

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 SIMPANG BERSINYAL**

Simpang bersinyal adalah persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*). Berdasarkan Direktorat Jendral Bina Marga, sinyal lalu lintas pada umumnya dipergunakan untuk alasan berikut.

1. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu lintas jam puncak.
2. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk/memotong jalan utama.
3. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan - kendaraan dari arah yang bertentangan.

Berdasarkan Dirjen Bina Marga(1997) metodologi untuk analisa simpang bersinyal yang didasarkan pada prinsip - prinsip utama sebagai berikut.

##### **3.1.1 Geometri**

Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekat. Satu lengan simpang dapat terdiri lebih dari satu pendekat, yaitu dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekat. Hal ini terjadi jika gerakan belok kanan dan /atau lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik dengan pulau-pulau lalu lintas dalam pendekat.

Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat lebar efektif ( $W_e$ ) ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan keluar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

### 3.1.2 Arus Lalu Lintas

Perhitungan dilakukan per satuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya didasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore.

Arus lalu lintas ( $Q$ ) untuk setiap gerakan (belok kiri  $Q_{LT}$ , lurus  $Q_{ST}$  dan belok kanan  $Q_{RT}$ ) dikonversi dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekatan terlindung dan terlawan. Adapun ekivalen kendaraan penumpang yang digunakan untuk konversidari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang per jam dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Ekivalen Kendaraan Penumpang**

Jenis Kendaraan	emp untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber : Dirjen Bina Marga ( 1997)

### 3.1.3 Model Dasar

1. Arus jenuh ( $S$ ) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian dari arus jenuh dasar ( $S_0$ ) yaitu arus jenuh pada keadaan standar, dengan faktor penyesuaian ( $F$ ) untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya, dari suatu kumpulan kondisi-kondisi (ideal) yang telah ditetapkan sebelumnya. Perhitungan ini dapat menggunakan Rumus 3.1 berikut.

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \quad (3.1)$$

dengan:

$S_0$  = Arus jenuh dasar

$F_{CS}$  = Faktor koreksi ukuran kota

$F_{SF}$  = Faktor koreksi gangguan samping

$F_G$  = Faktor koreksi kelandaian

$F_P$  = Faktor koreksi parkir

$F_{RT}$  = Faktor koreksi belok kanan

$F_{LT}$  = Faktor koreksi belok kiri

a. Untuk tipe *approach* P (arus terlindung)

Arus lalu lintas jenuh dasar dapat dihitung dengan Rumus 3.2 berikut.

$$S_0 = 600 \times W_e \text{ (smp/jam hijau) atau} \quad (3.2)$$

Dari beberapa penelitian di beberapa kota di Indonesia dari Munawar dkk (2003), nilai arus jenuh yang ada di lapangan ternyata lebih besar dari nilai tersebut, yaitu sebesar 1,3 kali, sehingga rumus empiris dari Dirjen Bina Marga (1997) tersebut dianjurkan untuk dikoreksi seperti pada Rumus 3.3 berikut.

$$S_0 = 780 \times W_e \text{ (smp/jam hijau)} \quad (3.3)$$

dengan:

$S_0$  = Arus lalu lintas jenuh dasar (smp/jam)

$W_e$  = Lebar jalan (meter)

b. Untuk tipe *approach* O (arus terlawan )

Arus jenuh dasar didapat dari grafik yang terdapat dalam Dirjen Bina Marga (1997) hal 2-51 (untuk *approach* tanpa garis pemisah belok kanan) dan grafik hal 2-52 (untuk *approach* dengan garis pemisah belok kanan).  $S_0$  sebagai fungsi dari lebar efektif ( $W_e$ ), lalu lintas belok kanan ( $Q_{RT}$ ) dan lalu lintas belok kanan yang berlawanan ( $Q_{RTO}$ ). Cara menggunakan gambar adalah dengan mencari nilai arus dengan lebar *approach* yang lebih besar dan lebih kecil dari  $W_e$  aktual dan kemudian diinterpolasi.

c. Faktor koreksi

1) Penentuan faktor koreksi untuk nilai arus lalu lintas dasr kedua tipe *approach*.

a) Faktor koreksi ukuran kota ( $F_{CS}$ ), ditentukan dari Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota Untuk Simpang Bersinyal ( $F_{cs}$ )**

Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{cs}$ )
< 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber : Dirjen Bina Marga ( 1997)

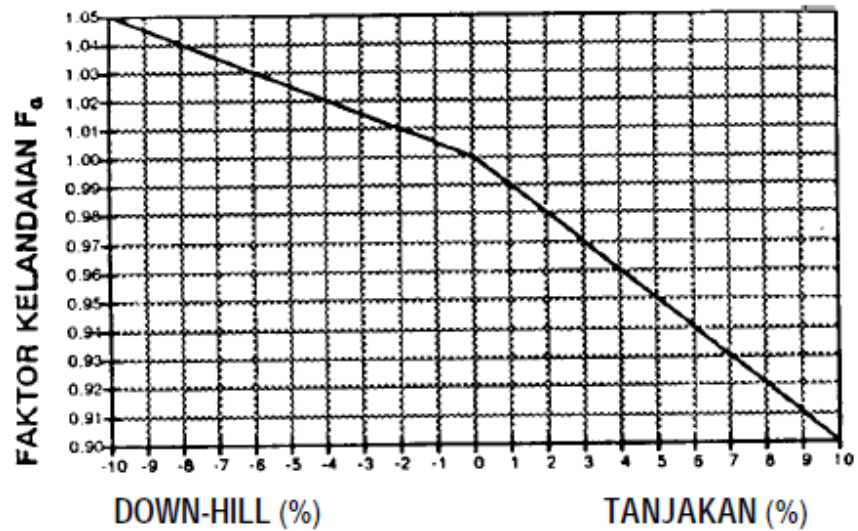
- b) Faktor koreksi hambatan samping ( $F_{SF}$ ), merupakan fungsi dari tipe lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor. Jika gangguan samping tidak diketahui dapat diasumsikan nilai yang tinggi agar tidak terjadi *over estimate* untuk kapasitas. Faktor ini dapat ditentukan berdasar Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3 Faktor Hambatan Samping Untuk Simpang Bersinyal ( $F_{SF}$ )**

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (COM)	Tinggi	O	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		P	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	O	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		P	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	O	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		P	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	O	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		P	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	O	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		P	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	O	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		P	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	T/S/R	O	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		P	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : Dirjen Bina Marga ( 1997)

- c) Faktor koreksi gradien ( $F_G$ ), adalah fungsi dari kelandaian lengan simpang, ditentukan dari gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Faktor Koreksi Gradien,  $F_G$**   
(Sumber : Dirjen Bina Marga, 1997)

- d) Faktor koreksi parkir ( $F_P$ ), adalah jarak dari garis henti ke kendaraan yang parkir pertama dan lebar *approach* ditentukan dari gambar 3.2 berikut ini atau diperlihatkan dalam Rumus 3.4.

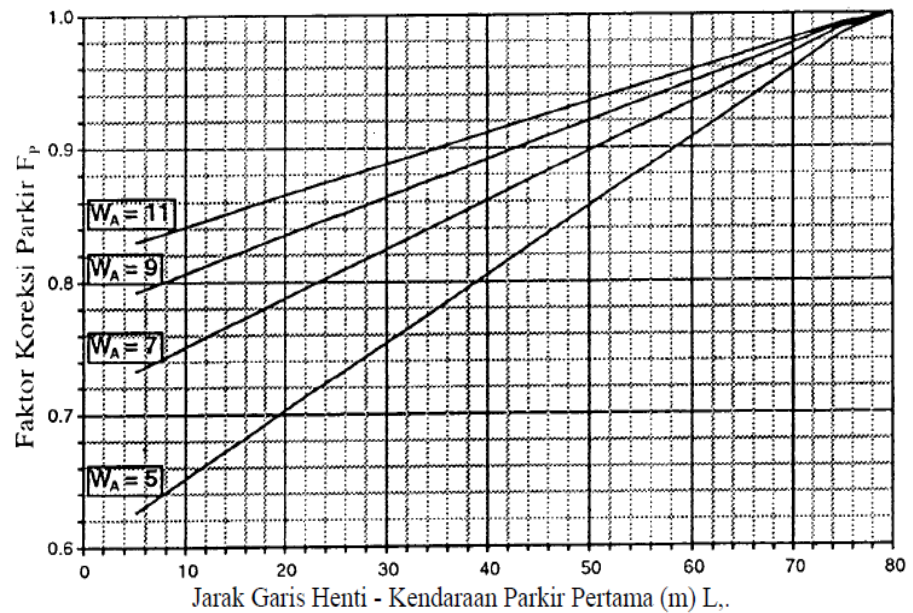
$$F_P = \frac{\frac{L_P}{3} - (W_A - 2) \times \frac{L_P - g}{W_A}}{g} \quad (3.4)$$

dengan:

$L_P$  = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang parkir pertama

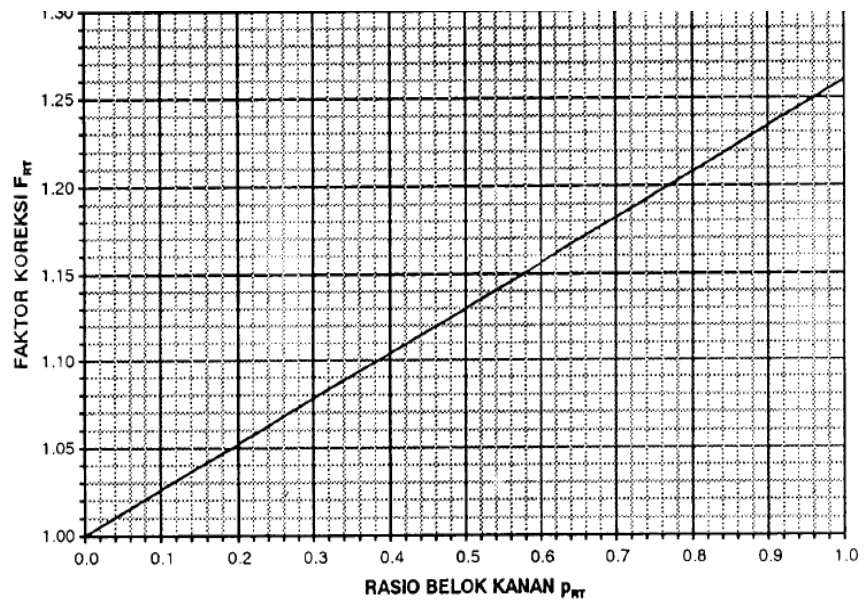
$W_A$  = Lebar *approach* (m)

$g$  = Waktu hijau *approach* yang bersangkutan (detik)



**Gambar 3.2 Faktor Koreksi Parkir Untuk Simpang,  $F_p$**   
(Sumber : Dirjen Bina Marga, 1997)

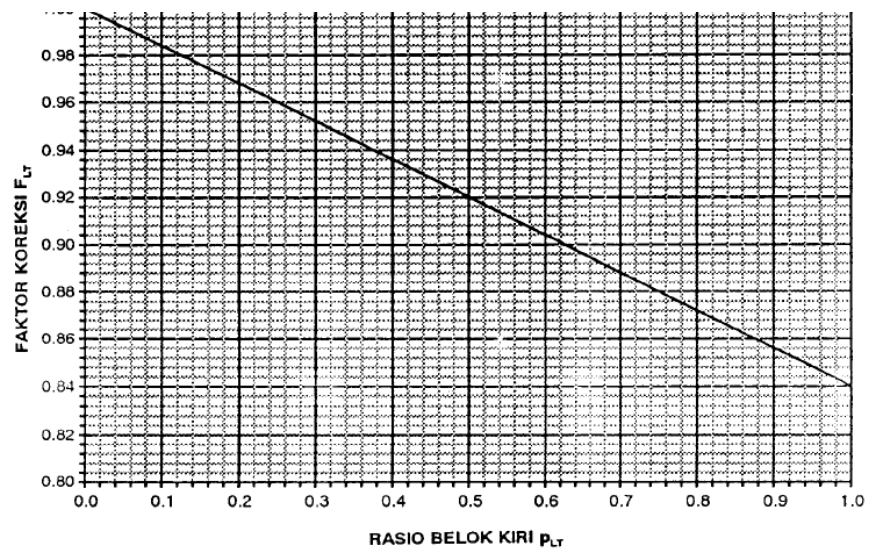
- 2) Penentuan faktor koreksi untuk nilai arus jenuh dasar hanya untuk tipe *approach* P.
  - a) Faktor koreksi belok kanan ( $F_{RT}$ ), ditentukan sebagai fungsi perbandingan kendaraan yang belok kanan ( $P_{RT}$ ). Faktor ini hanya untuk tipe *approach* P, jalan dua lajur dan diperlihatkan pada Gambar 3.3. Untuk jalan dua lajur tanpa median, kendaraan yang belok kanan terlindung dengan tipe *approach* P, cenderung untuk melewati garis tengah sebelum garis henti ketika mengakhiri belokannya. Kasus ini akan menambah arus jenuh dengan perbandingan yang tinggi pada lalu lintas belok kanan.



**Gambar 3.3 Faktor Koreksi Belok Kanan,  $F_{RT}$**

(Sumber : Dirjen Bina Marga,1997)

- b) Faktor koreksi belok kiri ( $F_{LT}$ ) ditentukan sebagai fungsi perbandingan belok kiri ( $P_{LT}$ ). Faktor ini hanya untuk *approach* tanpa LTOR, diperlihatkan pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Faktor Koreksi Belok Kiri,  $F_{LT}$**

(Sumber : Dirjen Bina Marga,1997)

Dalam *approach* yang terlindung, tanpa perlengkapan untuk LTOR, kendaraan yang belok kiri cenderung menurun pelan dan

dapat mengurangi arus jenuh pada *approach*. Pada umumnya lebih pelan pada lalu lintas dalam *approach* tipe O dan tidak ada koreksi yang dimasukkan pada perbandingan untuk belok kiri.

## 2. Perbandingan arus dengan arus jenuh

Perhitungan perbandingan arus ( $Q$ ) dengan arus jenuh ( $S$ ) untuk tiap *approach* terdapat pada Rumus 3.5 berikut ini.

$$FR = \frac{Q}{S} \quad (3.5)$$

Perbandingan arus kritis ( $FR_{CRIT}$ ), yaitu nilai perbandingan arus tertinggi dalam tiap fase. Jika nilai perbandingan arus kritis untuk tiap fase dijumlahkan, akan didapat perbandingan arus simpang. Hasil diperoleh dengan Rumus 3.6 berikut.

$$IFR = \Sigma(FR_{CRIT}) \quad (3.6)$$

Perhitungan perbandingan fase (*phase ratio*, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara  $FR_{CRIT}$  dengan IFR dengan Rumus 3.7 di bawah ini .

$$PR = \frac{FR_{CRIT}}{IFR} \quad (3.7)$$

### 3.1.4 Penentuan Waktu Sinyal

Penentuan waktu sinyal untuk keadaan dengan kendali waktu tetap dilakukan berdasarkan metode Webster (1996) untuk meminimumkan tundaan total pada suatu simpang. Pertama-tama ditentukan waktu siklus ( $c$ ), selanjutnya waktu hijau ( $g_i$ ) pada masing-masing fase ( $i$ ).

#### 1. Waktu siklus sebelum penyesuaian ( $c_{ua}$ )

Waktu siklus untuk fase, dapat dihitung dengan rumus atau gambar di bawah ini. Waktu siklus hasil perhitungan ini merupakan waktu siklus optimum, yang akan menghasilkan tundaan terkecil. Perhitungan waktu siklus sebelum penyesuaian dilakukan dengan Rumus 3.8 berikut.



$$c_{ua} = \frac{1,5 \times LTI + 5}{1 - IFR} \quad (3.8)$$

dengan:

$c_{ua}$  = Waktu siklus sinyal (detik)

LTI = Total waktu hilang per siklus (detik)

IFR = Perbandingan arus simpang  $\Sigma(FR_{CRIT})$

Jika alternatif sinyal yang direncanakan dievaluasi, menghasilkan nilai yang rendah untuk ( $IFR = LT/c$ ), maka hasil ini akan lebih efisien. Waktu siklus yang dihasilkan diharapkan sesuai batas yang disarankan oleh Dirjen Bina Marga(1997), sebagai pertimbangan teknik lalu lintas yang diterangkan dalam Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Waktu Siklus yang Layak**

<b>Tipe Kontrol</b>	<b>Waktu Siklus Yang Layak (detik)</b>
2 fase	40-80
3 fase	50-100
4 fase	80-130

Sumber : Dirjen Bina Marga (1997)

## 2. Waktu hijau (g)

Waktu hijau adalah waktu nyala hijau dalam suatu pendekat. Perhitungan waktu hijau untuk tiap fase dijelaskan dengan Rumus 3.9 di bawah ini.

$$g_i = (c_{ua} - LTI) \times PR_i \quad (3.9)$$

dengan:

$g_i$  = Waktu hijau dalam fase-i (detik)

$c_{ua}$  = Waktu siklus yang ditentukan (detik)

LTI = Total waktu hilang per siklus

$PR_i$  = Perbandingan fase  $FR_{CRIT}/\Sigma(FR_{CRIT})$

### 3. Waktu siklus yang disesuaikan (c)

Waktu siklus ini berdasar pada pembulatan waktu hijau yang diperoleh dan waktu hilang (LTI) dihitung dengan Rumus 3.10 berikut.

$$c = \sum g + LTI \quad (3.10)$$

#### 3.1.5 Kapasitas

Kapasitas untuk tiap lengan simpang dihitung dengan Rumus 3.11 berikut.

$$C = S \times \frac{g}{c} \quad (3.11)$$

dengan:

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus jenuh (smp/jam)

g = Waktu hijau efektif (detik)

c = Waktu siklus yang dibulatkan (detik)

#### 3.1.6 Derajat jenuh

Derajat jenuh merupakan perbandingan antara volume dan kapasitas. Nilai derajat jenuh dapat dicari dengan rumus 3.12 berikut.

$$DS = \frac{Q}{C} \quad (3.12)$$

dengan:

DS = Derajat jenuh

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

#### 3.1.7 Tingkat Performansi

Berbagai ukuran perilaku lalu lintas dapat ditentukan berdasarkan pada arus lalu lintas (Q), derajat kejenuhan (DS) dan waktu sinyal (c dan g) sebagaimana diuraikan di bawah ini.

### 1. Panjang antrian

Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ( $NQ_1$ ) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah ( $NQ_2$ ). Perhitungan nilai NQ,  $NQ_1$  dan  $NQ_2$  masing-masing menggunakan Rumus 3.13, Rumus 3.14 dan Rumus 3.15 berikut.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (3.13)$$

dengan:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[ (DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \quad (3.14)$$

Jika  $DS > 0,5$ ; selain dari itu  $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (3.15)$$

dengan:

$NQ_1$  = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

$NQ_2$  = Jumlah smp yang datang selama fase merah

$DS$  = Derajat kejenuhan

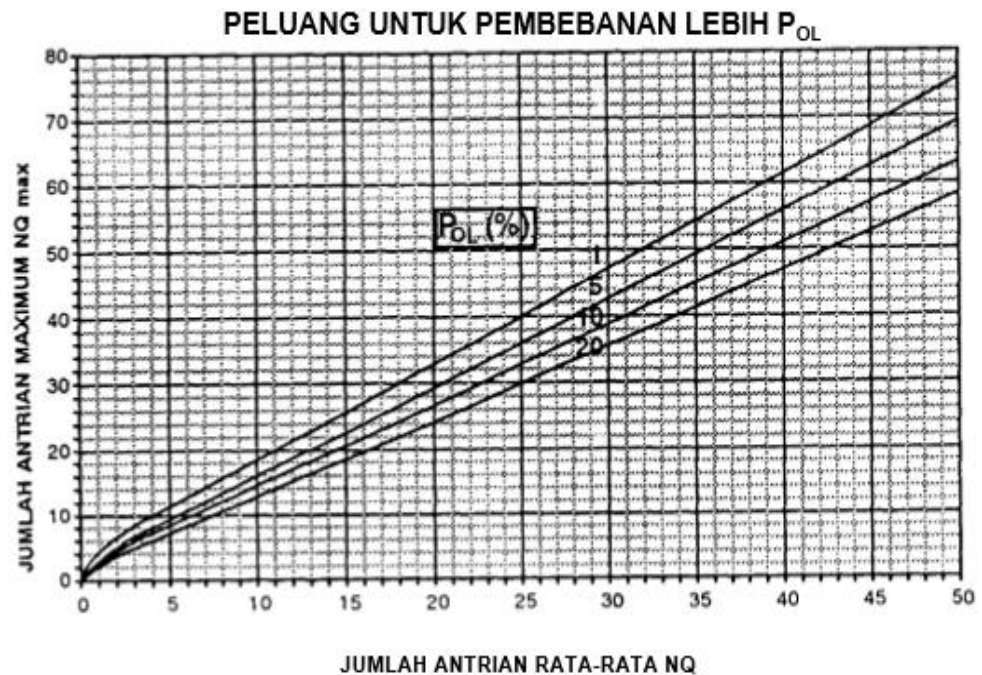
$GR$  = Rasio hijau

$c$  = Waktu siklus (detik)

$C$  = Kapasitas (smp/jam)= arus jenuh kali rasio hijau ( $S \times GR$ )

$Q$  = Arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/det)

Untuk menyesuaikan NQ dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya terjadinya pembebanan lebih  $P_{OL}(\%)$ . Untuk perancangan dan perencanaan disarankan  $P_{OL} \leq 5\%$ , untuk operasi suatu nilai  $P_{OL} = 5-10\%$  mungkin dapat diterima. Untuk mendapatkan nilai  $NQ_{MAX}$  dapat digunakan grafik pada gambar 3.5 berikut ini.



**Gambar 3.5 Perhitungan Jumlah Antrian ( $NQ_{MAX}$ ) Dalam Smp**  
(Sumber : Dirjen Bina Marga,1997)

Untuk keperluan perencanaan, manual memungkinkan untuk penyesuaian dari nilai rata-rata ini ke tingkat peluang pembebanan lebih yang dikehendaki. Panjang antrian ( $QL$ ) diperoleh dari perkalian  $NQ_{MAX}$  dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp ( $20m^2$ ) dan pembagian dengan lebar masuk, yang dapat dilihat pada Rumus 3.16 berikut.

$$QL = NQ_{MAX} \times \frac{20}{W_{ENTRY}} \text{ (meter)} \quad (3.16)$$

## 2. Angka henti

Angka henti ( $NS$ ), yaitu jumlah berhenti rata-rata kendaraan (termasuk berhenti berulang dalam antrian). Angka henti pada masing-masing pendekat dapat dihitung berdasar Rumus 3.17 berikut.

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \quad (3.17)$$

dengan:

$c$  = Waktu siklus (detik)

$Q$  = Arus lalu lintas

Jumlah kendaraan terhenti ( $N_{ST}$ ) pada masing-masing pendekat dapat dihitung dengan Rumus 3.18 berikut.

$$N_{ST} = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \quad (3.18)$$

Angka henti seluruh simpang didapatkan dengan membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total  $Q$ . Perhitungan dijelaskan pada Rumus 3.19 berikut.

$$NS_{TOT} = Q \times NS \quad (3.19)$$

### 3.1.8 Tundaan

Tundaan lalu lintas rata-rata tiap *approach* ditentukan dengan Rumus 3.20 berikut.

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \quad (3.20)$$

dengan:

$DT$  = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/smp)

$c$  = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

$GR$  = Rasio hijau ( $g/c$ )

$DS$  = Derajat jenuh

$NQ_1$  = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

$C$  = Kapasitas (smp/jam)

## 3.2 KOORDINASI SIMPANG BERSINYAL

Alamsyah (2005) menyatakan pengaturan simpang sebidang dengan lampu lalu lintas pada suatu jaringan jalan dapat dilakukan melalui suatu koordinasi sehingga ada keterkaitan atas satu simpang dengan simpang lainnya yang berada dalam satu jaringan jalan. Daerah dari jaringan jalan terkoordinasi biasanya berada di pusat kota atau suatu ruas dari jalan arteri yang terdiri dari beberapa

simpang. Dalam kondisi-kondisi tertentu, pengaturan dengan sistem terkoordinasi ini bisa didapat hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pengaturan individu. Koordinasi lampu paling diperlukan jika kendaraan mendatangi persimpangan dalam peleton yang terbentuk oleh lampu lalu lintas.

Dari perencanaan-perencanaan koordinasi simpang bersinyal diharapkan keuntungan-keuntungan yang jika dibandingkan dengan kondisi tanpa koordinasi sinyal. Manfaat dilakukannya koordinasi sinyal meliputi sebagai berikut.

1. Meningkatkan kapasitas simpang
2. Mengurangi tabrakan, baik kendaraan dan pejalan kaki. Mendorong perjalanan dalam atas kecepatan untuk memenuhi lampu hijau.
3. Mengurangi berhenti tidak perlu dan akan mengurangi konsumsi bahan bakar, polusi udara dan kebisingan.
4. Mengurangi waktu perjalanan.
5. Mengurangi frustrasi pengemudi.

Menurut Taylor dkk (1996) koordinasi antar simpang bersinyal merupakan salah satu jalan untuk mengurangi tundaan dan antrian. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengkoordinasikan sinyal, yaitu sebagai berikut.

1. Waktu siklus diusahakan sama, hal ini untuk mempermudah menentukan selisih nyala sinyal hijau dari simpang yang satu dengan simpang berikutnya.
2. Sebaiknya pola pengaturan simpang yang dipergunakan adalah *fixed time signal*, karena koordinasi sinyal dilakukan secara terus menerus.

Berdasarkan panjang ruas, Mc Shane dan Roess (1990) menyatakan sebagai berikut ini.

1. Jarak antar simpang yang dikoordinasikan tidak lebih dari 800 meter. Jika lebih dari 800 meter maka koordinasi sinyal tidak efektif lagi.
2. Semua sinyal harus mempunyai panjang waktu siklus (*cycle time*) yang sama.
3. Umumnya digunakan pada jaringan jalan utama (arteri, kolektor) dan dapat digunakan untuk jaringan jalan yang berbentuk *grid*.
4. Terdapat sekelompok kendaraan (*platoon*) sebagai akibat lampu lalu lintas di bagian hulu.

Efek dari aspek berhenti suatu persimpangan jalan yang dikontrol sinyal adalah mengumpulkan kendaraan-kendaraan dalam antrian di belakang garis berhenti. Bila antrian ini dilepas, setelah menerima lampu hijau, maka akan bergerak mula-mula dalam bentuk kumpulan. Bila kumpulan ini mendekati persimpangan lain yang dikontrol dengan sinyal, kedatangannya dibuat bersamaan dengan penerimaan hak jalan lampu hijau, sehingga kendaraan-kendaraan ini tidak mengalami waktu tunda. Pada area-area kota, pada situasi dua persimpangan atau lebih yang letaknya berdekatan, maka lebih baik setiap persimpangan jalan tidak dipertimbangkan secara terpisah, tetapi berkaitan dengan persimpangan-persimpangan di dekatnya dan mengkoordinir penentuan waktu sinyal sehingga keuntungan maksimum didapatkan oleh arus kumpulan kendaraan ini.

Sistem koordinasi sinyal dibagi menjadi tiga macam sebagai berikut ini.

#### 1. Sistem simultan

Sistem lampu dimana lampu sepanjang jalan memberikan indikasi yang sama pada waktu bersamaan.

- a. Biasanya tidak diusulkan, sistem ini mengurangi kapasitas, memberhentikan lalu lintas, kecenderungan meningkatkan kecepatan, dan menghasilkan pengaturan waktu non efisien .
- b. Terbaik dilakukan jika blok pendek, semua simpang memiliki lampu, jalan utama dapat memperoleh hampir semua waktu hijau, dan arus lalu lintas sangat besar.

#### 2. Sistem alternatif

Sistem lampu dimana alternatif atau kelompok lampu memberikan indikasi yang berlawanan pada suatu jalan pada waktu bersamaan.

- a. Sistem alternatif dioperasikan dari satu controller, sistem ini mempunyai aplikasi yang terbatas, hal tersebut disebabkan karena hal berikut.
  - Sistem membutuhkan pembagian waktu putar 50-50 dimana mungkin tidak efisien pada beberapa persimpangan.
  - Sistem tidak dapat diterapkan dengan baik jika jarak blok tidak sama.

- Untuk sistem double–alternatif mengurangi panjang peleton (seperti diperlihatkan oleh *through – band* pada diagram waktu – jarak) sebesar 50% dan untuk triple–alternatif sebesar 67%.

b. Sistem ini cocok untuk:

- jarak yang sama antar lampu
- daerah pusat kota dengan blok-blok bujursangkar, dimana beberapa progression dapat dipenuhi dalam semua arah.

### 3. Sistem progresif

a. Sistem progresif sederhana

Sistem lampu dimana berbagai lampu mengontrol jalan memberikan lampu hijau sesuai dengan jadwal waktu untuk memungkinkan operasi kontinyu dari kelompok kendaraan sepanjang jalan pada kecepatan rencana yang mungkin juga bervariasi pada bagian-bagian yang berlainan pada sistem.

b. Sistem progresif yang fleksibel

Sistem lampu dimana interval pada setiap lampu dapat disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas di persimpangan, dan dimana indikasi hijau pada lamputerpisah dapat dimulai sendiri-sendiri langsung memberikan efisiensi maksimum. Seluruh sistem dapat diatur untuk memenuhi kondisi jam-puncak.

c. Sistem program komputer

Beberapa program untuk pengaturan waktu sepanjang jalan arteri dikembangkan dalam tahun-tahun belakangan ini.

Pola pengaturan waktu yang sering dilakukan untuk koordinasi lampu lalu lintas adalah sebagai berikut.

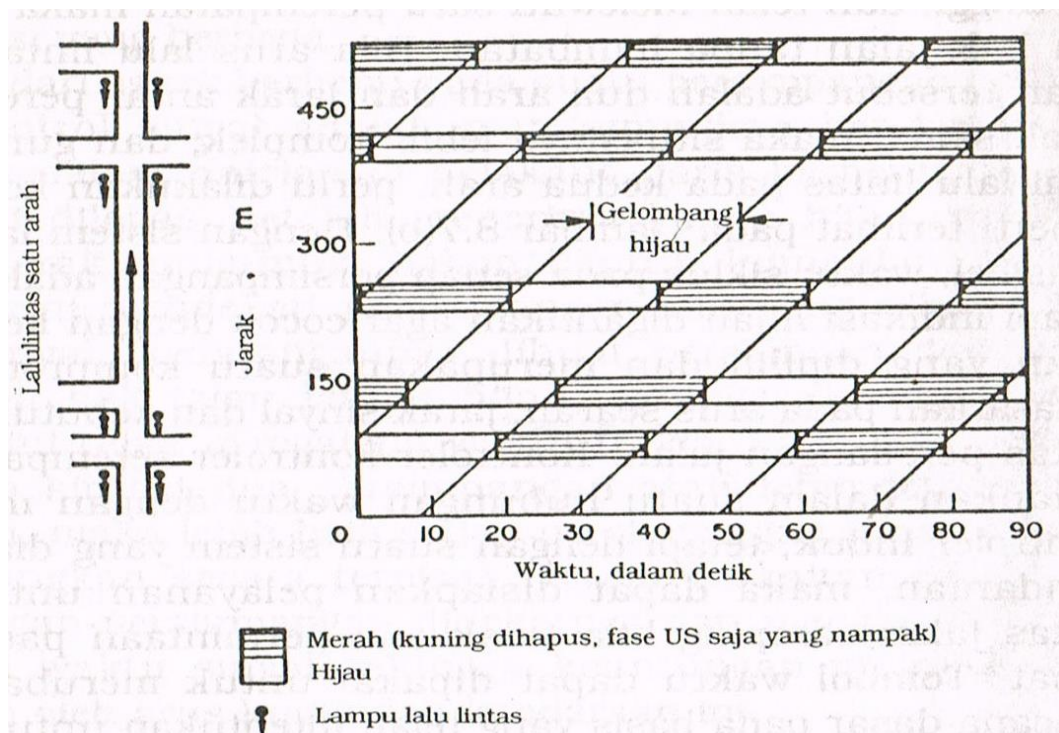
1. Pola pengaturan waktu tetap (*fixed time control*). Pola pengaturan waktu yang diterapkan hanya satu, tidak berubah-ubah. Pola pengaturan tersebut merupakan pola pengaturan yang paling cocok untuk kondisi jalan atau jaringan jalan yang terkoordinasi. Pola-pola pengaturan tersebut ditetapkan berdasarkan data-data dan kondisi dari jalan atau jaringan yang bersangkutan.



2. Pola pengaturan waktu berubah berdasarkan kondisi lalu lintas (*vehicle responsive system*). Pola pengaturan waktu yang diterapkan tidak hanya satu tetapi diubah-ubah sesuai dengan kondisi lalu lintas yang ada. Biasanya ada tiga pola yang diterapkan yang sudah secara umum ditetapkan berdasarkan kondisi lalu lintas sibuk pagi, kondisi lalu lintas sibuk sore, dan kondisi lalu lintas diantara kedua periode waktu tersebut.
3. Pola pengaturan waktu berubah sesuai kondisi lalu lintas (*traffic responsive system*). Pola pengaturan waktu yang ditetapkan dapat berubah-berubah setiap waktu sesuai dengan perkiraan kondisi lalu lintas yang ada pada waktu yang bersangkutan. Pola-pola tersebut ditetapkan berdasarkan perkiraan kedatangan kendaraan yang dilakukan beberapa saat sebelum penerapannya. Sudah tentu metode ini hanya dapat diterapkan dengan peralatan-peralatan yang lengkap.

### **3.2.1 Koordinasi Sinyal Pada Jalan Satu Arah**

Koordinasi sinyal pada jalan satu arah lebih mudah dilakukan dibandingkan dua arah, sehingga penentuan *offset* lebih mudah. Dengan mengamati kecepatan rata-rata saat melintasi masing-masing ruas maka *offset* diperoleh yaitu panjang ruas dibagi dengan kecepatan. Contoh koordinasi sinyal pada jalan satu arah dapat dilihat pada Gambar 3.6. Apabila kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu sehingga kendaraan dalam batas *bandwidth*, maka diharapkan kendaraan tersebut tidak mengalami tundaan akibat sinyal merah.



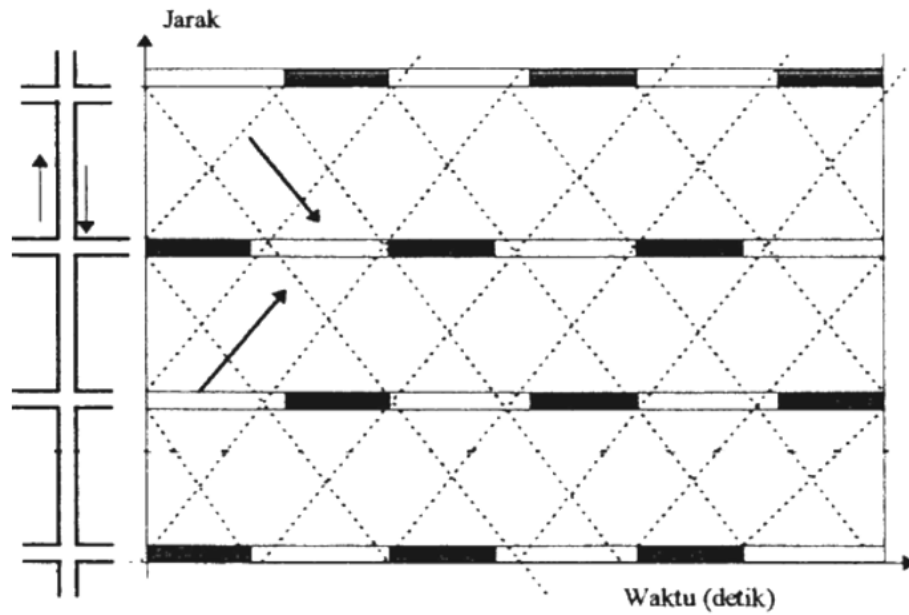
**Gambar 3.6 Prinsip Koordinasi Sinyal pada Jalan Satu Arah**  
(Sumber: Hobbs,1995)

### 3.2.2 Koordinasi Sinyal Pada Jalan Dua Arah

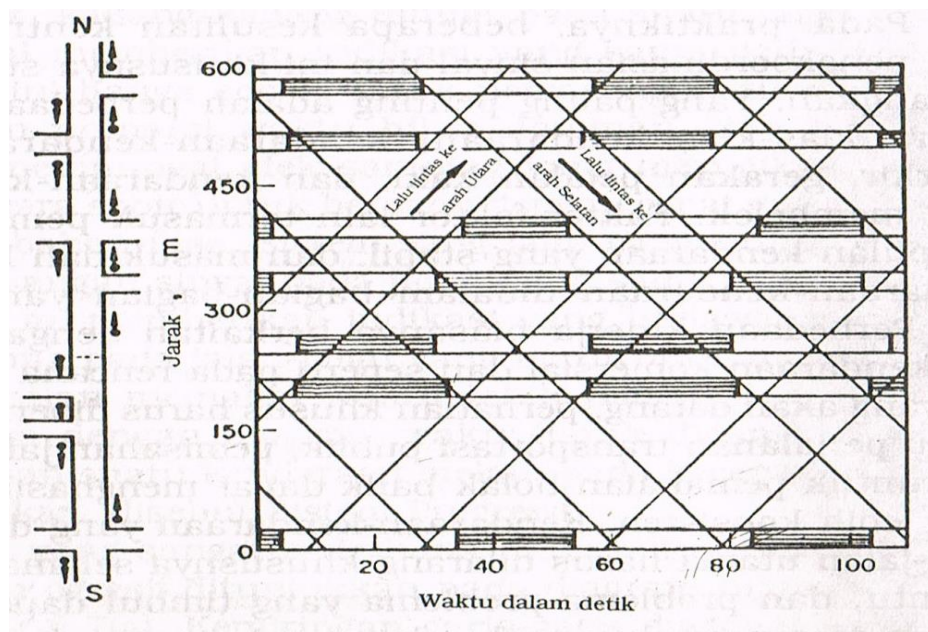
Mengkoordinasikan sinyal lampu lalu lintas pada jalan dua arah memiliki beberapa faktor berikut yang menyebabkan lebih sulit.

1. Jarak antar persimpangan tidak seragam.
2. Volume lalu lintas tidak sama pada kedua arah.
3. Kecepatan kendaraan mungkin berbeda pada kedua arah.
4. Lama lampu hijau untuk keseluruhan lampu yang dikoordinasikan tidak sama.
5. Adanya *disperse pleton*.

Secara berturut-turut Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 menunjukkan koordinasi sinyal untuk panjang ruas yang seragam dan tidak seragam.



**Gambar 3.7 Koordinasi Sinyal Lampu Lalu Lintas pada Jalan Dua Arah dengan Jarak Persimpangan Seragam**  
(Sumber: Hobbs,1995)



**Gambar 3.8 Koordinasi Sinyal Lampu Lalu Lintas pada Jalan Dua Arah dengan Jarak Persimpangan Tidak Seragam**  
(Sumber: Hobbs,1995)

Arus lalu lintas dua arah dan jarak antar simpang tidak sama, maka situasinya lebih kompleks. Dengan sistem laju yang fleksibel, waktu siklus pada

setiap persimpangan adalah tetap tetapi indikasi hijau digantikan agar cocok dengan kecepatan jalan yang dipilih dan merupakan suatu kompromi yang didasarkan pada arus searah, jarak sinyal dan kebutuhan lalu lintas persilangan jalan.

### 3.2.3 Metode Koordinasi Sinyal pada Jalan Dua Arah

#### 1. Metode maksimasi *Green Bandwidth*

Metode maksimasi *Green Bandwidth* adalah satu metode yang umum digunakan dalam mengkoordinasikan sinyal persimpangan pada jalan dua arah. Dalam metode ini *offset* diatur sedemikian sehingga diperoleh suatu jalur hijau (*Green Bandwidth*) untuk jalur *inbound* dan *outbound*. Asumsi yang diambil dalam metode ini adalah sebagai berikut.

- a. Kendaraan bergerak dalam pleton yang bersamaan.
- b. Tidak ada *disperse platoon*.
- c. Volume lalu lintas yang rendah.
- d. Tidak ada atau sedikit kendaraan yang jalan arterial dari jalan samping.

Namun kondisi tersebut jarang dijumpai. Menurut McShane and Roess (1990), walau demikian konsep pendekatan ini sangat sering digunakan karena *Green Bandwidth* mudah dilihat secara visual dan hasil yang baik dapat diperoleh secara manual dengan cara coba-coba.

Perhitungan *offset* untuk koordinasi sinyal dengan metode ini dapat dilakukan dengan cara manual dan dengan program komputer. Perhitungan manual dapat dilakukan secara grafis dengan cara coba-coba untuk mendapatkan bandwidth yang paling besar. Sedangkan perhitungan dengan program komputer dengan cara dibuat algoritmanya. Kelemahan metode ini adalah sebagai berikut.

- a. Tidak memperhitungkan *disperse platoon*.
  - b. Tidak memperhitungkan volume lalu lintas.
  - c. Besar *saturation flow rate* untuk setiap simpang dianggap sama.
- #### 2. Metode minimasi perbedaan *offset* aktual dan *offset* ideal

Metode ini adalah mencari *offset* aktual yang mana perbedaan *offset* aktual dan *offset* ideal memberikan hasil yang minimal. Metode ini hampir sama dengan

metode *Green Bandwith*. Perbedaannya adalah turut diperhitungkannya volume lalu lintas. Pendekatan yang diambil adalah mengasumsikan bahwa kendaraan yang melintasi sejumlah simpang bersinyal bergerak dalam bentuk *pleton*. *Pleton* kendaraan tersebut dalam pergerakannya melintasi ruas mengalami dipersilahkan sehingga bertambah panjang. Prinsip metode koordinasi ini diusulkan untuk mengatur *offset* sinyal sedemikian sehingga *pleton* dapat melintasi sejumlah persimpangan bersinyal dengan tundaan total paling kecil. Menurut McShane (1990), beberapa pengertian *offset* diantaranya sebagai berikut.

- a. Perbedaan waktu munculnya sinyal hijau antara dua sinyal bersebelahan.
- b. Perbedaan waktu munculnya sinyal merah antara dua sinyal bersebelahan.
- c. Perbedaan munculnya tengah-tengah hijau antara sinyal bersebelahan.

#### **3.2.4 Keuntungan dan Kerugian Sistem Terkoordinasi**

Sistem koordinasi simpang dapat menghasilkan kualitas arus lalu lintas atau tingkat pelayanan terbaik yang mungkin untuk kondisi lalu lintas dan pembatasan lain yang ada. Kualitas diukur dengan sejumlah faktor yang berbeda seperti: tundaan, jumlah berhenti, waktu perjalanan, keamanan lalu lintas, kebebasan bergerak, dan pengaruh lingkungan. Keuntungan utama dari lampu terkoordinasi adalah sebagai berikut.

1. Waktu perjalanan lebih pendek untuk kendaraan bermotor.
2. Menurunkan tingkat kebisingan dan polusi udara
3. Mengurangi penggunaan energi.
4. Meningkatkan keamanan lalu lintas.

Adapun kekurangan dari sistem lampu terkoordinasi adalah sebagai berikut.

1. Resiko meningkatkan waktu perjalanan untuk lalu lintas dengan kecepatan lebih rendah dari kendaraan bermotor.
2. Kesulitan untuk memungkinkan pejalan kaki menyebrangi jalan dalam satu kali jalan.
3. Kesulitan untuk melaksanakan kontrol lalu lintas *actuated*.