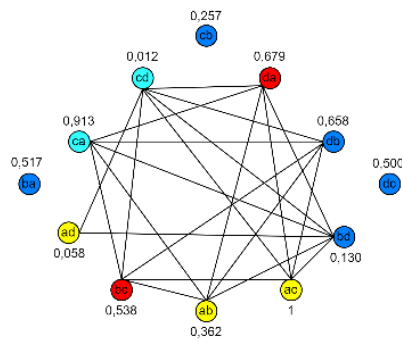
Gambar 4.31 WP Rabu sore



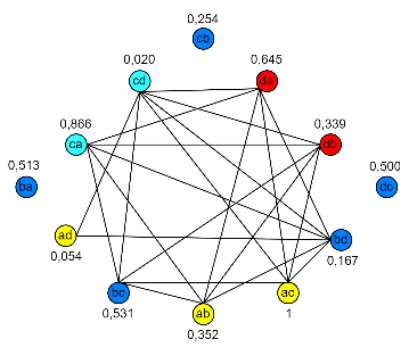
Gambar 4.32 WP Kamis sore



Gambar 4.33 WP Jumat pagi



Gambar 4.34 Jumat siang



Gambar 4.35 WP Jumat sore

b. Algoritma Greedy

Berdasarkan pada Gambar 4.3 graf berbobot senin pagi, akan dilakukan pewarnaan simpul dengan algoritma Greedy.

1. Membangun himpunan kandidat C

Dalam melakukan pewarnaan graf ini, himpunan kandidat warna yang akan digunakan terdiri dari 12 jenis warna. Himpunan Himpunan $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$.

Keterangan:

1 = Biru tua, 2 = Biru muda, 3 = Kuning, 4 = Merah, 5 = Hijau tua, 6 = Hijau muda, 7 = Ungu tua, 8 = Merah muda, 9 = Abu-abu 10 = Coklat, 11 = Oranye, 12 = Ungu muda.

2. Mengurutkan Simpul

Urutkan simpul berdasarkan derajatnya yaitu dari derajat terbanyak ke derajat tersedikit dan bobot terbesar ke bobot terkecil.

Tabel 4.41 Pengurutan Simpul berdasarkan derajat terbanyak

simpul	bd	cd	ac	ca	da	bc	ab	db	ad	ba	dc	cb
derajat	6	6	5	5	5	5	5	5	2	0	0	0

Tabel 4.42 Pengurutan Simpul berdasarkan bobot terbesar

Simpul	Bobot	Simpul	Bobot
ac	1	ab	0,338
ca	0,900	db	0,362
da	0,688	cb	0,250
bc	0,558	bd	0,218
dc	0,525	ad	0,064
ba	0,510	cd	0,034

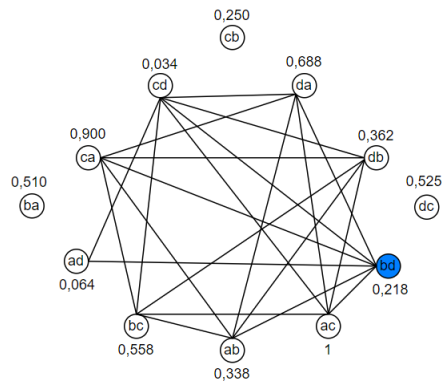
3. Memilih simpul & warna

a. Memilih Simpul

Pada tahapan ini akan dilakukan pewarnaan simpul yang telah dipilih. Prioritas pengerjaan diberikan pada simpul dengan derajat terbanyak dan bobot tertinggi. Berdasar pada Tabel, simpul dengan derajat paling banyak ada dua yaitu bd dan cd, karena bd memiliki bobot lebih besar maka simpul bd akan di beri warna 1.

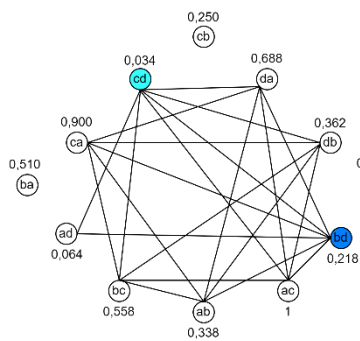
b. Memberi Warna

Seleksi warna dari himpunan kandidat, untuk pewarnaan simpul bd menggunakan warna dari himpunan kandidat yang pertama dipilih dari himpunan kandidat C yaitu warna biru tua. Karena warna pada kandidat pertama telah digunakan satu anggota maka elemen himpunan kandidat C tersisa 11 anggota yaitu $C = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$.

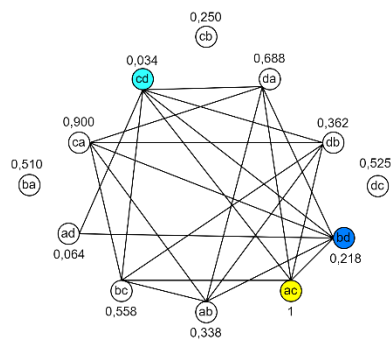


Gambar 4.36 Langkah seleksi simpul bd

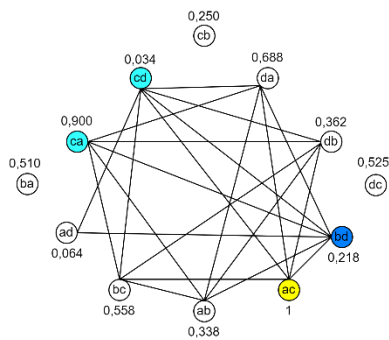
4. Pada tahap selanjutnya akan di periksa kelayakan warna biru tua yang digunakan untuk simpul bd, dapat dilihat dari ketetanggannya. Simpul bd bertetangga dengan 6 buah simpul yang belum diwarnai, sehingga warna biru tua layak digunakan untuk simpul bd.
5. Warna biru tua yang sudah digunakan untuk simpul bd masuk kedalam himpunan solusi, sehingga himpunan solusi yang terbentuk yaitu $C = \{Biru tua\}$.
6. Pada tahapan ini digunakan apakah solusi sudah meliputi pewarnaan seluruh simpul dengan solusi optimal, jika sudah maka berhenti dan jika belum kembali ke langkah seleksi simpul, karena proses pewarnaan simpul belum selesai, maka proses kembali ke langkah seleksi simpul.
7. Langkah seleksi simpul cd, ac, ca, da, bc, db, ab, ad, dc, ba, cb .



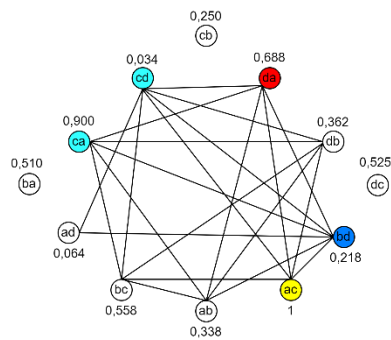
Gambar 4.37 Langkah seleksi simpul cd



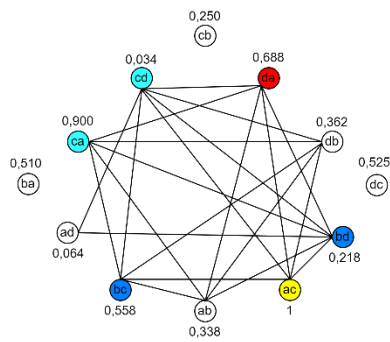
Gambar 4.38 Langkah seleksi simpul ac



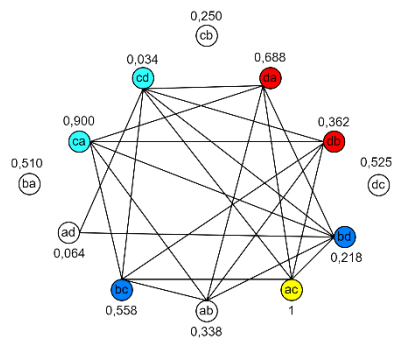
Gambar 4.39 Langkah seleksi simpul ca



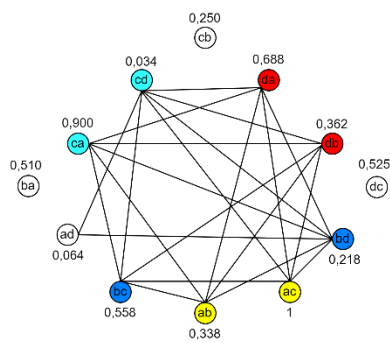
Gambar 4.40 Langkah seleksi simpul da



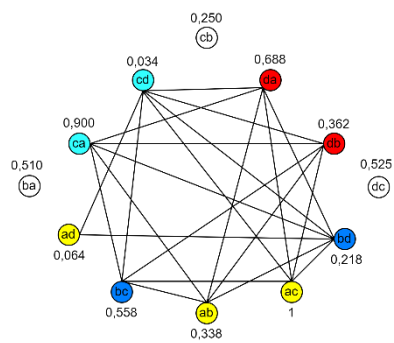
Gambar 4.41 Langkah seleksi simpul bc



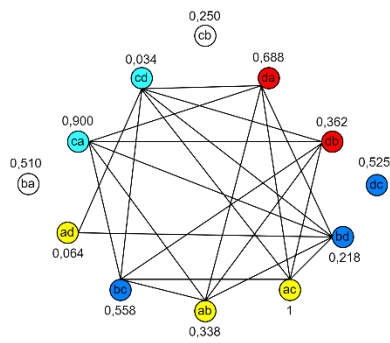
Gambar 4.42 Langkah seleksi simpul db



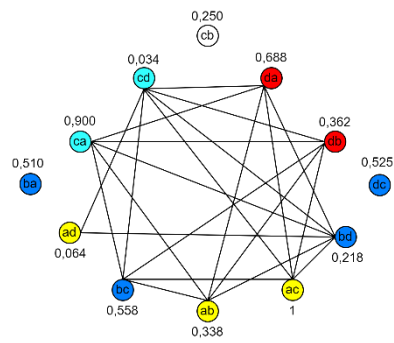
Gambar 4.43 Langkah seleksi simpul ab



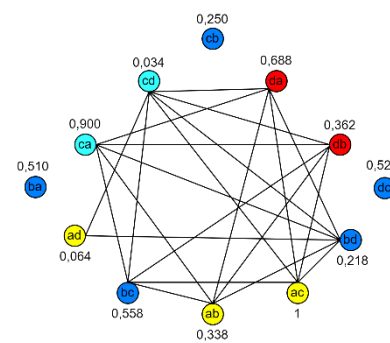
Gambar 4.44 Langkah seleksi simpul ad



Gambar 4.45 Langkah seleksi simpul dc



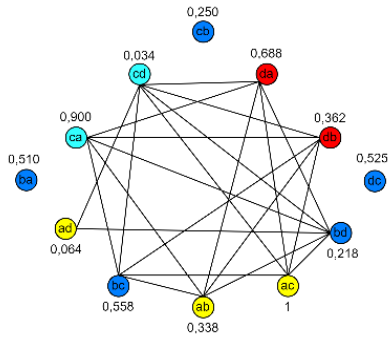
Gambar 4.46 Langkah seleksi simpul ba



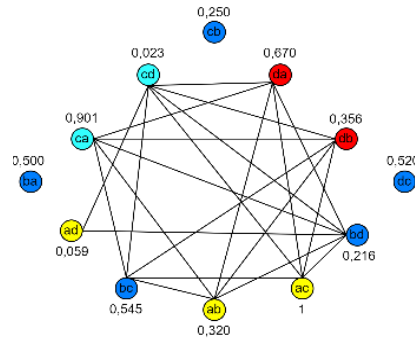
Gambar 4.47 Langkah seleksi simpul cb

Hasil pewarnaan ini menghasilkan bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Sehingga diperoleh 4 fase yaitu fase pertama $bd-bc-cb-dc-ba$, fase kedua adalah $ca-cd$, fase ketiga adalah $ad-ab-ac$, fase keempat $da-db$.

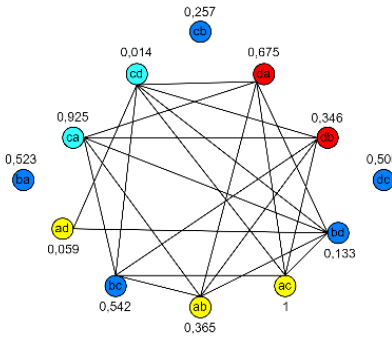
Berikut adalah Hasil pewarnaan greedy hari Senin-Kamis pada periode waktu pagi, siang dan sore.



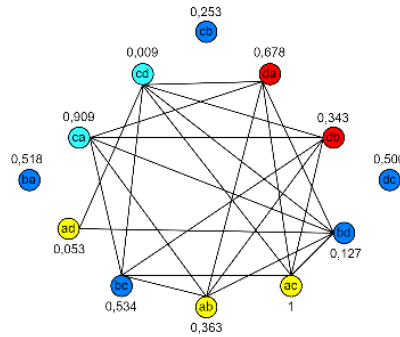
Gambar 4.48 Gr Senin pagi



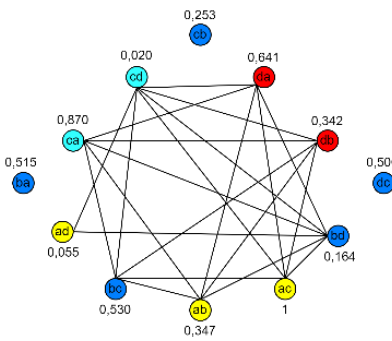
Gambar 4.49 Gr Selasa Pagi



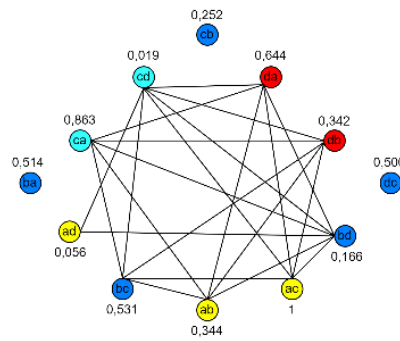
Gambar 4.50 Gr Senin siang



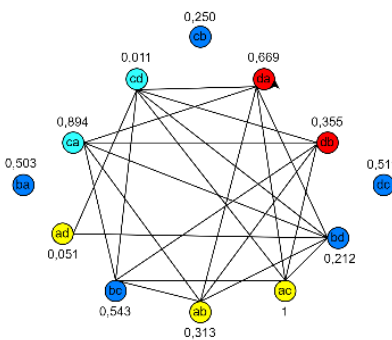
Gambar 4.51 Gr Selasa siang



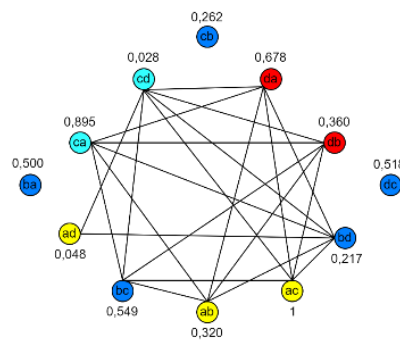
Gambar 4.52 Gr Senin sore



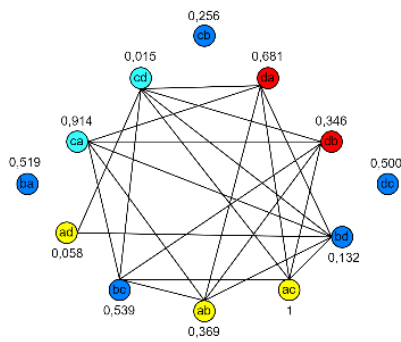
Gambar 4.53 Gr Selasa sore



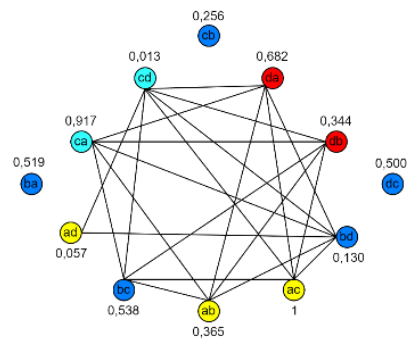
Gambar 4.54 Gr Rabu pagi



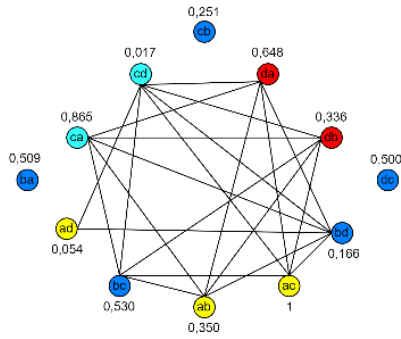
Gambar 4.55 Gr Kamis pagi



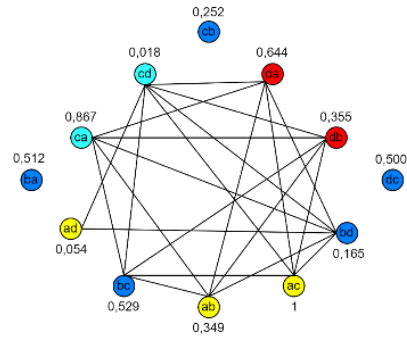
Gambar 4.56 Gr Rabu siang



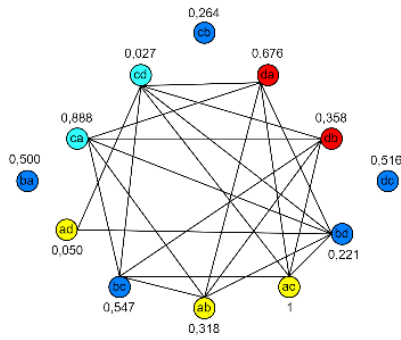
Gambar 4.57 Gr Kamis siang



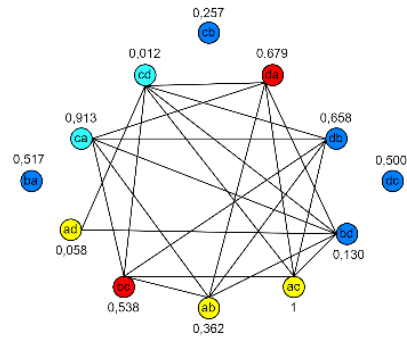
Gambar 4.58 Gr Rabu sore



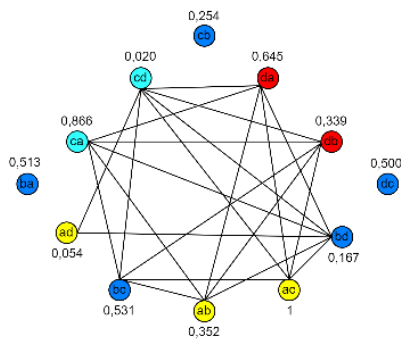
Gambar 4.59 Gr Kamis sore



Gambar 4.60 Gr Jumat pagi



Gambar 4.61 Gr Jumat siang



Gambar 4.62 Gr Jumat sore

Pada penelitian ini, Pewarnaan menggunakan algoritma Welch Powell dan Greedy menghasilkan bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Karena bilangan kromatik ini merepresentasikan fase pada lampu lalu lintas, maka pada pewarnaan ini menghasilkan 4 fase untuk persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Hal ini menunjukkan bahwa kedua algoritma tersebut menghasilkan solusi yang optimal, dimana pada data awal yang diperoleh dari Dinas Perhubungan terdapat 5 fase pada persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-

Jl. Raya Menur dengan Fase pertama arus lalu lintas adalah $ca-ac-ad$, fase kedua adalah $ca-cd$, fase ketiga adalah $bc-bd$, fase keempat $db-da-ad$, dan fase kelima adalah $ab-ac-ad$.

Selanjutnya berdasarkan fase yang diperoleh maka akan ditentukan putaran fase pertama dengan prioritas pada arus yang memiliki volume terbesar. Tujuan penentuan fase pada persimpangan ini untuk mengoptimalkan aliran lalu lintas, menghindari kecelakaan dan mengurangi penumpukan kendaraan pada arus tertentu. Berikut adalah tabel perbandingan fase lalu lintas algoritma Welch Powell dan Greedy dengan fase lalu lintas baru yang memprioritaskan arus yang memiliki volume terbesar.

Tabel 4.43 Tabel Perbandingan Fase Lalu lintas

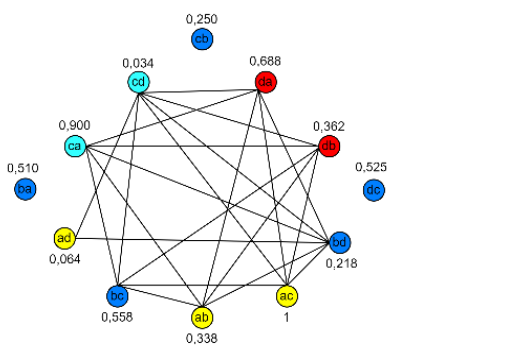
Fase Ke-n	Welch Powell	Greedy	Fase Baru
Fase 1	$bd-bc-cb-dc-ba$	$bd-bc-cb-dc-ba$	$ac-ab-ad$
Fase 2	$ca-cd$	$ca-cd$	$ca-cd$
Fase 3	$ac-ab-ad$	$ac-ab-ad$	$da-db$
Fase 4	$da-db$	$da-db$	$bd-bc-cb-dc-ba$

Berdasarkan Tabel 4.36 diperoleh fase baru yakni pada fase pertama terdapat arus dari Jalan Manyar Kertoarjo-Kertajaya, Jalan Manyar Kertoarjo-Menur (Utara), Jalan Manyar Kertoarjo-Menur (Selatan). Sedangkan untuk fase kedua terdapat arus dari Jalan Kertajaya-Manyar Kertoarjo, Jalan Kertajaya-Menur (Selatan). Sedangkan untuk fase ketiga terdapat arus dari Jalan Menur (Selatan)-Manyar Kertoarjo, Jalan Menur (Selatan)-Menur (Utara). Sedangkan untuk fase keempat terdapat arus dari Jalan Menur (Utara)-Menur (Selatan), Jalan Menur (Utara)-Kertajaya, Jalan Kertajaya-Menur (Utara), Jalan Menur (Selatan)-Kertajaya, Jalan Menur (Utara)-Manyar Kertoarjo.

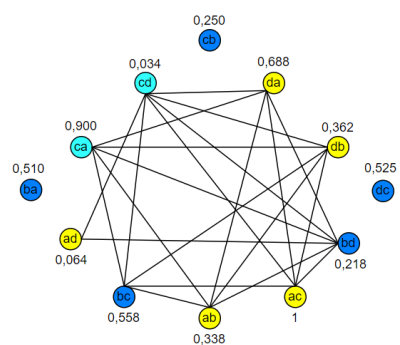
Selanjutnya akan dibuktikan bahwa $\chi(G) = 4$ merupakan pewarnaan optimal.

Bukti:

Diberikan graf G pada Senin Pagi



Gambar 4.63 Graf dengan $\chi(G) = 4$.



Gambar 4.64 Graf dengan $\chi(G) = 3$.

Diambil $\chi(G) < 4$, misal $\chi(G) = 3$.

Dari Gambar 4.22 tersebut didapat dengan mengganti warna da dan db yang asalnya pewarnaan sebanyak 4 kali menjadi 3 kali. Sehingga diperoleh warna da yang sama dengan ab dan ac, padahal da bertetangga dengan ab dan ac. Pernyataan tersebut kontradiksi sehingga dapat dibuktikan bahwa $\chi(G) = 4$ merupakan pewarnaan yang optimal.

4.1.7 Durasi Optimal Waktu Tunggu

Selanjutnya menggunakan metode webster untuk mengoptimalkan waktu tunggu pada persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur dengan langkah-langkah berikut.

1. Menentukan Arus Jenuh

Pada persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur, lebar yang dimiliki lebih dari 5,5 meter maka untuk menentukan arus jenuh menggunakan persamaan 2.3, Sehingga diperoleh:

Tabel 4.44 Arus Jenuh Pada Persimpangan

Simpul	Arus Jenuh	Simpul	Arus Jenuh
ab	9187,5	ca	5250
ac	5250	cb	9187,5
ad	7875	cd	7875
ba	10500	da	10500
bc	10500	db	4593,75
bd	3937,5	dc	10500

2. Menentukan Arus lalu lintas

Dalam menentukan

Fase 1

$$y_{ac} = \frac{1448}{5250} = 0,276$$

$$y_{ab} = \frac{311}{9187,5} = 0,034$$

$$y_{ad} = \frac{242}{7875} = 0,030$$

Fase 2

$$y_{ca} = \frac{1172}{5250} = 0,223$$

$$y_{cd} = \frac{162}{7875} = 0,021$$

Fase 3

$$y_{bd} = \frac{668}{3937,5} = 0,170$$

$$y_{bc} = \frac{227}{10500} = 0,022$$

$$y_{cb} = \frac{67}{9187,5} = 0,007$$

$$y_{dc} = \frac{136}{10500} = 0,013$$

$$y_{ba} = \frac{95}{10500} = 0,010$$

Fase 4

$$y_{da} = \frac{587}{10500} = 0,056$$

$$y_{db} = \frac{376}{9187,5} = 0,82$$

3. Waktu yang hilang diperoleh $L = 2n + R = 2(4) + 17 = 25$
4. Sehingga diperoleh panjang siklus waktu optimum dengan menggunakan persamaan (2.6),

$$C_o = \frac{1,5(25) + 5}{1 - 0,750} = 170 \text{ detik}$$

5. Waktu hijau maksimum diperoleh dari selisih siklus waktu optimum dan waktu hilang yaitu 145. Menghitung waktu hijau efektif untuk setiap fase menggunakan persamaan (2.7). Sehingga diperoleh,

Fase 1 = 53 detik, fase 2 = 43 detik, fase 3 = 33 detik, fase 4 = 16 detik

Tabel 4.45 Hasil Siklus Waktu Optimum

Fase	Pagi	Siang	Sore
1	53	48	47
2	43	40	47
3	33	41	36
4	16	38	31

Berdasarkan Tabel 4.38 diperoleh siklus waktu pagi hari adalah 170 detik, siklus waktu siang hari adalah 192 detik dan siklus waktu sore hari adalah 185 detik.

4.1.8 Kompleksitas Algoritma

Berikut adalah perhitungan kompleksitas waktu pada kasus terburuk (*Worst Case*):

1. Kompleksitas Waktu pada Algoritma Welch Powell

Tabel 4. 46 Kompleksitas Waktu Algoritma Welch Powell

<code>n = numnodes(Graf);</code>	$O(n)$
<code>Derajat = degree (Graf)</code>	$O(n+m)$
<code>info_simpul = table(simpul, derajat, bobot, 'VariableNames', {'Jalur', 'Derajat', 'Bobot'});</code>	$O(n)$
<code>urutan_info_simpul = sortrows(info_simpul, {'Derajat', 'Bobot'}, {'descend', 'descend'});</code>	$O(n \log n)$
<code>pewarnaan = zeros(n, 1);</code>	$O(n)$
<code>warna_terpilih = 1;</code>	$O(1)$
<code>for i = 1:n</code>	$O(n)$
<code>simpul_terpilih = urutan_info_simpul.Jalur{i};</code>	
<code>idx_simpul_terpilih = find(stremp(simpul, simpul_terpilih));</code>	$O(n)$
<code>if pewarnaan(idx_simpul_terpilih) ~= 0</code> <code> continue;</code> <code>end</code>	$O(1)$
<code>pewarnaan(idx_simpul_terpilih) = warna_terpilih;</code>	$O(1)$
<code>tdk_bertetangga = setdiff(1:n, neighbors(Graf, idx_simpul_terpilih));</code> <code>tdk_bertetangga =</code> <code>tdk_bertetangga(pewarnaan(tdk_bertetangga) == 0);</code>	$O(n)$
<code>bobot_tdk_bertetangga = bobot(tdk_bertetangga);</code> <code>[~, idx_sorted] = sort(bobot_tdk_bertetangga, 'descend');</code> <code>bobot_tdk_bertetangga = bobot(tdk_bertetangga);</code> <code>tdk_bertetangga = tdk_bertetangga(idx_sorted);</code>	$O(n \log n)$
<code>for j = 1:length(tdk_bertetangga)</code> <code> simpul_tdk_bertetangga = tdk_bertetangga(j);</code> <code> tetangga_tdk_bertetangga = neighbors(Graf, simpul_tdk_bertetangga);</code> <code> warna_tdk_bertetangga = pewarnaan(tetangga_tdk_bertetangga);</code> <code> if ~ismember(warna_terpilih, warna_tdk_bertetangga)</code> <code> pewarnaan(simpul_tdk_bertetangga) = warna_terpilih;</code> <code> end</code> <code>end</code>	$O(n)$
<code> warna_terpilih = warna_terpilih + 1;</code> <code>end</code> <code>end</code>	$O(1)$

Maka diperoleh kompleksitas waktu pada Algoritma Welch Powell,

$$\begin{aligned}
 T(n) &= O(n) + O(n + m) + O(n) + O(n \log n) + [O(n) \times (O(n) + \\
 &\quad O(n) + O(n) + O(n \log n) + O(n))] \\
 &= O(n \log n) + [O(n) \times O(n \log n)] \\
 &= O(n \log n) + O(n^2 \log n) \\
 &= O(n^2 \log n)
 \end{aligned}$$

2. Kompleksitas Waktu pada Algoritma Greedy

Tabel 4. 47 Kompleksitas Waktu Algoritma Greedy

<code>n = numnodes(Graf);</code>	$O(n)$
<code>derajat = degree(Graf);</code>	$O(n+m)$
<code>info_simpul = table(simpul, derajat, bobot, 'VariableName', {'Jalur', 'Derajat', 'Bobot'});</code>	$O(n)$
<code>urutan_info_simpul = sortrows(info_simpul, {'Derajat', 'Bobot'}, {'descend', 'descend'})</code>	$O(n \log n)$
<code>pewarnaan = zeros(n, 1);</code>	$O(n)$
<code>for i = 1:n</code>	$O(n)$
<code>idx_simpul_terpilih = find(strcmp(simpul, simpul_terpilih));</code>	$O(n)$
<code>warna_tetangga = pewarnaan(neighbors(Graf, idx_simpul_terpilih));</code>	$O(n)$
<code>for warna = 1:n if ~ismember(warna, warna_tetangga) pewarnaan(idx_simpul_terpilih) = warna; break; end end end end</code>	$O(n)$

Maka diperoleh kompleksitas waktu pada Algoritma Greedy,

$$\begin{aligned}
 T(n) &= O(n) + O(n + m) + O(n) + O(n \log n) + O(n) + [O(n) \times (O(n) + \\
 &\quad O(n) + O(n))] \\
 &= O(n \log n) + [O(n) \times O(n)] \\
 &= O(n \log n) + O(n^2) \\
 &= O(n^2)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.39 dan 4.40 diperoleh kompleksitas waktu $T(n)$ pada kasus terburuk dengan algoritma Welch Powell adalah $O(n^2 \log n)$ dan algoritma greedy adalah $O(n^2)$.

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, Graf berbobot yang di bentuk dari arus konflik pada persimpangan empat dilakukan proses pewarnaan dengan algoritma Welch Powell dan algoritma Greedy memperoleh bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Karena bilangan kromatik ini merepresentasikan fase pada lampu lalu lintas, maka pada pewarnaan ini menghasilkan 4 fase untuk persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Berdasarkan Tabel 4.36 diperoleh fase baru yakni pada fase pertama terdapat arus dari Jalan Manyar Kertoarjo-Kertajaya, Jalan Manyar Kertoarjo-Menur (Utara), Jalan Manyar Kertoarjo-Menur (Selatan). Sedangkan untuk fase kedua terdapat arus dari Jalan Kertajaya-Manyar Kertoarjo, Jalan Kertajaya-Menur (Selatan). Sedangkan untuk fase ketiga terdapat arus dari Jalan Menur (Selatan)-Manyar Kertoarjo, Jalan Menur (Selatan)-Menur (Utara). Sedangkan untuk fase keempat terdapat arus dari Jalan Menur (Utara)-Menur (Selatan), Jalan Menur (Utara)-Kertajaya, Jalan Kertajaya-Menur (Utara), Jalan Menur (Selatan)-Kertajaya, Jalan Menur (Utara)-Manyar Kertoarjo.

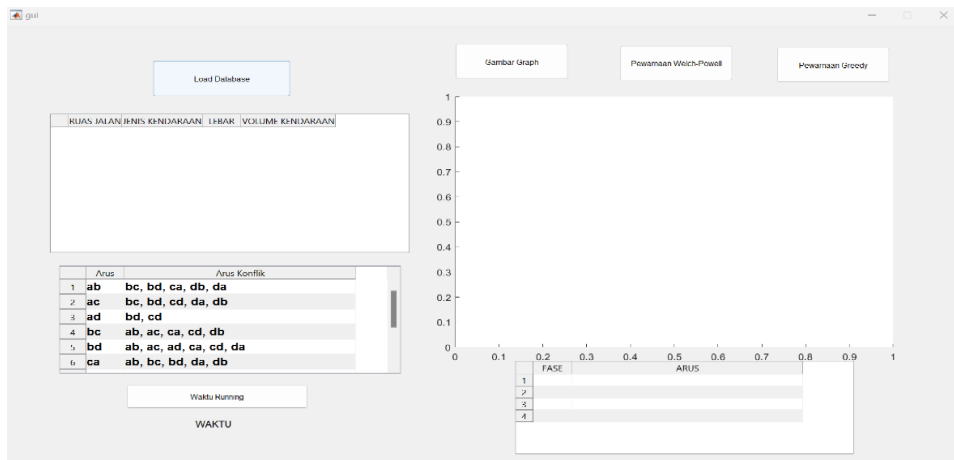
Kemudian dengan menggunakan Metode Webster diperoleh waktu siklus yang optimal dimana pada pagi hari, siang hari dan sore hari masing-masing adalah 170 detik, 192 detik dan 185 detik. Hal ini menunjukkan bahwa hasil durasi siklus berbeda dengan data dari Dinas Perhubungan, dimana siklus waktu pada saat pagi hari, siang hari dan sore hari adalah 220 detik.

Selanjutnya membandingkan algoritma Welch Powell dan greedy berdasarkan dari segi kompleksitas waktu, dimana dalam kasus terburuk algoritma Greedy menghasilkan $T(n) = O(n^2 \log n)$ lebih efisien dibandingkan dengan algoritma Welch Powell yang menghasilkan $T(n) = O(n^2)$.

4.3 Implementasi Pewarnaan Graf dengan MATLAB R2024a

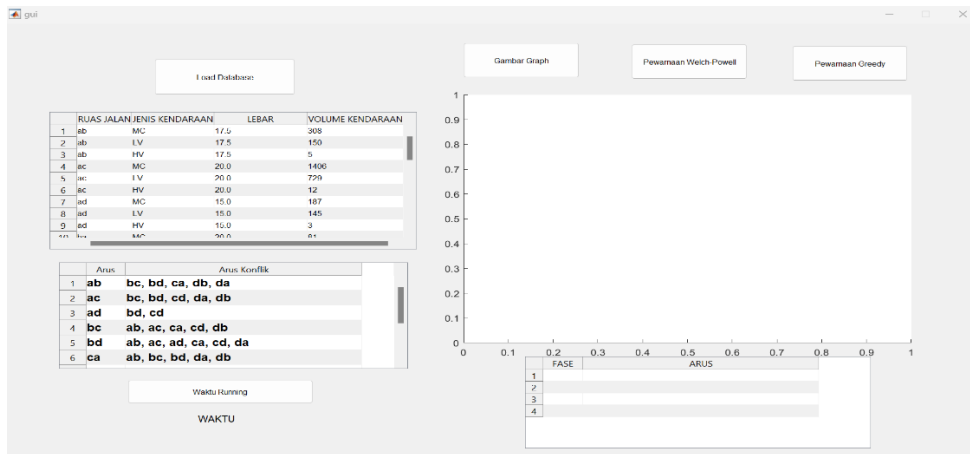
Pewarnaan Graf dengan algoritma Welch Powell dan algoritma greedy ini disimulasikan dengan bantuan program matlab R2024a dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Tampilan awal software terlihat pada Gambar 4.65



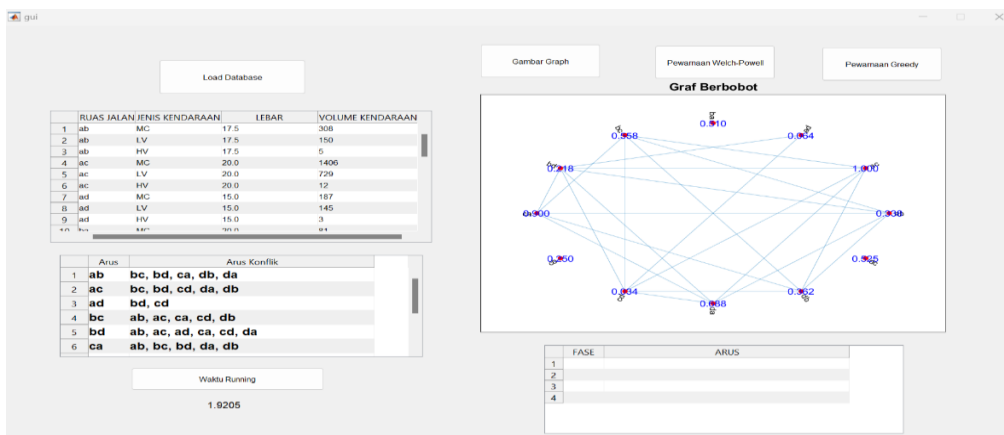
Gambar 4.65 Tampilan Awal Software

2. Input data jumlah kendaraan dalam bentuk excel dan arus konflik.



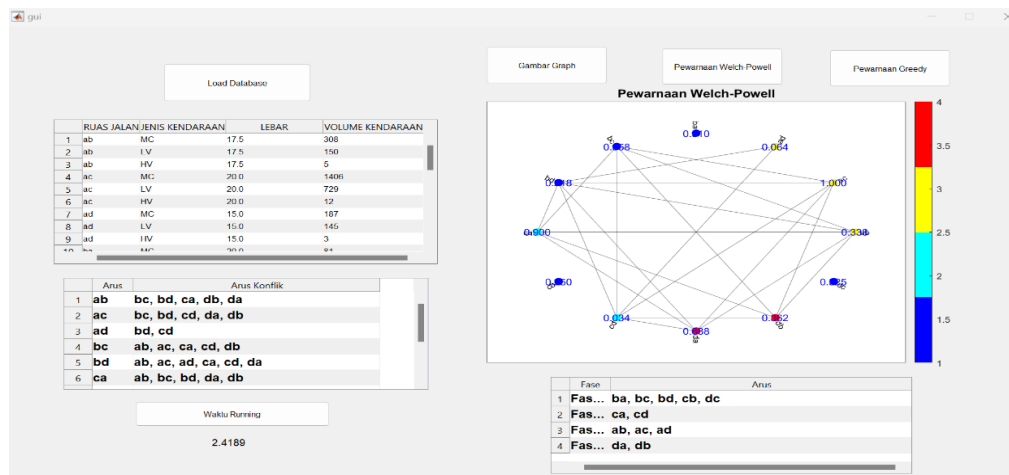
Gambar 4.66 Hasil Input Data

3. Selanjutnya akan diperoleh Gambar Graf berdasarkan pada data yang sudah diinput.

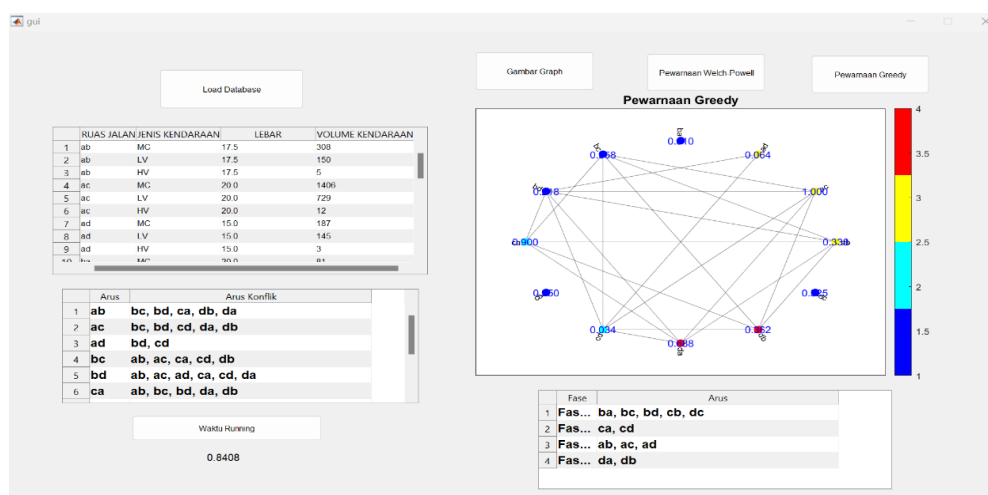


Gambar 4.67 Gambar Berbotot

4. Pada tahap terakhir, dilakukan pewarnaan simpul dengan algoritma Welch Powell seperti pada Gambar 4.68 dan algoritma Greedy seperti pada Gambar 4.69.



Gambar 4.68 Pewarnaan Welch Powell



Gambar 4.69 Pewarnaan Greedy

Selanjutnya dilakukan perbandingan dari segi waktu dan kompleksitas. Adapun proses pengujian program ini, akan di lakukan dengan 6 kali percobaan, tujuannya agar mendapatkan nilai rata-rata yang maksimum. Hasil pengujian program dapat di lihat pada Tabel 4.41 hingga 4.46.

Tabel 4.48 Hasil Pengujian pada Hari Senin

Algoritma	Periode Waktu	Parameter Penguji						
		Waktu Pengujian (Percobaan ke-n)						
		1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Welch Powell	Pagi	0,398	0,286	0,123	0,129	0,101	0,131	0,195
	Siang	0,110	0,262	0,151	0,095	0,141	0,162	0,154
	Sore	0,156	0,137	0,101	0,157	0,153	0,160	0,144
Greedy	Pagi	1.201	0.37	0.287	0.097	0.202	0.137	0,38
	Siang	0.146	0.112	0.099	0.101	0.121	0.117	0,116
	Sore	0.12	0.11	0.096	0.142	0.117	0.138	0,121

Berdasarkan hasil pengujian kedua algoritma pada Tabel 4.33, diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma Welch Powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang.

Tabel 4.49 Hasil Pengujian pada Hari Selasa

Algoritma	Periode Waktu	Parameter Penguji						
		Waktu Pengujian (Percobaan ke-n)						
		1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Welch Powell	Pagi	0,827	0,307	0,246	0,174	0,177	0,146	0,313
	Siang	0,141	0,106	0,195	0,165	0,110	0,161	0,146
	Sore	0,155	0,13	0,121	0,147	0,161	0,128	0,140
Greedy	Pagi	0,476	0,351	0,143	0,138	0,185	0,142	0,239
	Siang	0,157	0,188	0,146	0,146	0,122	0,099	0,143
	Sore	0,151	0,154	0,104	0,144	0,125	0,118	0,133

Berdasarkan hasil pengujian kedua algoritma pada Tabel 4.34, diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma Welch Powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang.

Tabel 4.50 Hasil Pengujian pada Hari Rabu

Algoritma	Periode Waktu	Parameter Penguji						
		Waktu Pengujian (Percobaan ke-n)						
		1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Welch Powell	Pagi	0,186	0,189	0,142	0,152	0,143	0,098	0,152
	Siang	0,156	0,112	0,142	0,116	0,120	0,137	0,131
	Sore	0,109	0,161	0,179	0,129	0,143	0,112	0,139
Greedy	Pagi	0,148	0,146	0,12	0,145	0,171	0,111	0,140
	Siang	0,118	0,153	0,125	0,137	0,11	0,134	0,130
	Sore	0,130	0,136	0,135	0,170	0,142	0,110	0,137

Berdasarkan hasil pengujian kedua algoritma pada Tabel 4.40, diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma welch powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang.

Tabel 4.51 Hasil Pengujian pada Hari Kamis

Algoritma	Periode Waktu	Parameter Penguji						
		Waktu Pengujian (Percobaan ke-n)						
		1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Welch Powell	Pagi	0,196	0,147	0,122	0,138	0,177	0,153	0,156
	Siang	0,117	0,107	0,119	0,160	0,159	0,155	0,136
	Sore	0,144	0,162	0,118	0,134	0,130	0,134	0,137
Greedy	Pagi	0,124	0,106	0,119	0,118	0,143	0,114	0,121
	Siang	0,119	0,123	0,102	0,114	0,154	0,129	0,124
	Sore	0,128	0,144	0,096	0,097	0,151	0,135	0,125

Berdasarkan hasil pengujian kedua algoritma pada Tabel 4.36, diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma welch powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang.

Tabel 4.52 Hasil Pengujian pada Hari Jumat

Algoritma	Periode Waktu	Parameter Penguji						
		Waktu Pengujian (Percobaan ke-n)						
		1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Welch Powell	Pagi	0,154	0,146	0,118	0,123	0,141	0,137	0,137
	Siang	0,123	0,178	0,176	0,190	0,141	0,157	0,161
	Sore	0,142	0,148	0,135	0,164	0,141	0,138	0,145
Greedy	Pagi	0,125	0,142	0,129	0,133	0,138	0,127	0,132
	Siang	0,166	0,191	0,132	0,159	0,144	0,154	0,158
	Sore	0,141	0,164	0,127	0,135	0,103	0,165	0,139

Berdasarkan hasil pengujian kedua algoritma pada Tabel uji 4.41-4.45, diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma welch powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang. Hal ini dapat menunjukkan bahwa algoritma greedy lebih efisien digunakan daripada algoritma welch powell.

BAB 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Pada penelitian ini, Pewarnaan dengan algoritma Welch Powell dan Greedy menghasilkan bilangan kromatik sebanyak $\chi(G) = 4$. Karena bilangan kromatik ini merepresentasikan fase pada lampu lalu lintas, maka pada pewarnaan ini menghasilkan 4 fase untuk persimpangan Jl. Kertajaya-Jl. Manyar Kertoarjo-Jl. Raya Menur. Hal ini menunjukkan bahwa kedua algoritma tersebut menghasilkan solusi yang optimal. Dengan menggunakan Metode Webster siklus waktu pada pagi hari, siang hari dan sore hari masing-masing diperoleh 170 detik, 192 detik dan 185 detik. Berdasarkan dari segi kompleksitas waktu, dalam kasus terburuk algoritma Greedy $O(n^2 \log n)$ lebih efisien dibandingkan dengan algoritma Welch Powell $O(n^2)$
2. Implementasi simulasi matlab pada pewarnaan graf dengan algoritma Welch Powell dan Greedy menampilkan eksekusi waktu program dimana diperoleh bahwa waktu eksekusi program pada algoritma Greedy lebih cepat dibandingkan dengan algoritma Welch Powell. Hasil ini berlaku pada pada periode waktu senin pagi dan siang. Sehingga dari segi waktu eksekusi algoritma Greedy lebih efisien dibandingna dengan algoritma Welch Powell.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan pengujian dengan algoritma lain yang lebih kompleks dan jumlah simpul yang lebih banyak untuk menentukan fase lalu lintas pada persimpangan jalan dengan penambahan variabel lain yang mempengaruhi pengaturan lampu lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfitra, F. & Umar, U. H. (2023), “Analysis of Traffic Jams: Cases of Congestion Caused U-Turns on Jalan Gajah Mada, Batam”, *LEADER: Civil Engineering and Architecture Journal* 1 (3), 236-243.
- Arifin, S., Muktyas, B. I. & Mandei, J. M. (2022), “Graph coloring program for variation of exam scheduling modeling at Binus University based on Welsh and Powell algorithm”, *J. Phys.: Conf. Ser.* 2279 012005.
- Ermanto, Yehezkiel V., and Yosefina F. Riti. (2022), “Comparison of Welch-Powell and Recursive Largest First Algorithm Implementation in Course Scheduling”, *Journal Of Management Science (JMAS)* 5 (1), 05-12.
- Fakhri, M. Y., Harahap, E., & Badruzzaman, F. H. (2021), “Implementasi Algoritma Welch-Powell pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Pasteur Bandung”, *Jurnal Riset Matematika*, 1(2), 91–98, <https://doi.org/10.29313/jrm.v1i2.365>.
- Ganguli,R., & Roy, S. (2017), “A Study on Course Timetable Scheduling using Graph Coloring Approach”, *International Journal of Computational and Applied Mathematics*, 12(2), 469–485. <http://www.ripublication.com>
- Giannoula, C., Peppas, A., Goumas, G., & Koziris, N. (2023),” High-performance and balanced parallel graph coloring on multicore platforms”, *The Journal of Supercomputing*, 79, 6373–6421.
- Harris, J., Hirst, J., & Mossinghoff, M. (2000), *Combinatorics and graph teory 2nd ed*, New York: Spinger.
- Henderi, dkk. (2021), “Comparison of Min-Max normalization and Z-Score Normalization in the K-nearest neighbor (kNN) Algorithm to Test the Accuracy of Types of Breast Cancer”, *IJIS: International Journal of Informatics and Information Systems*, 4. 13-20. 10.47738/ijjis.v4i1.73.
- Krlev, Velin & Krleva, Radoslava. (2023), “A comparative analysis between two heuristic algorithms for the graph vertex coloring problem”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13. 2981-2989. 10.11591/ijece.v13i3.pp2981-2989.

- Lipschutz, S., & Lipson, M. (2007). *Schaum's Outlines Of: Theory and Problems of Discrete Mathematics (Third Edition)*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1036/0071470387>
- Marpaung, F., Ritonga A, (2019), "Application of graf coloring for optimization of traffic light settings in Medan", *J. Phys.: Conf. Ser.* 1188 012012.
- Rahma, A., Rahmawati, R., & Zukrianto, Z. (2021), "Aplikasi Pewarnaan Graf Pada Peta Provinsi Riau Menggunakan Algoritma Greedy", *Square : Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 3(1), 41-55. doi: <https://doi.org/10.21580/square.2021.3.1.7410>
- Rosen, K. H. (2019). *Discrete Mathematics and its Applications*. New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Singh, Anuj & Singh, Rishi & Iyengar, S. (2020), "Node-weighted centrality: a new way of centrality hybridization", *Computational Social Networks*. 7. 6. 10.1186/s40649-020-00081-w.
- Triantaphyllou, Evangelos. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. 10.1007/978-1-4757-3157-6.
- X. Ren and J. Ma. 2020, "Evaluation and optimization of Traffic Signal Timing Scheme. 2020 IEEE 6th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)", *Beijing, China, pp.* 47-50, doi: 10.1109/ICCSSE50399.2020.9171978.
- Yin, Mengjie. (2019), "Intersection Signal Timing Optimization based on Webster Timing Method", *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 371 052034.

LAMPIRAN

1. Data volume kendaraan pada persimpangan

Minggu Pertama

a. Volume kendaraan pada hari Senin 15 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	294	569	490
	LV	135	341	303
	HV	5	5	1
ac	MC	1394	1802	2456
	LV	716	1420	1120
	HV	10	9	5
ad	MC	176	321	332
	LV	133	220	207
	HV	2	2	4
ba	MC	68	226	162
	LV	35	109	111
	HV	2	0	2
bc	MC	318	421	417
	LV	37	92	68
	HV	4	3	1
bd	MC	1070	884	1050
	LV	112	260	331
	HV	3	11	5
ca	MC	1556	1859	1440
	LV	369	1062	1052
	HV	6	5	1
cb	MC	56	165	139
	LV	29	65	83
	HV	2	5	0
cd	MC	217	237	252
	LV	35	72	93
	HV	2	3	4
da	MC	801	708	567
	LV	163	535	480
	HV	3	7	1
db	MC	580	629	776
	LV	62	237	158
	HV	7	7	1
dc	MC	120	130	132
	LV	55	63	62
	HV	0	0	0

b. Volume kendaraan pada hari Selasa 16 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	272	549	484
	LV	127	360	292
	HV	4	4	2
ac	MC	1387	1796	2417
	LV	720	1413	1108
	HV	7	7	6
ad	MC	175	331	323
	LV	136	207	195
	HV	3	3	3
ba	MC	74	215	154
	LV	39	112	106
	HV	1	1	1
bc	MC	319	430	401
	LV	34	82	57
	HV	3	2	2
bd	MC	1066	876	1035
	LV	114	256	325
	HV	4	8	4
ca	MC	1561	1819	1422
	LV	358	1005	1006
	HV	9	6	2
cb	MC	60	184	125
	LV	39	76	72
	HV	3	3	1
cd	MC	202	251	243
	LV	29	66	85
	HV	3	4	3
da	MC	767	731	552
	LV	140	546	480
	HV	5	5	1
db	MC	572	604	762
	LV	71	235	144
	HV	5	6	1
dc	MC	115	145	121
	LV	64	70	62
	HV	0	0	0

c. Volume kendaraan pada hari Rabu 17 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	260	537	493
	LV	118	363	307
	HV	3	6	1
ac	MC	1365	1786	2408
	LV	711	1404	1096
	HV	5	5	5
ad	MC	157	322	315
	LV	128	215	194
	HV	4	4	2
ba	MC	65	206	149
	LV	36	104	98
	HV	1	2	2
bc	MC	313	439	395
	LV	28	77	51
	HV	4	3	4
bd	MC	1056	885	1023
	LV	108	251	336
	HV	2	6	2
ca	MC	1555	1809	1413
	LV	332	1013	1015
	HV	6	5	1
cb	MC	75	176	116
	LV	44	68	67
	HV	2	2	4
cd	MC	196	264	252
	LV	34	61	77
	HV	3	3	1413
da	MC	786	721	543
	LV	133	552	494
	HV	3	4	2
db	MC	564	599	749
	LV	66	243	132
	HV	4	5	1
dc	MC	107	138	131
	LV	56	66	57
	HV	0	0	0

d. Volume kendaraan pada hari Kamis 18 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	271	543	489
	LV	110	358	312
	HV	5	5	4
ac	MC	1354	1778	2403
	LV	705	1386	1090
	HV	4	4	3
ad	MC	147	317	320
	LV	119	221	197
	HV	3	5	4
ba	MC	59	212	154
	LV	31	111	102
	HV	2	3	4
bc	MC	305	432	390
	LV	35	84	55
	HV	5	4	3
bd	MC	1046	878	1023
	LV	114	257	330
	HV	3	5	4
ca	MC	1546	1814	1408
	LV	323	1007	1010
	HV	5	6	3
cb	MC	82	181	122
	LV	50	74	73
	HV	3	4	4
cd	MC	189	257	247
	LV	39	66	83
	HV	4	5	4
da	MC	778	716	538
	LV	140	557	487
	HV	4	5	3
db	MC	554	594	743
	LV	72	237	139
	HV	3	6	0
dc	MC	100	143	136
	LV	62	71	61
	HV	0	0	3

e. Volume kendaraan pada hari Jumat 19 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	263	537	483
	LV	114	352	318
	HV	4	4	5
ac	MC	1348	1771	2397
	LV	700	1389	1084
	HV	5	6	4
ad	MC	154	323	314
	LV	125	228	203
	HV	2	6	3
ba	MC	64	206	158
	LV	37	117	107
	HV	2	5	3
bc	MC	299	427	384
	LV	40	89	61
	HV	4	6	5
bd	MC	1041	872	1017
	LV	119	263	335
	HV	4	4	5
ca	MC	1540	1807	1402
	LV	306	1001	1004
	HV	6	5	4
cb	MC	89	187	129
	LV	57	80	78
	HV	4	5	6
cd	MC	183	252	250
	LV	46	72	88
	HV	5	4	5
da	MC	772	711	534
	LV	146	551	481
	HV	3	4	5
db	MC	549	588	737
	LV	77	241	145
	HV	5	5	1
dc	MC	94	148	130
	LV	68	76	67
	HV	0	0	0

Minggu Kedua

a. Volume kendaraan pada hari Senin 22 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	321	594	509
	LV	164	373	362
	HV	5	6	2
ac	MC	1418	1828	2471
	LV	742	1441	1154
	HV	13	10	6
ad	MC	198	357	354
	LV	157	249	235
	HV	3	2	4
ba	MC	93	253	191
	LV	66	142	146
	HV	3	0	2
bc	MC	352	457	435
	LV	68	119	75
	HV	6	4	3
bd	MC	1096	905	1077
	LV	134	284	359
	HV	3	13	5
ca	MC	1573	1882	1467
	LV	391	1094	1085
	HV	8	5	2
cb	MC	67	183	161
	LV	34	101	104
	HV	3	7	0
cd	MC	236	255	268
	LV	57	86	123
	HV	2	4	6
da	MC	836	743	582
	LV	185	561	503
	HV	3	7	1
db	MC	599	645	795
	LV	81	248	177
	HV	7	9	2
dc	MC	146	164	164
	LV	82	83	98
	HV	0	0	0

b. Volume kendaraan pada hari Selasa 23 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	294	570	504
	LV	141	388	328
	HV	5	6	2
ac	MC	1406	1815	2443
	LV	733	1439	1137
	HV	8	8	7
ad	MC	192	362	366
	LV	175	243	231
	HV	3	5	4
ba	MC	96	252	181
	LV	57	146	134
	HV	2	2	2
bc	MC	349	471	435
	LV	54	97	78
	HV	3	2	3
bd	MC	1097	904	1074
	LV	138	276	362
	HV	5	9	4
ca	MC	1582	1842	1456
	LV	383	1034	1035
	HV	11	7	1
cb	MC	87	201	149
	LV	65	98	94
	HV	4	3	1
cd	MC	231	282	272
	LV	56	79	103
	HV	2	6	3
da	MC	784	772	581
	LV	166	574	504
	HV	6	6	3
db	MC	595	655	797
	LV	89	269	172
	HV	5	4	2
dc	MC	148	197	156
	LV	96	103	85
	HV	0	0	0

c. Volume kendaraan pada hari Rabu 24 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	276	559	527
	LV	133	391	334
	HV	3	6	2
ac	MC	1381	1794	2422
	LV	738	1418	1118
	HV	6	5	6
ad	MC	179	357	343
	LV	154	223	231
	HV	6	4	3
ba	MC	79	231	158
	LV	91	126	112
	HV	2	3	2
bc	MC	335	455	425
	LV	58	94	79
	HV	4	4	4
bd	MC	1078	899	1056
	LV	136	272	351
	HV	2	6	3
ca	MC	1585	1822	1431
	LV	358	1038	1029
	HV	6	5	2
cb	MC	89	193	138
	LV	57	84	90
	HV	3	2	4
cd	MC	112	286	284
	LV	54	77	85
	HV	3	3	2
da	MC	790	734	562
	LV	152	569	521
	HV	4	4	3
db	MC	598	612	765
	LV	87	255	144
	HV	5	6	3
dc	MC	136	158	158
	LV	69	73	87
	HV	0	0	0

d. Volume kendaraan pada hari Kamis 25 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	291	565	509
	LV	123	373	331
	HV	7	6	5
ac	MC	1377	1797	2423
	LV	720	1402	1117
	HV	5	5	5
ad	MC	162	329	341
	LV	131	245	224
	HV	4	6	5
ba	MC	71	245	176
	LV	55	132	124
	HV	4	4	6
bc	MC	332	455	421
	LV	46	103	78
	HV	6	6	4
bd	MC	1067	898	1048
	LV	128	270	352
	HV	4	6	6
ca	MC	1561	1831	1423
	LV	356	1029	1039
	HV	6	7	4
cb	MC	98	199	145
	LV	72	92	98
	HV	4	6	4
cd	MC	207	274	261
	LV	55	85	105
	HV	5	6	5
da	MC	798	734	556
	LV	162	576	501
	HV	5	6	4
db	MC	569	621	765
	LV	97	259	144
	HV	4	7	0
dc	MC	121	168	159
	LV	81	92	88
	HV	0	0	4

e. Volume kendaraan pada hari Jumat 26 April 2024

Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	07.00-08.00	12.00-13.00	17.00-18.00
ab	MC	281	556	507
	LV	134	378	345
	HV	5	5	7
ac	MC	1367	1792	2424
	LV	724	1412	1103
	HV	6	7	5
ad	MC	178	349	338
	LV	145	251	226
	HV	2	7	3
ba	MC	81	228	173
	LV	59	126	127
	HV	3	6	4
bc	MC	323	445	409
	LV	60	113	88
	HV	6	7	6
bd	MC	1067	899	1034
	LV	148	284	359
	HV	5	5	7
ca	MC	1563	1828	1426
	LV	335	1024	1028
	HV	7	6	5
cb	MC	112	205	151
	LV	79	103	97
	HV	6	7	7
cd	MC	207	275	279
	LV	68	91	103
	HV	3	5	6
da	MC	794	736	556
	LV	166	574	504
	HV	1	5	6
db	MC	568	6007	752
	LV	99	262	169
	HV	3	6	3
dc	MC	115	169	153
	LV	87	100	89
	HV	0	0	0

2. Script Coding Matlab Fungsi pewarnaan Welch Powell dan Greedy

```
function pewarnaan = welch_powell(Graf, bobot, simpul)
    % Mendapatkan Jumlah Simpul
    n = numnodes(Graf);
    % Mendapatkan Derajat Simpul
    derajat = degree(Graf);
    % Menggabungkan Derajat dan Bobot ke dalam Tabel
    info_simpul = table(simpul, derajat, bobot, 'VariableNames', {'Jalur', 'Derajat',
    'Bobot'});
    disp('Informasi simpul :')
    disp(info_simpul)
    % Mengurutkan Simpul berdasarkan Derajat kemudian bobot dalam urutan
    menurun
    urutan_info_simpul = sortrows(info_simpul, {'Derajat', 'Bobot'}, {'descend',
    'descend'});
    disp('urutan informasi simpul')
    disp('Urutan Informasi Simpul:')
    disp(urutan_info_simpul)
    % Inisialisasi Array warna
    pewarnaan = zeros(n, 1);
    % Inisialisasi warna saat ini
    warna_terpilih = 1;
    for i = 1:n
        simpul_terpilih = urutan_info_simpul.Jalur{i}; % Extracting the current node
        name
        idx_simpul_terpilih = find(strcmp(simpul, simpul_terpilih)); % Find the index
        of the current node
        disp(['Simpul terpilih : ', simpul_terpilih])
        % Lewati simpul jika sudah terwarnai
        if pewarnaan(idx_simpul_terpilih) ~= 0
            continue;
        end
        % Warnai simpul terpilih
        pewarnaan(idx_simpul_terpilih) = warna_terpilih;
        disp(['Pewarnaan ', simpul_terpilih, ' dengan warna ', num2str(warna_terpilih)])
        % Mencari semua simpul yang tidak bertetangga dan belum terwarnai
        tdk_bertetangga = setdiff(1:n, neighbors(Graf, idx_simpul_terpilih));
        tdk_bertetangga = tdk_bertetangga(pewarnaan(tdk_bertetangga) == 0);
        % Urutkan simpul yang tidak bertetangga berdasarkan bobot (menurun)
        bobot_tdk_bertetangga = bobot(tdk_bertetangga);
        [~, idx_sorted] = sort(bobot_tdk_bertetangga, 'descend');
        tdk_bertetangga = tdk_bertetangga(idx_sorted);

        % Pewarnaan simpul terpilih yang tidak bertetangga dengan warna terpilih
        for j = 1:length(tdk_bertetangga)
            simpul_tdk_bertetangga = tdk_bertetangga(j);
            tetangga_tdk_bertetangga = neighbors(Graf, simpul_tdk_bertetangga);
            warna_tdk_bertetangga = pewarnaan(tetangga_tdk_bertetangga);

            % Warnai simpul yang tidak bertetangga jika dia tidak bertetangga dengan
            warna terpilih
            if ~ismember(warna_terpilih, warna_tdk_bertetangga)
                pewarnaan(simpul_tdk_bertetangga) = warna_terpilih;
            end
        end
    end
end
```

```

                disp(['Pewarnaan', simpul{simpul_tdk_bertetangga}, ' dengan warna ',
                    num2str(warna_terpilih)])
            end
        end
        % Tambahkan warna untuk iterasi berikutnya
        warna_terpilih = warna_terpilih + 1;
    end
end

function pewarnaan = greedy(Graf, bobot, simpul)
    % Mendapatkan Jumlah Simpul
    n = numnodes(Graf);
    % Mendapatkan Derajat Simpul
    derajat = degree(Graf);
    % Menggabungkan Derajat dan Bobot ke dalam Tabel
    info_simpul = table(simpul, derajat, bobot, 'VariableName', {'Jalur', 'Derajat', 'Bobot'});
    disp('Informasi Simpul :')
    disp(info_simpul)
    % Mengurutkan Simpul berdasarkan Derajat kemudian bobot dalam urutan menurun
    urutan_info_simpul = sortrows(info_simpul, {'Derajat', 'Bobot'}, {'descend', 'descend'});
    disp('urutan informasi simpul')
    disp(urutan_info_simpul)
    % Inisialisasi Array warna
    pewarnaan = zeros(n, 1);
    % Pewarnaan Graf menggunakan Algoritma Greedy
    for i = 1:n
        simpul_terpilih = urutan_info_simpul.Jalur{i}; % Mengambil nama simpul saat ini
        idx_simpul_terpilih = find(strcmp(simpul, simpul_terpilih)); % Menemukan indeks
        simpul saat ini
        disp('Simpul terpilih :')
        disp(simpul_terpilih)
        % Mendapatkan warna tetangga simpul saat ini
        warna_tetangga = pewarnaan(neighbors(Graf, idx_simpul_terpilih));
        disp('Warna tetangga')
        disp(warna_tetangga)
        % Menemukan warna pertama yang tersedia yang tidak digunakan oleh tetangga
        for warna = 1:n
            if ~ismember(warna, warna_tetangga)
                pewarnaan(idx_simpul_terpilih) = warna;
                break;
            end
        end
        disp('Pewarnaan')
        disp(pewarnaan)
    end
end
end
end

```

BIOGRAFI PENULIS



Rosadha Fadhillah, biasa di panggil Rosadha atau Rosa ini lahir di kota Surabaya tanggal 3 Juli 1998. Seorang lulusan Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada program studi Matematika Murni. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Wiyung I Surabaya, SMPN 16 Surabaya, SMAN 15 Surabaya. Pendidikan Sarjana (S1) di tempuh di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya pada program studi Pendidikan Matematika. Penelitian yang telah publish adalah Pengaruh model PBLTGT terhadap kemampuan pemecahan masalah statistika kelas XII SMA Hang Tuah 4 Surabaya.