

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil Penelitian ini mengkaji tentang pewarnaan graf untuk pengaturan lalu lintas pada persimpangan jalan, dengan lokasi penelitian pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant. Penelitian ini memerlukan data tentang bentuk persimpangan jalan dari lokasi serta menentukan arus yang terjadi pada persimpangan tersebut.

4.1.1 Algoritma pewarnaan graf (Welch – Powell) :

Inputnya dalah suatu graf G

Langkah 1 : Urutkan verteks G menurut derajat yang mengecil.

Langkah 2 : Biarkan warna pertama C_1 pada verteks pertama dan lalu, secara berurutan, berikan C_1 ke setiap verteks yang tidak bersebelahan dengan verteks sebelumnya yang telah diberi C_1 .

Langkah 3 : Ulangi langkah 2 dengan warna kedua C_2 dan verteks berikutnya yang belum diwarnai.

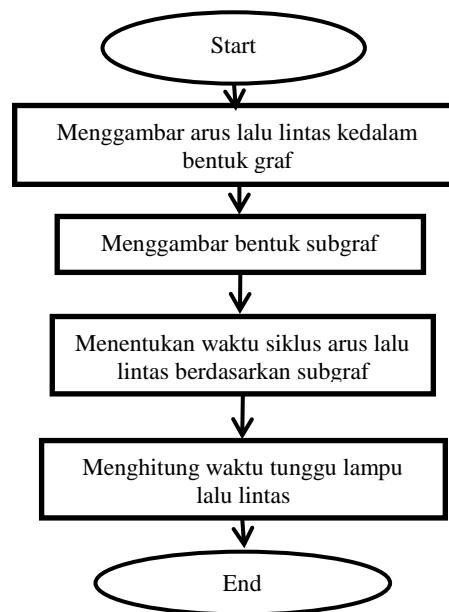
Langkah 4: Ulangi Langkah 3 dengan warna ketiga C_3 , lalu warna keempat C_4 , dan demikian seterusnya sampai semua verteks telah diwarnai.

Langkah 5 : Keluar

Pemodelan lalu lintas dengan graf adalah sebagai berikut :

1. Menggambarkan graf, dimana titik-titiknya menunjukkan arus lalu lintas yang akan diatur, dan sisi-sisinya menunjukkan pasangan objek. Dua buah titik dihubungkan dengan sisi jika dua arus lalu lintas sinkron.
2. Menentukan subgraf lengkap. Graf lengkap ialah graf sederhana yang setiap titiknya mempunyai sisi ke semua titik lainnya.
3. Menentukan waktu siklus tiap arus lalu lintas berdasarkan subgraf dan dihitung dengan menggunakan hasil alokasi periode waktu tiap jalur.

4.1.2 Diagram Alur (*Flowchart*)



Gambar 4.1 Diagram Alur (*Flowchart*)

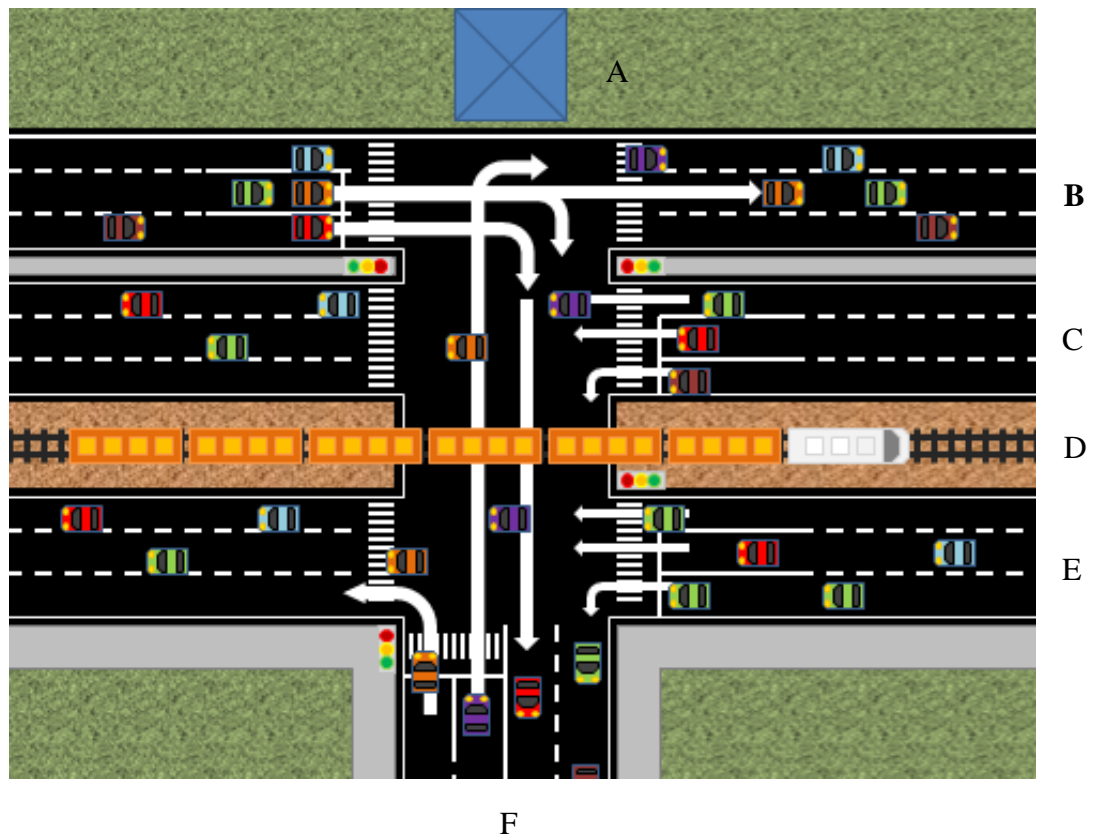
4.1.3 Tahap Pengambilan Data

Langkah pertama adalah menentukan lokasi penelitian. Penelitian akan dilaksanakan di persimpangan jalan Ahmad Yani Giant. Pada penelitian ini, dibuat penerapan pewarnaan graf untuk menentukan arus lampu lalu lintas yang menggambarkan keadaan dengan objek penelitian, yaitu persimpangan jalan Ahmad Yani Giant, Surabaya. Selanjutnya gambar persimpangan tersebut diubah ke bentuk graf atau dibuat subgraf, kemudian dilakukan proses pengaturan arah arus yang dapat berjalan secara bersamaan dengan aman dan konsisten berdasarkan waktu tunggu tiap jalur.

1. Waktu pengambilan data akan dibagi pada tiga periode waktu, yaitu:
 - a. Pagi hari, dibatasi pada pukul 06.30-07.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pekerja dan pelajar yang berangkat pada jam tersebut.
 - b. Siang hari, dibatasi pada pukul 12.30-13.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pelajar yang pulang dan aktivitas lain pada jam tersebut.
 - c. Sore hari, dibatasi pada pukul 16.30-17.30 WIB, dengan asumsi banyaknya pekerja yang pulang.
2. Data yang diamati pada tiap ruas jalan dari dua arah hanya kendaraan bermotor dan roda empat, sedangkan pejalan kaki dan penyeberang jalan diabaikan.

4.1.4 Gambar Sistem Arus Lalu Lintas

Jika akan menggambar arus lalu lintas perlu melakukan observasi awal untuk menentukan banyaknya lintasan yang diperbolehkan melintas pada persimpangan tersebut dan untuk menentukan lintasan mana saja yang diperbolehkan melintas. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan, sistem lalu lintas yang diterapkan pada persimpangan jalan dapat dilihat pada 4.2



Gambar 4.2 Ilustrasi Arus Lalu Lintas di Persimpangan Tiga Jalan Ahmad

Yani Giant

Keterangan Gambar :

A : Kantor Pos Polisi

B : Jalan Ahmad Yani Arah Utara

C : Jalan Ahmad Yani Arah Selatan

D : Perlintasan Kereta Api

E : Jalan frontage Ahmad Yani

F : Jalan Margorejo

Pada Gambar 4.2 terdapat beberapa lintasan, yaitu:

B : Dari Sidoarjo ke Arah Jalan Ahmad Yani Utara

BF : Arah Sidoarjo ke Jalan Margorejo

C : Arah Jalan Ahmad Selatan Yani ke Sidoarjo

CF : Arah Ahmad Yani Selatan ke Jalan Margorejo

E : Arah Frontage Jalan Ahmad Yani Selatan ke Sidoarjo

FE : Arah Margorejo ke Jalan Frontage Ahmad Yani Selatan

4.1.5 Lokasi Persimpangan Jalan Ahmad Yani Giant

Pengambilan data ini dilakukan selama 4 hari dengan tiga waktu yang berbeda, yaitu pagi, siang dan sore hari. Berdasarkan hasil yang didapat setelah dilakukannya pengamatan di lapangan, ternyata data yang diperoleh menunjukkan sama dalam pengambilan pada waktu yang berbeda.

Tabel 4.3 Lama siklus waktu awal lampu lalu lintas pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

Pengamatan Awal	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)
Jalan Ahmad Yani Utara (A)	95	3	43
Jalan Ahmad Yani Selatan (B)	120	3	55
Jalan Ahmad Yani Frontage (C)	85	3	35
Jalan Margorejo (D)	85	3	40

Berdasarkan hasil pengamatan yang sudah dilakukan pada waktu yang berbeda, diperoleh bahwa ternyata siklus lampu lalu lintas pada persimpangan Jalan Ahmad Yani Giant sama. Hal ini sangat tidak efisien, dikarenakan berdasarkan jumlah atau kepadatan kendaraan yang melintas pada waktu pagi, siang, maupun sore berbeda.

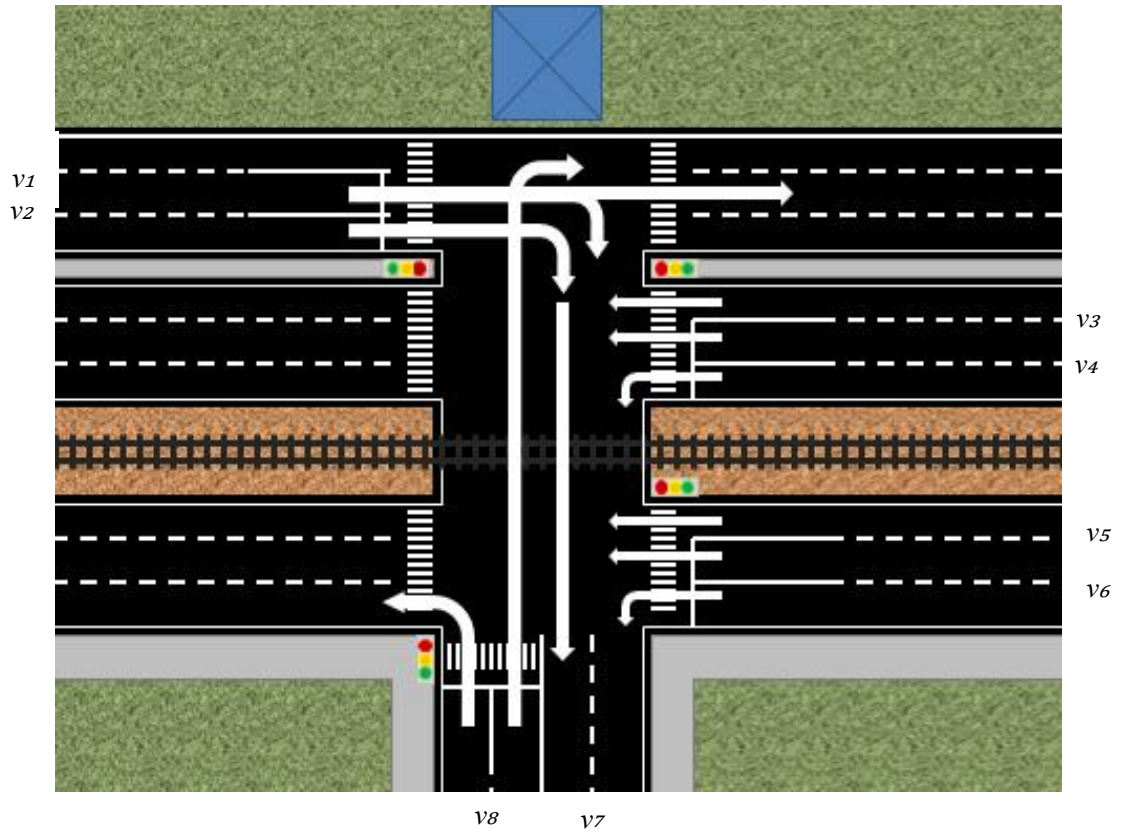
Lampu lalu lintas yang tersedia di persimpangan jalan mempunyai beberapa tujuan antara lain menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan, memfasilitasi pejalan kaki agar dapat menyeberang dengan aman dan mengurangi tingkat kecelakaan yang diakibatkan oleh tabrakan karena perbedaan arus jalan. Namun lampu lalu lintas juga memiliki beberapa permasalahan yang perlu diselesaikan, salah satunya pengaturan durasi

lampu merah, kuning, dan hijau. Permasalahan ini dapat dikaji pengaturannya menggunakan prinsip pewarnaan titik.

Untuk lebih jelasnya berikut adalah langkah-langkah aplikasi pewarnaan titik pada lampu lalu lintas di persimpangan jalan.

1. Mentransformasikan persimpangan jalan beserta arusnya ke dalam bentuk graf. Titik merepresentasikan arus dan garis merepresentasikan arus-arus yang tidak boleh berjalan bersamaan, yang selanjutnya titik-titik tersebut saling dihubungkan.
2. Mewarnai setiap titik pada graf dengan menggunakan algoritma Welch-Powell. Selain untuk mengetahui arus mana saja yang bias berjalan bersamaan, diperoleh juga jumlah bilangan khromatik yang akan bermanfaat pada tahap berikutnya.
3. Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu merah, kuning, dan hijau dengan siklus waktu tertentu. Hal ini dapat dilakukan dengan membagi satu siklus yang terdiri dari total durasi lampu merah, kuning, dan hijau menyala dengan bilangan khromatik yang telah diperoleh dari langkah 2, hasil pembagiannya menunjukkan durasi lampu hijau menyala.

Berikut akan dipaparkan penyelesaian kasus pengaturan lampu lalu lintas pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant.



Gambar 4.4 Ilustrasi arus *incompatible* (tidak boleh berjalan bersamaan) simpang jalan Ahmad Yani Giant

Arus-arus yang *incompatible* (tidak boleh berjalan bersamaan)

adalah :

- Arus v_2 tidak boleh berjalan bersamaan dengan v_3 , v_5 , v_7
- Arus v_3 tidak boleh berjalan bersamaan dengan v_2 , v_7
- Arus v_4 tidak boleh berjalan bersamaan dengan v_5
- Arus v_5 tidak boleh berjalan bersamaan dengan v_2 , v_4 , v_7
- Arus v_7 tidak boleh berjalan bersamaan dengan v_2 , v_3 , v_5

Keterangan :

- 1) v_1 : Dari Sidoarjo ke arah Ahmad Yani Utara
- 2) v_2 : Dari Sidoarjo ke arah Margorejo
- 3) v_3 : Dari arah Ahmad Yani Utara ke Sidoarjo
- 4) v_4 : Dari arah Ahmad Yani Utara ke Margorejo
- 5) v_5 : Dari arah frontage Ahmad Yani Utara ke Sidoarjo
- 6) v_6 : Dari arah frontage Ahmad Yani Utara ke Margorejo
- 7) v_7 : Dari arah Margorejo ke arah Ahmad Yani Utara
- 8) v_8 : Dari arah Margorejo ke arah Sidoarjo

Data lampu lalu lintas pada persimpangan jalan Ahmad Yani -
Giant dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil analisa kecepatan ruas jalan dua arah dengan
menggunakan metode *Moving Car Observation* Dinas Perhubungan
kota Surabaya tahun 2014

No	Nama Jalan	Ruas Jalan		Kecepatan rata-rata (km/jam)
		Dari	Ke	
1.	Jl. Ahmad Yani	Margorejo	Wonokromo	29.95
2.	Jl. Ahmad Yani	Wonokromo	Margorejo	27.54
3.	Jl. Ahmad Yani	Waru	Jemur Andayani	31.70
4.	Jl. Ahmad Yani	Jemur Andayani	Waru	29.22
5.	Jl. Raya Darmo	Dipenegoro	Dr. Soetomo	23.84

6.	Jl. Raya Darmo	Dr. Soetomo	Diponegoro	28.55
----	----------------	-------------	------------	-------

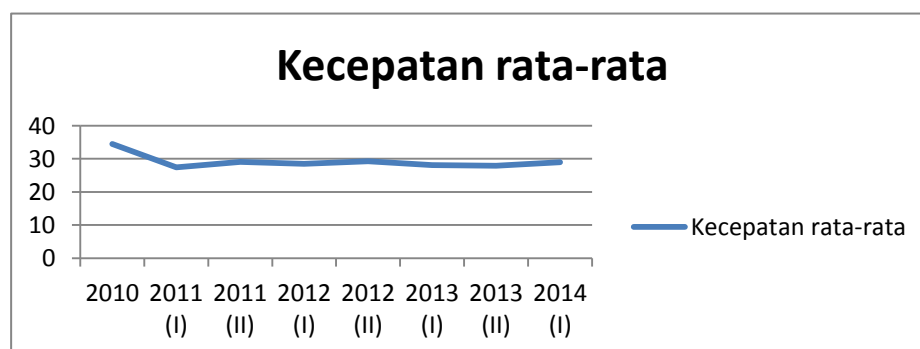
Tabel 4.6 Kecepatan rata-rata Kendaraan di Kota Surabaya tahun 2010-2014

Jenis Kendaraan	2010	2011 (I)	2011 (II)	2012 (I)	2012 (II)	2013 (I)	2013 (II)	2014 (I)
Kecepatan rata-rata	34.41	27.45	29.03	28.47	29.25	28.06	27.87	28.96

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Berdasarkan table di atas dapat dilihat kecepatan rata-rata kendaraan pada tahun 2014 mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya, hal itu salah satunya disebabkan oleh beberapa factor, salah satunya adalah dengan penambahan prasarana lalu lintas berupa prasarana jalan, baik jalan lingkaran luar dan lingkaran dalam serta beberapa manajemen dan rekayasa lalu lintas yang telah dilakukan.



Gambar 4.7 Kecepatan rata-rata kendaraan di Kota Surabaya tahun 2010-2014 (Dinas Perhubungan, Surabaya)

Berdasarkan Gambar kecepatan kendaraan di Kota Surabaya pada kurun waktu enam tahun terakhir sampai dengan tahun 2014, dapat dilihat bahwa kecepatan kendaraan di Kota Surabaya mengalami penurunan pada tahun 2013 dan kembali mengalami kenaikan pada tahun 2014 yang salah satunya diakibatkan oleh semakin bertambahnya luasan jalan yang memadai.

Data Survei Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) 2014.

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu ruas jalan tertentu pada periode waktu tertentu, dimana perhitungan volume lalu lintas dilakukan secara terklasifikasi sebagai berikut :

- a) *Light vehicle* (kendaraan ringan), yaitu semua kendaraan bermotor beroda empat, meliputi jenis sedan (mobil pribadi), angkot, bus mini, pick-up/box dan truk mini.
- b) *Heavy vehicle* (kendaraan berat), yaitu semua kendaraan bermotor beroda lebih dari empat, meliputi bus besar, truk 2 sumbu, truk 3 sumbu, trailer dan truk gandeng.
- c) *Motorcycle* (sepeda motor).
- d) *Unmotorized* (kendaraan tidak bermotor), yaitu semua kendaraan tak bermotor seperti becak, gerobak.

Tabel 4.8 Volume Kendaraan di Jl. Ahmad Yani menuju Utara (Dinas
Perhubungan, Surabaya)

No.	Satuan Kendaraan	Total Kendaraan	
		Ahmad Yani (Utara ke Selatan)	Ahmad Yani (Selatan ke Utara)
1.	Light vehicle (kendaraan ringan), yaitu semua kendaraan bermotor beroda empat, meliputi jenis sedan (mobil pribadi), angkot, bus mini, pick-up/box dan truk mini.	727.08	79.309
2.	Heavy vehicle (kendaraan berat), yaitu semua kendaraan bermotor beroda lebih dari empat, meliputi bus besar, truk 2 sumbu, truk 3 sumbu, trailer dan truk gandeng.	318	371
3.	Motorcycle (sepeda motor).	13.139	200.134
4.	Unmotorized (kendaraan tidak bermotor), yaitu semua kendaraan tak bermotor seperti becak, gerobak.	466	488

Dari hasil survey pencacahan lalu lintas tahun 2014 didapat volume selama 16 jam mulai pukul 05.00-21.00 WIB dengan interval 10 menit dimana total volume masing-masing jalan selama 16 jam dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 4.9 Volume Kendaraan di Jl. Ahmad Yani menuju Utara

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Tiap Jenis (Kend)	Komposisi Penggunaan Ruang Jalan	
			(smp)	%
1	Sepeda Motor	148.382	37.096	53,02%
2	Mobil Pribadi	27.129	27.129	38,77%
3	Angkot	915	915	1,31%
4	Bus Mini	2.191	2.191	3,13%
5	Pick Up / Box	186	186	0,27%
6	Mini Truck	1.498	1.498	2,14%
7	Bus Besar	467	560	0,80%
8	Truck 2 Sumbu	220	264	0,38%
9	Truck 3 Sumbu	100	120	0,17%
10	Truck Gandeng	7	8	0,01%
11	Trailer	2	2	0,00%
12	Kendaraan Tak Bermotor	-	-	0,00%

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Berdasarkan Tabel diatas, volume kendaraan di jalan Ahmad Yani yang menuju ke arah utara paling banyak adalah sepeda motor yang mencapai 148.382 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 53,02%. Sementara jumlah kendaraan mobil pribadi mencapai 27.129 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 38,77%. Untuk transportasi umum seperti angkot dan bus mini mencapai 915 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 1,31% dan 2.191 dengan penggunaan ruang jalan sebesar 3,13%. Selain itu terdapat pula kendaraan dengan jenis pick-up/box, truk dan trailer dengan proporsi yang kecil.

Tabel 4.10 Volume Kendaraan di Jl. Ahmad Yani menuju Selatan

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Tiap Jenis (Kend)	Komposisi Penggunaan Ruang Jalan	
			(smp)	%
1	Sepeda Motor	162.609	40.652	43,44%
2	Mobil Pribadi	44.457	44.457	47,50%
3	Angkot	1.538	1.538	1,64%
4	Bus Mini	2.183	2.183	2,33%
5	Pick Up / Box	326	326	0,35%
6	Mini Truck	3.315	3.315	3,54%
7	Bus Besar	394	473	0,51%
8	Truck 2 Sumbu	389	467	0,50%
9	Truck 3 Sumbu	87	104	0,11%
10	Truck Gandeng	14	17	0,02%

11	Trailer	18	22	0,02%
12	Kendaraan Tak Bermotor	32	32	0,03%

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Berdasarkan Tabel volume kendaraan di jalan Ahmad Yani yang menuju ke arah selatan paling banyak adalah sepeda motor yang mencapai 162.609 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 43,44%. Sementara jumlah kendaraan mobil pribadi mencapai 44.457 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 47,50%. Untuk transportasi umum seperti angkot dan bus mini mencapai 1.538 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 1,64% dan 2.183 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 2,33%. Selain itu terdapat pula kendaraan dengan jenis pick-up/box, truk dan trailer dengan proporsi yang kecil.

Tabel 4.11 Volume Kendaraan di Jl. Ahmad Yani total 2 arah

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Tiap Jenis (Kend)	Komposisi Penggunaan Ruang Jalan	
			(smp)	%
1	Sepeda Motor	310.991	77.748	47,54%
2	Mobil Pribadi	71.586	71.586	43,77%
3	Angkot	2.453	2.453	1,50%
4	Bus Mini	4.374	4.374	2,67%
5	Pick Up / Box	512	512	0,31%
6	Mini Truck	4.813	4.813	2,94%

7	Bus Besar	861	1.033	0,63%
8	Truck 2 Sumbu	609	731	0,45%
9	Truck 3 Sumbu	187	224	0,14%
10	Truck Gandeng	21	25	0,02%
11	Trailer	20	24	0,01%
12	Kendaraan Tak Bermotor	32	32	0,02%

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Berdasarkan Tabel volume kendaraan di jalan Ahmad Yani dengan total dua arah (utara dan selatan) paling banyak adalah sepeda motor yang mencapai 310.991 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 47,54%. Sementara jumlah kendaraan mobil pribadi mencapai 71.586 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 43,77%. Untuk transportasi umum seperti angkot dan bus mini mencapai 2.453 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 1,50% dan 4.374 buah dengan penggunaan ruang jalan sebesar 2,67%. Selain itu terdapat pula kendaraan dengan jenis pick-up/box, truk dan trailer dengan proporsi yang kecil.

Dari hasil survey pencacahan lalu lintas tahun 2014 didapat volume LHR (SMP) dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 4.12 Volume LHR (SMP) di Jl. Ahmad Yani

No.	Nama Jalan	Volume LHR (SMP)													Rata-Rata per Tahun
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 (I)	2011 (II)	2012 (I)	2012 (II)	2013 (I)	2013 (II)	2014 (I)	
1.	Ahmad Yani	128.79 0,4	115.88 9,2	124.22 1,3	121.49 0,6	141.04 0,7	111.30 6,2	126.69 8,3	111.29 7,1	123.33 9,6	132.15 4,3	133.20 0,6	117.7 71,6	176.03 8,5	-0,31%

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Tabel 4.13 Data sekunder persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

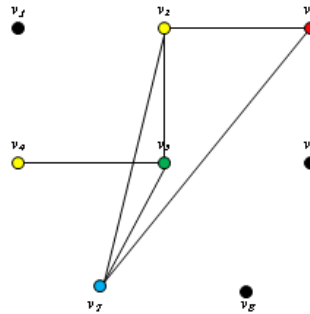
Kaki Simpang	Utara	Selatan	Timur	Total
Merah	46	42	46	134
Hijau	18	22	18	58
Total	64	64	64	192

Sumber : Survei Kinerja Lalu Lintas Kota Surabaya tahun 2014

(Dinas Perhubungan, Surabaya)

Langkah-langkah penyelesaian perhitungan lampu lalu lintas di persimpangan jalan Ahmad Yani Giant sebagai berikut :

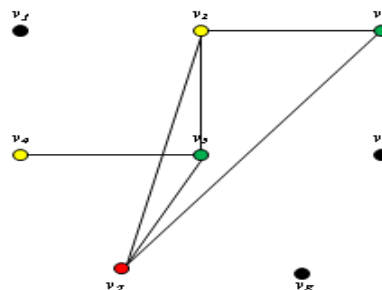
- a) Mentransformasi persimpangan jalan Ahmad Yani Giant ke dalam bentuk graf sebagai berikut :



Gambar 4.14 Pewarnaan Graf persimpangan jalan Ahmad Yani
Giant

Dari transformasi graf diatas diketahui titik v_1 , v_6 , dan v_8 merupakan titik asing yaitu titik yang tidak saling terhubung dengan titik lain. Sehingga arus yang dinyatakan dengan titik v_1 , v_6 , dan v_8 dapat berlangsung beriringan dengan arus lain atau dapat berlaku terus lampu hijau.

- b) Mewarnai graf dengan algoritma *Welch-Powell* untuk mencari bilangan khromatik. Dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell* dihasilkan pewarnaan graf sebagai berikut :



Gambar 4.15 Hasil pewarnaan graf pada persimpangan jalan
Ahmad Yani Giant

Dari pewarnaan graf di atas diperoleh bilangan khromatik = 3 . Untuk kasus pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant, titik v_4 tidak saling adjacent dengan titik v_3 , v_6 , dan v_8 sehingga warna titik v_4 bisa diseragamkan dengan titik v_2 . Hal ini akan berpengaruh pada penyelesaian arus yang dapat berjalan secara bersamaan. Penyelesaian arua-arus yang dapat berjalan bersamaan disajikan dalam Tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Warna titik graf pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

Warna	Titik
Kuning	v_2, v_4
Hijau	v_3, v_5
Merah	v_7

Dari Tabel 4.16 di atas dapat dibuat 3 partisi pengaturan lampu lalu lintas, dimana pada partisi pertama, arus v_2 berjalan bersama arus v_4 , pada partisi kedua arus v_3 berjalan bersama arus v_5 , dan pada partisi ketiga arus v_7 akan berjalan sendiri.

- c) Menentukan alternatif penyelesaian durasi lampu merah dan hijau menyala.

Berdasarkan data sekunder, durasi waktu satu siklus 64 detik, setelah dilakukan pembagian dengan bilangan khromatik = 3, diperoleh durasi lampu hijau menyala yaitu 21.33 detik dan lampu merah menyala yaitu 42.67 detik. Namun untuk v_1 yang dapat berjalan bersamaan dengan v_6 dan v_8 maka durasi lampu hijau akan bertambah menjadi 42.67 detik dan durasi lampu merah menyala berkurang menjadi 21.33 detik.

Selanjutnya, data baru durasi lampu merah dan hijau untuk lampu lalu lintas pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant pada table 4.17.

Tabel 4.17 Penyelesaian lampu lalu lintas pada arus persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

Titik	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
Merah	0	42.67	21.33	42.67	21.33	0	42.67	0
Hijau	64	21.33	42.67	21.33	42.67	64	21.33	64

Tabel 4.18 Data baru lampu lalu lintas pada persimpangan jalan

Ahmad Yani Giant

Kaki Simpang	Utara	Selatan	Timur	Total
Merah	42.67	42.67	21.33	106.67
Hijau	21.33	21.33	42.67	85.33
Total	64	64	64	192

Berdasarkan durasi lampu merah dan hijau menyala pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant dapat diketahui bahwa data hasil penyelesaian pewarnaan titik dengan algoritma *Welch-Powell* lebih efektif dari pada data sekunder dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya tahun 2015. Berikut disajikan table data sekunder dan data baru.

Tabel 4.19 Data sekunder dan data baru lampu lalu lintas persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

Kaki Simpang	Data Sekunder		Data Baru	
	Merah	Hijau	Merah	Hijau
Utara	46	18	42.67	21.33
Selatan	42	22	42.67	21.33
Timur	46	18	21.33	42.67
Total	134	58	106.67	85.33

Durasi total lampu merah menyala dari data sekunder adalah 134 detik, sedangkan dengan pewarnaan titik durasi total lampu merah menyala adalah 106.67detik. Tingkat efektifitasnya yaitu :

$$\frac{\text{Merah Baru} - \text{Merah Lama}}{\text{Merah Lama}} \times 100\% = \frac{134 - 106.67}{106.67} \times 100\% = \frac{27.33}{106.67} \times 100\% = 25.62 \%$$

Durasi total lampu hijau menyala dari data sekunder adalah 58 detik, sedangkan dengan pewarnaan titik durasi total lampu hijau menyala adalah 85.33 detik. Tingkat efektifitasnya yaitu :

$$\frac{\text{Hijau Baru} - \text{Hijau Lama}}{\text{Hijau Lama}} \times 100\% = \frac{85.33 - 58}{58} \times 100\% = \frac{27.33}{58} \times 100\% = 47.12 \%$$

Jadi, untuk kasus lampu lalu lintas persimpangan jalan Ahmad Yani Giant durasi lampu merah menyala akan menurun sebesar 25.62 %, sedangkan durasi lampu hijau menyala akan meningkat sebesar 47.12 %.

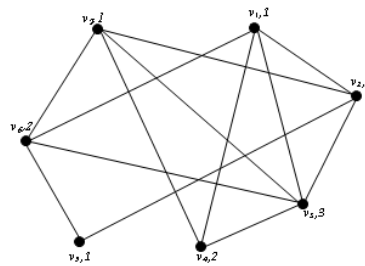
4.2 Pewarnaan pada Graf

Pewarnaan titik maupun pewarnaan sisi pada graf merupakan salah satu topik dalam teori graf yang kaya dengan aplikasi. Konsep pewarnaan graf dibagi menjadi 2. Yang pertama konsep pewarnaan titik pada graf, kemudian dilanjutkan dengan permasalahan menentukan minimum banyak warna yang diperlukan untuk mewarnai titik graf yang selanjutnya disebut bilangan khromatik graf, dan akhirnya disajikan aplikasi pewarnaan titik pada graf.

Yang kedua adalah tentang pewarnaan sisi graf, indeks khromatik, beserta aplikasinya.

4.2.1 Misal G sebuah graf. Sebuah pewarnaan- k dari G adalah pewarnaan semua titik G dengan menggunakan k warna sedemikian hingga dua titik G yang berhubungan langsung mendapat warna yang berbeda. Jika G memiliki sebuah pewarnaan- k maka G dikatakan dapat diwarnai sebuah k warna. Sebuah pewarnaan- k dari graf G biasanya ditunjukkan dengan melabel titik-titik G dengan warna $1, 2, 3, \dots, k$.

Misalnya, sebuah pewarnaan-5 graf G diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 4.20 Sebuah pewarnaan-5 dari G

Sumber Ketut :152

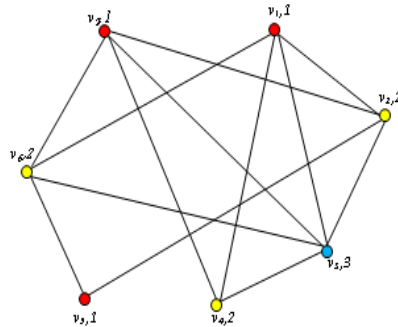
Karena titik v_1 dan titik v_2 berhubungan langsung pada graf G , maka titik v_1 dan titik v_2 tidak boleh mendapat warna yang sama. Dalam hal ini, titik v_1 diwarnai dengan warna 1 dan titik v_2 diwarnai dengan warna 2. Sedangkan, titik v_1 dan v_5 tidak berhubungan langsung, sehingga v_5 dapat diwarnai dengan warna 1. Karena titik v_3 harus berbeda dengan warna v_1 dan v_2 , jadi v_3 diberi warna yang berbeda dengan warna 1 dan warna 2, misalnya diberi warna 3, dan seterusnya.

Perhatikan bahwa, graf G mempunyai gelung (loop), misalnya pada titik v_1 maka v berhubungan langsung dengan dirinya sendiri, sehingga tidak ada pewarnaan titik yang memungkinkan untuk graf G . Jika dua titik berbeda di graf G dihubungkan oleh satu sisi atau lebih dari satu sisi, maka kedua titik tersebut tetap harus mendapat warna yang berbeda. Sehingga, berkaitan dengan pewarnaan titik pada graf, cukup dibatasi pada graf-graf yang berbeda saja.

1. Bilangan Khromatik pada Graf

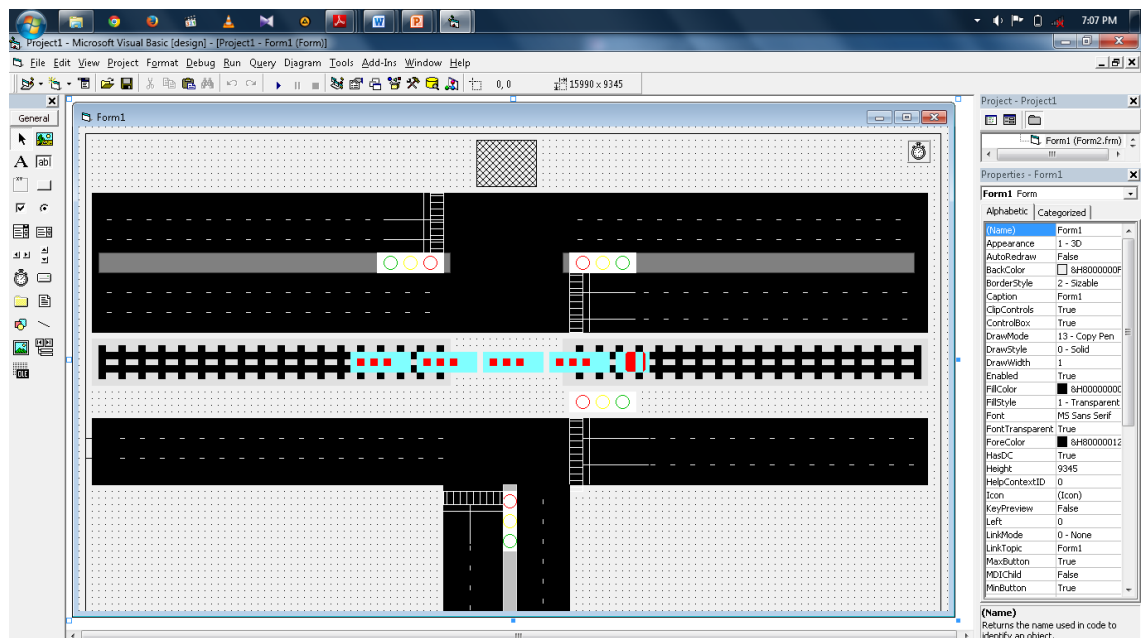
Misalkan G sebuah graf. Bilangan khromatik (Chromatic Number) dari graf G , dilambangkan dengan $\chi(G)$, didefinisikan sebagai berikut : $\chi(G) = \min \{k / \text{ada pewarnaan-}k \text{ pada } G\}$.

Dengan kata lain, bilangan khromatik graf G adalah minimum banyaknya warna yang diperlukan untuk mewarnai sebuah titik G , sedemikian hingga setiap dua titik yang berhubungan langsung mendapat warna yang berbeda. Jika $\chi(G) = k$ maka ada sebuah pewarnaan- k pada graf G , tetapi sebaliknya tidak berlaku. Misalnya seperti diperlihatkan pada gambar 2.1, terdapat sebuah pewarnaan-5 pada graf G , tetapi $\chi(G) \neq 5$. Karena graf G dapat diwarnai dengan kurang dari 5 warna, misalnya G dapat diwarnai dengan 3 warna, seperti terlihat pada gambar 2.22, dan karena graf G tidak dapat diwarnai dengan menggunakan kurang dari 3 warna, maka bilangan khromatik G adalah 3, atau $\chi(G) = 3$.



Gambar 4.21 Sebuah pewarnaan-3 dari G

Sumber Ketut :153



Gambar 4.22 Tampilan program simulasi pengaturan lampu lalu lintas pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant

Gambar 4.22 menampilkan program simulasi lampu lalu lintas. Terlihat pada gambar diatas permodelan persimpangan jalan Ahmad Yani Giant beserta lampu lalu lintas pada setiap jalurnya. Berdasarkan pengamatan di lapangan gambar tersebut juga menggambarkan situasi

ketika dari arah Ahmad Yani Utara (Dari Arah Sidoarjo) lampu menyala hijau, maka dari arah Ahmad Yani Selatan (Dari Arah Darmo) berhenti kecuali untuk belok kiri jalan terus dan dari arah Giant (Margorejo) juga jalan. Untuk mengetahui waktu tunggu atau waktu lampu merah dari masing-masing jalur didapatkan dari jumlah akumulasi waktu lampu kuning dan hijau dari 2 jalur.

Berdasarkan hasil penelitian Dengan menerapkan program Visual Basic pada pengaturan lampu lalu lintas diperoleh hasil bahwanya sistem tersebut efektif apabila tidak ada penumpukan atau antrian kendaraan dengan kapasitas yang berlebihan. Apabila penumpukan atau antrian kendaraan dengan kapasitas berlebihan maka sistem tersebut tidak efektif sehingga cara yang digunakan adalah cara manual, dengan sistem petugas harus mengatur lampu lalu lintas secara manual dilihat pada kamera CCTV yang terpasang pada lampu lalu lintas dan polisi lalu yang bertugas ditempat kejadian. Diharapkan dapat mengurangi resiko kemacetan, kecelakaan, atau gangguan lain yang dapat terjadi di jalan tersebut.

- 1) Adapun kemacetan pada persimpangan jalan Ahmad Yani Giant dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain:
 - a) Banyak pengguna jalan yang tidak tertib.
 - b) Pengguna jalan banyak yang tidak tertib sehingga mengganggu kelancaran lalu lintas yang menyebabkan kemacetan lalu lintas.

- c) Kurangnya jumlah petugas lalu lintas dalam mengatasi/mengatur jalannya lalu lintas terutama di jalan-jalan yang rawan macet.
- d) Konflik antara kendaraan arah lurus dengan kendaraan arah belok sering terjadi di tikungan jalan lantaran para pengguna jalan tidak ada yang mau mengalah sehingga menimbulkan kemacetan lalu lintas.
- e) Kemacetan lalu lintas dan parkir merupakan problem yang tak tertuntaskan karena mobil diparkir di badan jalan sehingga mengakibatkan penyempitan badan jalan sehingga pergerakan lalu lintas kendaraan yang melewati jalan tersebut menjadi terganggu akibat menyempitnya jalan. Kendaraan yang lewat terpaksa berjalan lambat, malah tidak bisa bergerak.
- f) Angkutan umum juga menyebabkan kemacetan lalu lintas oleh karena menaikkan/menurunkan penumpang tidak pada tempatnya sehingga mengganggu kelancaran lalu lintas.
- g) Penyempitan jalan dan antrian di mulut persimpangan jalan.
- h) Salah satu penyebab kemacetan lalu lintas adalah penyempitan jalan dan antrian di mulut persimpangan jalan yang apabila para pengendara tidak saling mengalah mengakibatkan kemacetan dan antrian panjang.
- i) Angkutan barang (truk) melanggar klas jalan.
- j) Kendaraan barang (truk) sebaiknya tidak melanggar klas jalan sehingga tidak menimbulkan kemacetan lalu lintas.

- k) Sempitnya jalan juga berpengaruh terhadap kemacetan lalu lintas. Apabila kendaraan berputar arah otomatis radius putarnya juga sempit sehingga mobil susah belok. Apabila jalan tersebut termasuk jalan yang padat lalu lintasnya, maka secara otomatis mempengaruhi kemacetan lalu lintas karena adanya mobil yang putar arah padahal radius putarnya terlalu sempit sehingga menimbulkan kemacetan.
- l) Lampu penerangan jalan umum banyak tertutup dedaunan.
- m) Lampu penerangan jalan sangat diperlukan sekali pada malam hari. Untuk itu, lampu-lampu jalan yang pecah/putus segera dipasang kembali agar jalan kelihatan terang sehingga kendaraan bisa berjalan dengan lancar dan tidak menimbulkan kecelakaan dan kemacetan. Di samping itu, ranting pepohonan di sisi kanan-kiri jalan sebaiknya dirapikan agar tidak menghalangi/menutupi cahaya lampu menerangi jalan.
- n) Adanya *crossing* kendaraan yang berjalan lurus dengan kendaraan menuju gang-gang di kanan-kiri perlintasan kereta api.
- o) Di perlintasan kereta api yang rawan kemacetan dan rawan kecelakaan seharusnya mendapat perhatian lebih dari pemerintah kota demi menghindari kemacetan dan kecelakaan di lintasan kereta api.
- p) Jarak pandang dengan perlintasan sebidang kurang.
- q) Apabila jarak pandang dengan perlintasan sebidang kurang, maka akan menyebabkan kemacetan lalu lintas.

- r) Tidak ada pembatasan jenis kendaraan.
 - s) Jenis kendaraan yang lewat di jalan-jalan tertentu sebaiknya ada pembatasan, misalnya untuk mobil truk tidak boleh melewati jalan yang rawan macet pada jam-jam sibuk dengan tujuan untuk menghindari kemacetan lalu lintas.
2. Adapun solusi dalam mengatasi kepadatan lalu lintas bisa dicegah dengan jalan sebagai berikut :
- 1. Solusi Jangka Pendek
 - a. Penempatan petugas pada jam-jam sibuk dalam rangka penertiban dan penegakan hukum. Aparat petugas/polisi lebih meningkatkan semangat kerja, kejujuran, dan kedisiplinan dalam melaksanakan tugas sehingga petugas selalu ada di tempat tugas terutama pada jam-jam sibuk untuk mengatur kemacetan lalu lintas dan menindak tegas bagi siapa saja yang melanggar rambu-rambu lalu lintas tanpa pengecualian dan tidak memungut/menerima uang “damai” dari pelanggar lalu lintas sehingga bagi pelanggar lalu lintas akan berpikir panjang apabila melakukan pelanggaran lalu lintas karena sanksinya jelas.
 - b. Penambahan rambu dilarang berhenti dan parkir. Untuk jalan-jalan tertentu yang rawan macet sebaiknya dipasang rambu dilarang berhenti atau parkir karena padatnya lalu lintas di jalan tersebut sehingga pengguna jalan tidak ada yang berani berhenti/parkir di jalan tersebut.

- c. Penertiban kendaraan yang akan menurunkan atau menaikkan penumpang. Bagi kendaraan umum/angkutan kota maupun mobil pribadi dilarang sembarangan menurunkan/menaikkan penumpang di sembarang tempat/jalan sehingga menyebabkan kemacetan oleh karenanya ditertibkan agar dalam menaikkan/menurunkan penumpang pada tempat/jalan yang telah ditentukan.
- d. Pemasangan kembali rambu yang hilang. Apabila rambu-rambu lalu lintas ada yang hilang sebaiknya petugas/instansi terkait segera mengganti/memasang kembali rambu yang hilang sehingga larangan-larangan dalam rambu dapat dimengerti pengguna jalan.
- e. Melakukan evaluasi/survei dalam tingkat pelayanan. Dalam melakukan pelayanan kepada masyarakat sebaiknya petugas/instansi terkait melakukan evaluasi/survei dalam meningkatkan tugas pelayanan kepada masyarakat.
- f. Mengusulkan Bus Sekolah untuk siswa sekolah. Untuk masa yang akan datang seharusnya diusulkan sekolah menyediakan armada angkutan bagi para siswanya sehingga para siswa sekolah tidak memakai sepeda motor sendiri maupun diantar atau memakai mobil pribadi. Langkah ini dapat mengurangi kepadatan lalu lintas. Saat ini banyak siswa memakai sepeda motor, diantar atau memakai mobil pribadi ke sekolah atau naik

kendaraan angkutan umum. Alangkah baiknya ditampung dalam satu bus sekolah sehingga mengurangi kemacetan lalu lintas dan mengurangi polusi udara.

2. Solusi Jangka Panjang

- a. MRT (*Mass Rapid Transite*). MRT merupakan suatu sistem transportasi perkotaan yang mempunyai 3 kriteria utama yaitu, *mass* (daya angkut besar), *rapid* (waktu tempuh cepat dan frekuensi tinggi), dan *transite* (berhenti di banyak stasiun di titik utama perkotaan). Dengan menggunakan sistem ini, maka jalanan Kota Surabaya volume kendaraannya berkurang karena banyak masyarakat yang bekerja lebih memilih menggunakan MRT, karena dari segi waktu lebih efisien dan efektif.
- b. Menaikan tarif parkir di pusat perbelanjaan di tengah kota. Dengan menaikan tarif parkir maka masyarakat pengguna kendaraan lebih memilih menggunakan transportasi umum daripada transportasi pribadi sehingga volume kendaraan di tengah kota berkurang. Tetapi dengan dengan menaikan tarif parkir maka pemerintah harus mewasadai kendaraan yang memarkir sesuka hati karena tarif parkirnya tinggi.
- c. Mengusulkan Bus Sekolah untuk siswa sekolah. Untuk masa yang akan datang seharusnya diusulkan sekolah menyediakan armada angkutan bagi para siswanya sehingga para siswa sekolah tidak memakai sepeda motor sendiri maupun diantar atau

memakai mobil pribadi. Langkah ini dapat mengurangi kepadatan lalu lintas. Saat ini banyak siswa memakai sepeda motor, diantar atau memakai mobil pribadi ke sekolah atau naik kendaraan angkutan umum. Alangkah baiknya ditampung dalam satu bus sekolah sehingga mengurangi kemacetan lalu lintas dan mengurangi polusi udara.

- d. Upaya peningkatan kapasitas jalan dengan memisahkan jenis kendaraan berdasarkan dimensi atau kecepatannya. Dengan memisahkan jenis kendaraan berdasarkan dimensi atau kecepatannya dalam upaya peningkatan kapasitas jalan. Misalnya, dilakukan dengan jalan membuat pemisahan angkutan umum/sepeda motor dengan kendaraan roda 4/mobil pribadi sehingga mobil pribadi bisa lancar di jalur yang terpisah dengan angkutan umum yang sering berhenti menurunkan/menaikkan penumpang di sembarang tempat. Adanya pemisahan jalur diharapkan dapat mengatasi kemacetan lalu lintas.
- e. Pembuatan prioritas Lajur khusus untuk Bus Kota. Misalkan lajur khusus bus kota tersebut dibuat di tengah-tengah jalan, sedangkan jalur kanan-kiri untuk kendaraan pribadi, pengendara sepeda motor, dan pejalan kaki.
- f. Pembuatan lajur khusus untuk kendaraan tidak bermotor. Kendaraan tidak bermotor misalkan becak, sepeda angin, dan

gerobak sebaiknya dibuatkan lajur khusus sehingga tidak mengganggu kelancaran kendaraan bermotor di jalan.

- g. Pembenahan persimpangan dengan pelebaran mulut persimpangan. Persimpangan jalan biasanya menimbulkan kemacetan. Seharusnya di masa mendatang dipikirkan melakukan pembenahan dengan melebarkan mulut persimpangan jalan. Kendalanya di daerah persimpangan jalan kebanyakan sudah tidak ada lagi tanah/lahan untuk pelebaran jalan.
- h. Pelebaran jalan yang ada. Kalau masih memungkinkan jalan yang rawan macet sebaiknya juga dilakukan pelebaran jalan untuk mengurangi kemacetan lalu lintas karena jalan yang sudah ada memang sudah tidak mungkin lagi menampung mobil/kendaraan bermotor yang ada.
- i. Perbaikan trotoar di sisi kanan kiri jalan untuk pejalan kaki. Untuk jangka panjang perlu dipikirkan tentang pembuatan dan perbaikan trotoar di sisi kanan kiri jalan-jalan yang belum ada trotoarnya oleh karena trotoar untuk berjalan bagi pejalan kaki, kalau tidak ada trotoar maka pejalan kaki akan berjalan di badan jalan sehingga menyebabkan kemacetan.
- j. Pembuatan jembatan penyeberangan. Tanpa adanya jembatan penyeberangan maka pejalan kaki yang akan menyeberang akan sembarangan menyeberang sehingga sering terjadi konflik antara

kendaraan yang lewat dengan pejalan kaki di samping itu menimbulkan kemacetan dan tidak lancarnya lalu lintas.

- k. Peningkatan jalan dan pembenahan jarak pandang. Jarak pandang dalam berkendara bermotor sangat penting oleh karenanya perlu diadakan peningkatan dan pembenahan lampu-lampu jalan sehingga terlihat terang terutama di malam hari.
- l. Menentukan jenis pengendalian persimpangan yang tepat. Perlu dipikirkan jenis pengendalian yang tepat untuk mengatur persimpangan jalan yang sering rawan kemacetan sehingga di masa yang akan datang diharapkan persimpangan-persimpangan jalan tidak menimbulkan kemacetan lalu lintas.
- m. Melakukan evaluasi tingkat pelayanan. Perlu diadakan evaluasi dalam memberikan pelayanan kepada masyarakat agar instansi terkait/aparat polisi sebagai pelayan masyarakat dapat memberikan pelayanan yang lebih baik dari sekarang.