

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Simpang Bersinyal

##### 3.1.1 Geometrik

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 belok-kiri mendapat sinyal hijau pada fase yang berlainan dengan 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 ( $W_c$ ) 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 pendekat terlindung dan terlawan.

Tabel 3.1. Nilai Ekuivalen Kendaraan Penumpang

Jenis Kendaraan	emp untuk tipe pendekatan:	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda motor (MC)	0,2	0,4

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Perhitungan untuk masing-masing rasio kendaraan yang membelok ke kiri dan ke kanan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{LT} = \frac{Q_{LT}}{Q_{total}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$P_{LT}$  = rasio belok kiri,

$Q_{LT}$  = arus lalu lintas belok kiri (smp/jam),

$Q_{total}$  = arus lalu lintas total (smp/jam).

$$P_{RT} = \frac{Q_{RT}}{Q_{total}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$P_{RT}$  = rasio belok kanan,

$Q_{RT}$  = arus lalu lintas belok kanan (smp/jam),

$Q_{total}$  = arus lalu lintas total (smp/jam).

Rasio kendaraan tidak bermotor dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{MV}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

$P_{UM}$  = rasio tidak bermotor,

$Q_{UM}$  = arus kendaraan tidak bermotor (kendaraan/jam),

$Q_{MV}$  = arus kendaraan bermotor (kendaraan/jam).

### 3.2 Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang

Dalam menganalisa operasional dan perencanaan, diperlukan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antar hijau untuk waktu pengosongan dan waktu hilang. Pada analisa yang dilakukan bagi keperluan perancangan, waktu antar hijau dapat dianggap sebagai nilai normal.

Tabel 3.2. Nilai Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran simpang	Lebar jalan rata-rata	Nilai normal waktu antar hijau
Kecil	6 - 9 m	4 det per fase
Sedang	10 - 14 m	5 det per fase
Besar	$\geq 15$ m	$\geq 6$ det per fase

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

$$CT = \frac{L_{EV} + I_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV \text{ MAX}}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$CT$  = waktu merah semua (detik),

$L_{EV}$ ,  $L_{AV}$  = jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m),

$I_{EV}$  = panjang kendaraan yang berangkat (m),

$V_{EV}$ ,  $V_{AV}$  = kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/detik).

Nilai-nilai yang dipilih untuk  $V_{EV}$ ,  $V_{AV}$ , dan  $I_{EV}$  tergantung dari komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan pada lokasi. Nilai-nilai sementara berikut dapat dipilih dengan ketiadaan aturan di Indonesia akan hal ini.

1. Kecepatan kendaraan yang datang  
 $V_{av} = 10$  m/det (kendaraan bermotor).
2. Kecepatan kendaraan yang berangkat ( $V_{EV}$ )
  - a. 10 m/det (kendaraan bermotor),
  - b. 3 m/det (kendaraan tak bermotor),
  - c. 1,2 m/det (pejalan kaki).
3. Panjang kendaraan yang berangkat ( $I_{EV}$ )
  - a. 5 m (LV atau HV),
  - b. 2 m (MC atau UM).

Apabila periode merah semua untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, waktu hilang untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau:

$$LTI = \sum (\text{merah semua} + \text{kuning})_i = \sum IG_i \quad (3.5)$$

Keterangan:

LTI = waktu hilang total per siklus (detik),

IG = waktu antar hijau (detik).

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia biasanya adalah 3,0 detik.

### 3.3 Tipe Pendekat

Tipe pendekat ditentukan dari jalan yang diteliti. Tipe pendekat dibedakan menjadi dua, yaitu Tipe pendekat P (terlindung) dan tipe pendekat O (terlawan). Pada tipe pendekat terlindung P arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan. Gerakan bisa berasal dari jalan satu dan dua arah. Pada jalan dua arah gerakan belok kanan terbatas. Tipe pendekat terlawan O arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan. Gerakan hanya terjadi pada jalan dua arah dan gerakan belok kanan tidak terbatas.

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola-pola pendekatan		
Terlindung P	Arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah	Jalan satu arah	Simpang T
		Jalan dua arah, gerakan belok kanan terbatas		
Terlawan O	Arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, arus berangkat dari arah-arah berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak terbatas.		

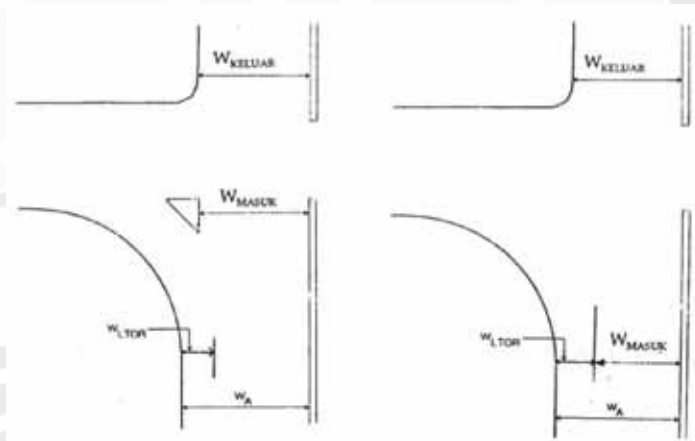
Gambar 3.1. Penentuan Tipe Pendekat

### 3.4 Lebar Pendekat Efektif

Lebar efektif ( $W_e$ ) dari setiap pendekat berdasarkan informasi tentang lebar pendekat ( $W_A$ ), lebar masuk ( $W_{masuk}$ ) dan lebar keluar ( $W_{keluar}$ ).

Untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR) lebar keluar harus diperiksa (hanya untuk pendekat tipe P). Jika  $W_{keluar} < W_e \times (1 - P_{RT} - P_{LTOR})$ ,  $W_e$  sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan  $W_{keluar}$ . Analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja ( $Q = Q_{ST}$ ).

Untuk penentuan lebar efektif pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR) dapat diperoleh dengan 2 cara, yaitu:



Gambar 3.2. Pendekat Dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

1. Jika  $W_{LTOR} \geq 2m$ , dengan anggapan kendaraan LTOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah.

Langkah 1 :

$Q_{LTOR}$  dikeluarkan dari hitungan, sehingga:

$$Q = Q_{ST} + Q_{TR} \quad (3.6)$$

Dengan lebar pendekat efektif:

$$W_e = \text{Min} \frac{W_A - W_{L\text{TOR}}}{W_{\text{MASUK}}} \quad (3.7)$$

Keterangan:

Q = arus lalu lintas (smp/jam),

Q<sub>ST</sub> = arus lalu lintas lurus (smp/jam),

Q<sub>RT</sub> = arus lalu lintas belok kanan (smp/jam),

Q<sub>L<sub>TOR</sub></sub> = arus lalu lintas belok kiri langsung (smp/jam),

W<sub>e</sub> = lebar efektif (m),

W<sub>A</sub> = lebar pendekat (m),

W<sub>L<sub>TOR</sub></sub> = lebar belok kiri langsung (m).

Langkah 2 :

Periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)

Jika  $W_{\text{keluar}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}})$ , W<sub>e</sub> sebaiknya diberi nilai baru sama dengan

W<sub>keluar</sub>, dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan

hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja (Q=Q<sub>ST</sub>).

2.  $W_{L\text{TOR}} < 2\text{m}$ , dengan anggapan kendaraan L<sub>TOR</sub> tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal merah.

Langkah 1 :

Sertakan Q<sub>L<sub>TOR</sub></sub> pada hitungan

$$W_e = \text{Min} \frac{W_A}{W_A \times (1 - P_{L\text{TOR}}) - W_{L\text{TOR}}} \quad (3.8)$$

Keterangan:

W<sub>e</sub> = lebar efektif (m),

$W_A$  = lebar pendekat (m),

$W_{\text{masuk}}$  = lebar masuk (m),

$W_{\text{L TOR}}$  = lebar belok kiri langsung (m),

$P_{\text{L TOR}}$  = rasio kendaraan belok kiri langsung.

Langkah 2 :

Periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)

Jika  $W_{\text{keluar}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}} - P_{\text{L TOR}})$ ,  $W_e$  sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan  $W_{\text{keluar}}$ , dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja ( $Q = Q_{\text{ST}}$ ).

### **3.5 Arus Jenuh**

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 yang telah ditetapkan sebelumnya.

#### **3.5.1. Arus jenuh dasar**

Untuk menghitung arus jenuh dasar menggunakan rumus:

$$S_0 = 600 \times W_e \quad (3.9)$$

Keterangan:

$S_0$  = arus jenuh dasar (smp/jam hijau),

$W_e$  = lebar efektif (m).

#### **3.5.2. Arus jenuh yang disesuaikan**

Nilai arus jenuh yang disesuaikan dihitung sebagai berikut:

$$S = S_0 \times F_{\text{CS}} \times F_{\text{SF}} \times F_{\text{G}} \times F_{\text{P}} \times F_{\text{RT}} \times F_{\text{LT}} \quad (3.10)$$



Keterangan:

- $S$  = arus jenuh (smp/jam hijau),  
 $S_o$  = arus jenuh dasar (smp/jam hijau),  
 $F_{CS}$  = faktor penyesuaian ukuran kota,  
 $F_{SF}$  = faktor penyesuaian hambatan samping,  
 $F_G$  = faktor penyesuaian kelandaian,  
 $F_P$  = faktor penyesuaian parkir,  
 $F_{RT}$  = faktor penyesuaian belok kanan,  
 $F_{LT}$  = faktor penyesuaian belok kiri.

### **3.6 Faktor Penyesuaian**

Pada perhitungan arus jenuh ada beberapa faktor penyesuaian. Untuk semua tipe pendekat (tipe pendekat P dan tipe pendekat O) faktor penyesuaiannya meliputi ukuran kota, hambatan samping, kelandaian dan parkir. Sedangkan faktor penyesuaian belok kanan ( $F_{RT}$ ) dan faktor penyesuaian belok kiri ( $F_{LT}$ ) hanya untuk tipe pendekat P.

#### **3.6.1. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota**

Tabel 3.3. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Penduduk Kota (juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{CS}$ )
> 3,0	1,05
1,0 - 3,0	1,00
0,5 - 1,0	0,94
0,1 - 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber: Anonim,1997, MKJI

Berdasarkan Direktorat Jendral Bina Marga dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) klasifikasi kelas ukuran kota adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4. Kelas Ukuran Kota (CS)

Penduduk Kota (juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{CS}$ )
> 3,0	Sangat Besar
1,0 - 3,0	Besar
0,5 - 1,0	Sedang
0,1 - 0,5	Kecil
< 0,1	Sangat Kecil

Sumber: Anonim,1997, MKJI

### 3.6.2. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Tabel 3.5. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping ( $F_{SF}$ )

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	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi / Sedang / Rendah	Terlindung	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlawan	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: Anonim,1997, MKJI

Tingkat hambatan samping dikelompokkan menjadi lima kelas yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

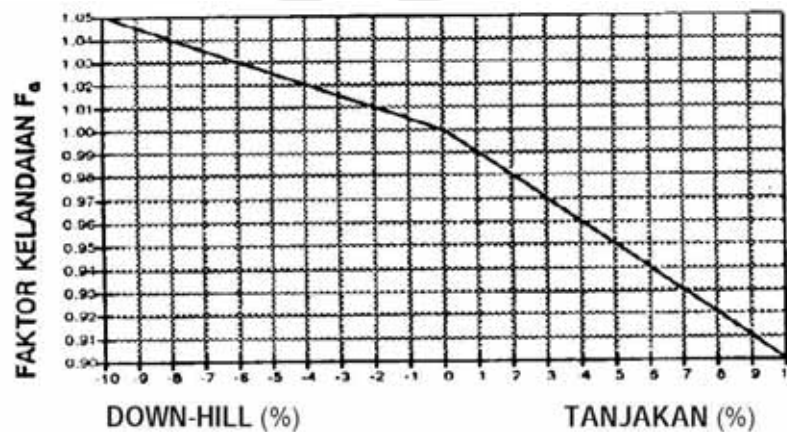
Tabel 3.6. Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot per 200 meter per jam (2 sisi)	Kondisi Khusus
Sangat Rendah	VL	< 100	Daerah pemukiman; jalan samping tersedia
Rendah	L	100 – 299	Daerah pemukiman; beberapa angkutan umum dan sebagainya.
Sedang	M	300 – 499	Daerah industri; beberapa toko di sisi jalan.
Tinggi	H	500 – 899	Daerah komersial; aktivitas di sisi jalan tinggi
Sangat Tinggi	VH	> 900	Daerah komersial; aktivitas pasar di sisi jalan

Sumber: Anonim,1997, MKJI

### 3.6.3. Faktor penyesuaian kelandaian

Faktor penyesuaian kelandaian ( $F_G$ ) didapat dari grafik. Untuk kelandaian 0% faktor penyesuaian kelandaian ( $F_G$ ) adalah 1.



Gambar 3.3. Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian ( $F_G$ )

### 3.6.4. Faktor Penyesuaian Parkir

Faktor penyesuaian parkir diperoleh dari grafik sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. Faktor penyesuaian parkir ( $F_P$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$F_P = \frac{\frac{L_P}{3 - W_A^{-2} \times \frac{L_P}{3-g}}}{W_A} \quad (3.11)$$

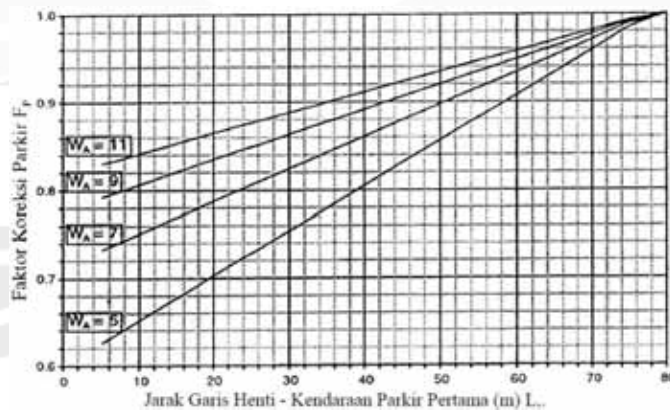
Keterangan:

$F_P$  = faktor penyesuaian parkir,

$L_P$  = jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama (m),

$W_A$  = lebar pendekat (m),

$G$  = waktu hijau *approach* (detik).



Gambar 3.4. Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek ( $F_P$ )

### 3.6.5. Faktor Penyesuaian Belok Kanan ( $F_{RT}$ )

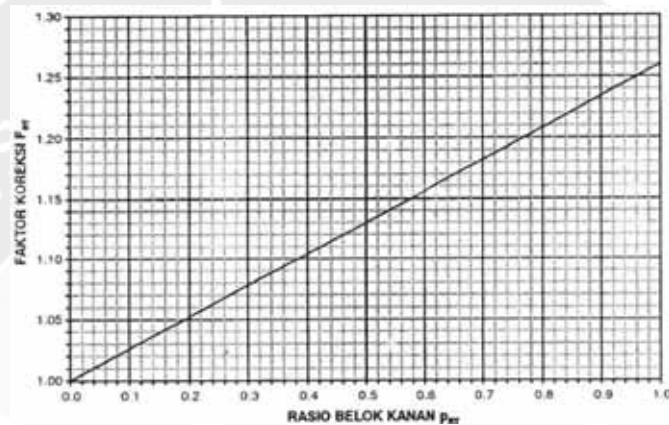
Faktor penyesuaian belok kanan ( $F_{RT}$ ) hanya berlaku untuk pendekat tipe P, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kanan juga bisa didapat dengan menggunakan rumus:

$$F_{RT} = 1,0 \times P_{RT} \times 0,26 \quad (3.12)$$

Keterangan:

$F_{RT}$  = faktor penyesuaian belok kanan,

$P_{RT}$  = rasio belok kanan.



Gambar 3.5. Faktor Penyesuaian untuk Belok Kanan ( $F_{RT}$ )

### 3.6.6. Faktor Penyesuaian Belok Kiri ( $F_{LT}$ )

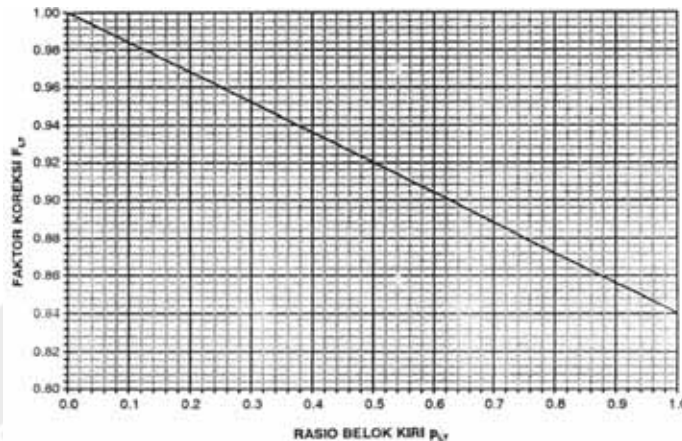
Faktor penyesuaian belok kiri hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kiri dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} \times 0,16 \quad (3.13)$$

Keterangan:

$F_{LT}$  = faktor penyesuaian belok kiri,

$P_{LT}$  = rasio belok kiri.



Gambar 3.6. Faktor Penyesuaian untuk Belok Kiri ( $F_{LT}$ )

### 3.7 Rasio Arus dan Arus Jenuh

Perhitungan perbandingan arus dengan arus jenuh dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$FR = \frac{Q}{S} \quad (3.14)$$

Keterangan:

FR = rasio arus,

Q = arus lalu lintas (smp/jam),

S = arus jenuh (smp/jam hijau).

Untuk menghitung arus simpang didapat dengan menggunakan rumus:

$$IFR = \sum FR_{CRIT} \quad (3.15)$$

Keterangan:

IFR = rasio arus simpang,

$FR_{crit}$  = rasio arus kritis.

Perhitungan rasio fase adalah rasio antara rasio arus kritis dengan rasio arus simpang.



$$PR = \frac{FR_{CRIT}}{IFR} \quad (3.16)$$

Keterangan:

PR = rasio fase,

$FR_{crit}$  = rasio arus kritis,

IFR = rasio arus simpang.

### 3.8 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

#### 3.8.1. Waktu siklus sebelum penyesuaian

Waktu siklus sebelum penyesuaian dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C_{ua} = 1,5 \times LTI + 5 (1 - IFR) \quad (3.17)$$

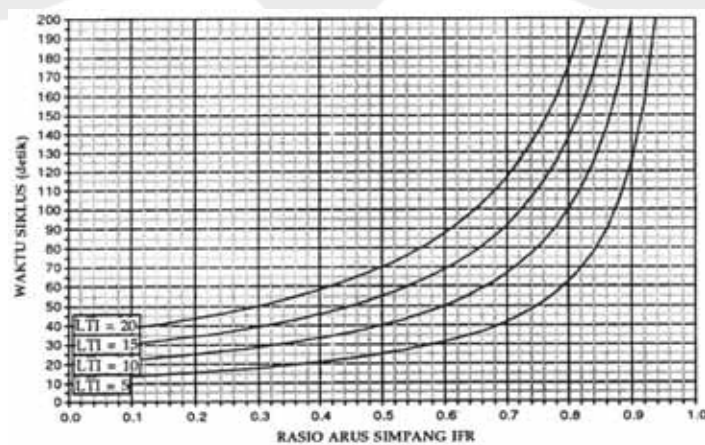
Keterangan:

$C_{ua}$  = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (detik)

LTI = waktu hilang total per siklus (detik),

IFR = rasio arus simpang.

Waktu siklus sebelum penyesuaian juga dapat diperoleh dari grafik dibawah ini:



Gambar 3.7. Rasio Arus Simpang IFR

### 3.8.2. Waktu Hijau

Waktu Hijau untuk masing-masing fase dapat dihitung dengan rumus:

$$g_i = c_{ua} - LTI \times PR_i \quad (3.18)$$

Keterangan:

$g_i$  = Tampilan waktu hijau pada fase i (detik),

$c_{ua}$  = Waktu siklus sebelum penyesuaian (detik),

$LTI$  = Waktu hilang total per siklus (detik),

$PR_i$  = Rasio fase  $FR_{crit} / FR_{crit}$ .

Waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindari, karena dapat mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan.

### 3.8.3. Waktu siklus yang penyesuaian

Waktu siklus yang disesuaikan dihitung berdasarkan pada waktu hijau yang diperoleh dan waktu hilang. Perhitungan waktu siklus menggunakan rumus:

$$C = \Sigma g + LTI \quad (3.19)$$

Keterangan:

$C$  = waktu hijau yang disesuaikan (detik),

$g$  = waktu hijau (detik),

$LTI$  = waktu hilang total per siklus (detik).

## 3.9 Kapasitas

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times g \quad (3.20)$$

$$c = \frac{(1,5 \times LTI \times 5)}{(1 - FR_{CRIT})} \quad (3.21)$$



Keterangan:

- $C$  = Kapasitas (smp/jam),  
 $S$  = Arus jenuh (smp/jam hijau),  
 $g$  = Waktu hijau (dt),  
 $c$  = Waktu siklus sinyal (dt),  
 $\Sigma FR_{CRIT}$  = rasio arus simpang.

### 3.10 Derajat Kejenuhan

Menurut MKJI 1997 derajat kejenuhan (DS) masing-masing pendekatan dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{Qxc}{Sxg} \quad (3.22)$$

Keterangan:

- $DS$  = Derajat kejenuhan,  
 $Q$  = Arus lalu lintas (smp/detik),  
 $C$  = Kapasitas (smp/jam),  
 $c$  = Waktu siklus yang ditentukan (detik),  
 $S$  = Arus jenuh (smp/jam),  
 $g$  = Waktu Hijau (detik).

### 3.11 Panjang Antrian

Dari hasil perhitungan derajat kejenuhan dapat digunakan untuk menghitung jumlah antrian yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.

Untuk  $DS > 0,5$ :

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left( DS - 1 + \frac{DS - 1}{DS - 1 + \frac{8 \times DS - 0,5}{c}} \right) \quad (3.23)$$

$$C = S \times GR \quad (3.24)$$

Untuk  $DS < 0,5$ :  $NO_1 = 0$

Keterangan:

$NQ_1$  = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya,

$DS$  = derajat kejenuhan,

$C$  = kapasitas (smp/jam),

$GR$  = rasio hijau.

Perhitungan jumlah antrian smp yang datang selama fase merah ( $NO_2$ ) adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (3.25)$$

$$GR = \frac{g}{c} \quad (3.26)$$

Keterangan:

$NQ_2$  = Jumlah smp yang datang selama fase merah,

$DS$  = Derajat kejenuhan,

$GR$  = Rasio hijau,

$c$  = Waktu siklus (detik),

$Q$  = Arus lalu-lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam).

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 ( $NQ_2$ ).

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (3.27)$$

Keterangan:

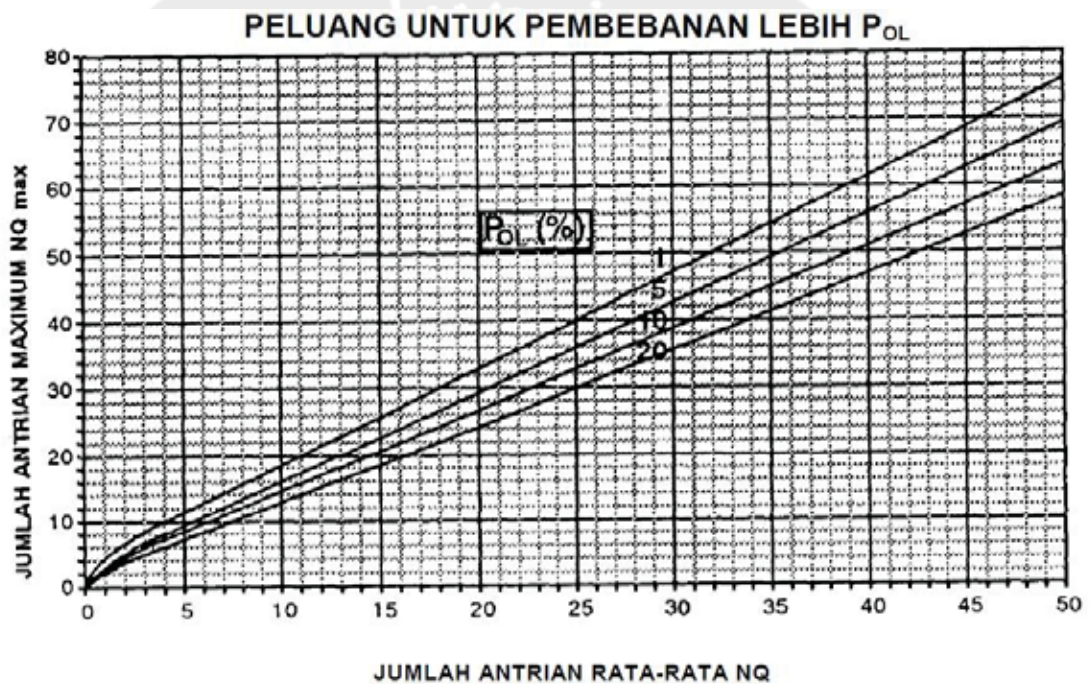
$NQ$  = Jumlah panjang antrian total,

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

$NQ_2$  = Jumlah smp yang datang selama fase merah.

Panjang antrian (QL) diperoleh dari perkalian (NQ) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp ( $20 \text{ m}^2$ ) dan pembagian dengan lebar masuk.

$$QL = NQ_{max} \times \frac{20}{W_{masuk}} \quad (3.28)$$



Gambar 3.8. Perhitungan Jumlah Antrian ( $NQ_{max}$ ) dalam smp

### 3.12 Angka Henti

Angka henti (NS), yaitu jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang, dihitung sebagai

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \quad (3.29)$$

Keterangan:

NS = angka henti,

NQ = jumlah panjang antrian total,

$Q$  = arus lalu lintas (smp/detik),

$c$  = waktu siklus yang ditentukan (detik).

### 3.13 Tundaan

Tundaan pada suatu simpang dapat terjadi karena dua hal:

1. Tundaan lalu lintas (DT) karena interaksi lalu lintas dengan gerakan lainnya pada suatu simpang.

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{1-GR \times DS} + \frac{NQ_1 \times 3600}{c} \quad (3.30)$$

Keterangan:

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

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

$DS$  = Derajat kejenuhan,

$C$  = Kapasitas (smp/jam),

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

2. Tundaan geometrik (DG) karena perlambatan dan percepatan saat membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti karena lampu merah.

$$DG = (1 - p_{sv}) \times P_T \times 6 + p_{sv} \times 4 \quad (3.31)$$

Keterangan:

$DG$  = Tundaan geometri rata-rata (det/smp),

$P_{sv}$  = Rasio kendaraan terhenti,

$P_T$  = Rasio kendaraan membelok.

Nilai normal 6 detik untuk kendaraan belok tidak berhenti dan 4 detik untuk yang berhenti didasarkan anggapan-anggapan:

1. Kecepatan = 40 km/jam;
2. Kecepatan belok tidak berhenti = 10 km/jam;
3. Percepatan dan perlambatan =  $1,5 \text{ m/dt}^2$ ;
4. Kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = DT + DG \quad (3.32)$$

Keterangan:

- $D$  = tundaan rata-rata (det/smp),  
 $DT$  = tundaan lalu lintas (det/smp),  
 $DG$  = tundaan geometrik (det/smp).

Tundaan total adalah perkalian antara tundaan rata-rata dengan arus lalu lintas.

$$D_{\text{total}} = D \times Q \quad (3.33)$$

Keterangan:

- $D_{\text{total}}$  = tundaan total,  
 $D$  = tundaan rata-rata (detik/smp),  
 $Q$  = arus lalu lintas (smp/detik).