

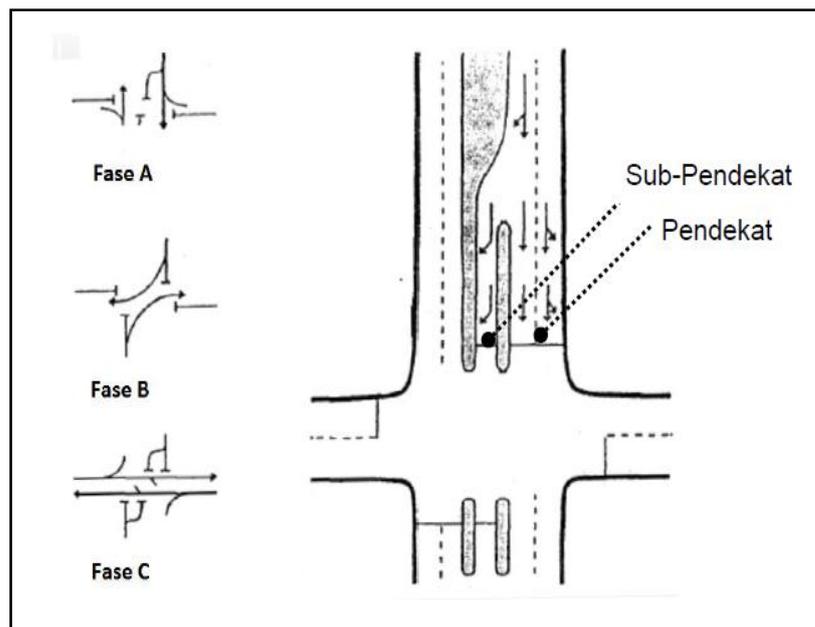
### BAB III

## LANDASAN TEORI

### A. Tipikal Simpang

Simpang merupakan pertemuan dua atau lebih jalan yang sebidang. Pertemuan bisa berupa simpang-3 maupun simpang-4 dan dapat berupa pertemuan antara tipe jalan 2/2TT, tipe jalan 4/2T, tipe jalan 6/2T, tipe jalan 8/2T ataupun kombinasi dari beberapa tipe jalan tersebut (PKJI, 2014).

Analisis kapasitas pada tiap pendekat dilakukan terpisah. Satu lengan simpang dapat terdiri dari satu pendekat atau lebih. Hal tersebut dapat terjadi jika gerakan belok kanan dan/atau belok kiri menerima isyarat hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus atau jika dipisahkan dengan pulau-pulau jalan. Pada tiap pendekat atau sub pendekat, lebar efektif ( $L_E$ ) ditetapkan dengan menimbang lebar pendekat pada bagian masuk dan keluar simpang.



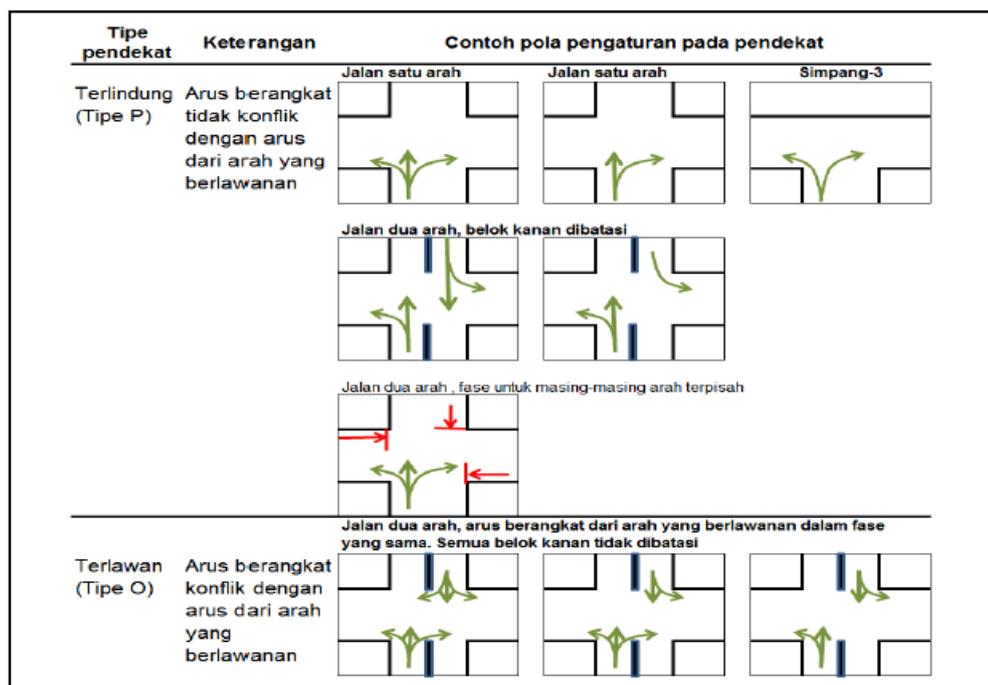
Gambar 3.1 Pendekat dan sub-pendekat  
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

## B. Penetapan Waktu Isyarat

Pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014), dalam menentukan lama waktu pada Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) perlu dilakukan penetapan tipe pendekat, lebar efektif ( $L_E$ ), menentukan arus jenuh dasar, waktu siklus, rasio arus dan faktor penyesuaian sesuai dengan simpang yang akan dilakukan analisis.

### 1. Tipe Pendekat

Pada pendekat dengan arus lalu lintas yang berangkat pada fase berbeda, analisis kapasitas untuk tiap fase pendekat dilakukan secara terpisah. Pada tipe pendekat yang berbeda, untuk suatu pendekat yang memiliki tipe pendekat baik terlindung ataupun terlawan, maka proses analisis yang dilakukan harus dipisah berdasar ketentuan masing-masing. Tipe pendekat terlindung (P) ataupun terlawan (O) pada suatu fase dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penentuan tipe pendekat  
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

### 2. Menentukan Lebar Pendekat Efektif, $L_E$

Menentukan lebar pendekat efektif  $L_E$  berdasar pada lebar ruas pendekat ( $L$ ), lebar masuk ( $L_M$ ), dan lebar keluar ( $L_K$ ). Apabila  $B_{KUT}$  diizinkan tanpa

mengganggu arus lurus dan arus belok kanan pada saat isyarat merah, maka  $L_E$  dipilih dari nilai paling kecil antara  $L_K$  dan  $(L_M - L_{BKijT})$

a. Penentuan  $L_M$

Periksa  $L_K$ , jika  $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$ , tetapkan  $L_E = L_K$ , dan analisis penentuan waktu isyarat pada pendekatan ini hanya berdasarkan pada arus lurus saja. Jika pendekatan dilengkapi pulau lalu lintas, maka nilai  $L_M$  dapat dihitung dengan persamaan 3.1.

$$L_M = L - L_{BKijT} \dots\dots\dots (3.1)$$

b.  $L_{BKijT} \geq 2$  m, maka arus kendaraan  $B_{KijT}$  dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah.

1) Keluarkan arus  $B_{KijT}$  ( $q_{BKijT}$ ) dari hitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah  $q = q_{LRS} + q_{BKa}$ . Penentuan lebar efektif sebagai berikut :

$$L_E = M_{in} \left\{ \frac{L - L_{BKijT}}{L_M} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

2) Periksa  $L_K$  (hanya untuk pendekatan tipe P)

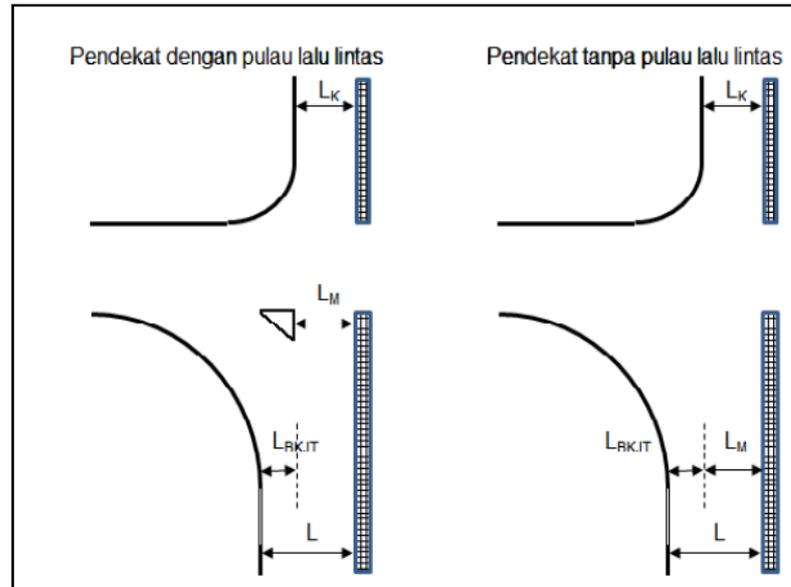
Jika  $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$ , maka  $L_E = L_K$ , dan analisis penentuan waktu isyarat pada pendekatan ini dilakukan hanya untuk arus lalu lintas lurus saja ( $q_{LRS}$ )

c.  $L_{BKijT} < 2$  m, maka kendaraan  $B_{KijT}$  dianggap tidak dapat mendahului antrian kendaraan lain selama isyarat merah. Penentuan lebar efektif sebagai berikut :

1) Masukkan  $q_{BKijT}$  pada hitungan selanjutnya.

$$L_E = M_{in} \left\{ \begin{array}{l} L \\ L_M + L_{BKijT} \\ L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT} \end{array} \right. \dots\dots\dots (3.3)$$

2) Periksa  $L_K$  (hanya untuk pendekatan tipe P), jika  $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$ , maka  $L_E = L_K$ , dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekatan ini dilakukan hanya untuk arus lurus saja.



Gambar 3.3 Lebar pendekat dengan dan tanpa pulau lalu lintas  
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

### 3. Kondisi Arus Lalu Lintas

Menurut PKJI (2014), data lalu lintas dibagi ke dalam jenis kendaraan yaitu sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), kendaraan sedang (KS), kendaraan berat (KB), kendaraan tak bermotor (KTB).

Arus lalu lintas ( $Q$ ) dinyatakan dalam skr/jam pada satu atau lebih periode.  $Q$  dikonversikan dari satuan kendaraan per jam menjadi skr per jam dengan menggunakan nilai ekuivalen kendaraan ringan ( $ekr$ ) untuk tiap pendekat terlindung dan terlawan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ekuivalen Kendaraan Ringan

Jenis Kendaraan	ekr untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
KR	1,00	1,00
KB	1,30	1,30
SM	0,20	0,40

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

#### 4. Arus Jenuh (S)

Arus jenuh (skr/jam) merupakan hasil kali antara arus jenuh dasar ( $S_0$ ) dengan faktor-faktor penyesuaian untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. Dimana  $S_0$  merupakan S pada keadaan lalu lintas dan geometrik ideal, maka faktor-faktor penyesuaian untuk  $S_0$  adalah satu. S dapat dirumuskan menggunakan persamaan 3.4 sebagai berikut :

$$S = S_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKk} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

$F_{UK}$  = faktor penyesuaian ukuran kota

$F_{HS}$  = faktor penyesuaian lingkungan jalan

$F_G$  = faktor penyesuaian kelandaian

$F_P$  = faktor penyesuaian parkir

$F_{BKk}$  = faktor penyesuaian belok kanan

$F_{BKl}$  = faktor penyesuaian belok kiri

#### 5. Arus Jenuh Dasar ( $S_0$ )

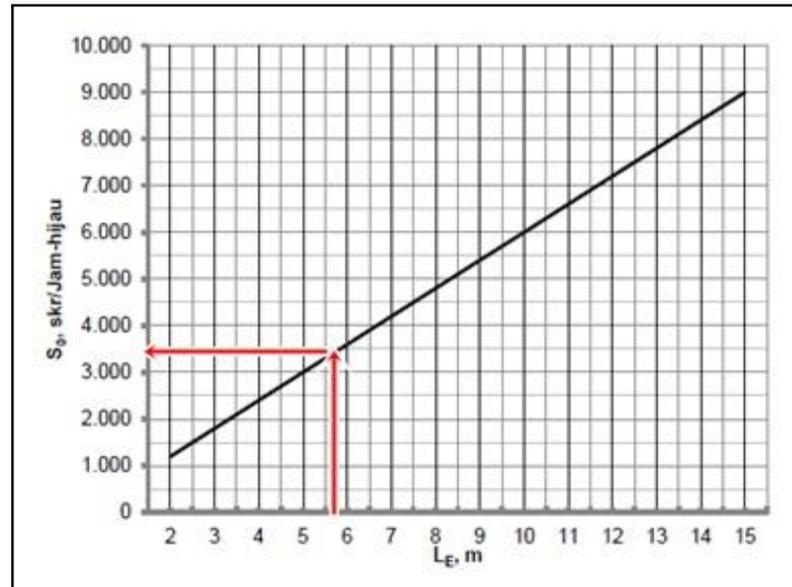
Arus jenuh dasar terbagi menjadi dua tipe yaitu tipe terlindung (P) dan tipe tak terlindung atau terlawan (O). Untuk pendekatan terlindung (P), nilai  $S_0$  ditentukan dengan persamaan sebagai fungsi dari lebar efektif pendekatan. Selain itu, penentuan nilai  $S_0$  untuk tipe pendekatan terlindung dapat ditentukan menggunakan diagram. Persamaan yang digunakan adalah

$$S_0 = 600 \times L_E \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan :

$S_0$  = arus jenuh dasar (skr/jam)

$L_E$  = lebar efektif pendekatan (m)



Gambar 3.4 Arus jenuh dasar untuk tipe P  
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

#### 6. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{UK}$ )

Pengkategorian ukuran kota dibedakan menjadi lima berdasarkan kriteria populasi penduduk, besar nilai  $F_{UK}$  dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Jumlah Penduduk Kota (Juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{UK}$ )
> 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 : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

#### 7. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping ( $F_{HS}$ )

Sebagai fungsi dari jenis lingkungan, hambatan samping, serta rasio kendaraan tidak bermotor. Jika hambatan samping tidak diketahui, maka hambatan samping dianggap tinggi agar kapasitas tidak terlalu besar. Faktor penyesuaian dapat dilihat pada Tabel 3.3.

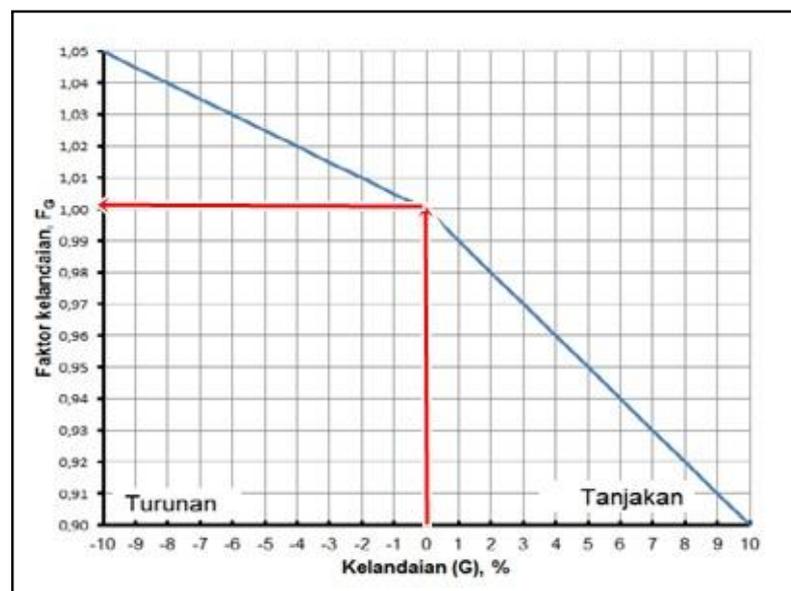
Tabel 3.3 Faktor penyesuaian hambatan samping,  $F_{HS}$ 

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	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 (KIM)	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	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

#### 8. Faktor Penyesuaian Kelandaian ( $F_G$ )

Faktor penyesuaian kelandaian merupakan fungsi dari kelandaian lengan pada simpang dan ditentukan berdasarkan Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Faktor penyesuaian kelandaian,  $F_G$   
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

### 9. Faktor Penyesuaian Parkir ( $F_P$ )

Faktor penyesuaian parker ( $F_P$ ) merupakan fungsi dari garis henti hingga ke kendaraan yang diparkir pertama pada lajur pendekat. Faktor ini dapat dihitung menggunakan persamaan. Atau pada Gambar 3.6 seperti berikut :

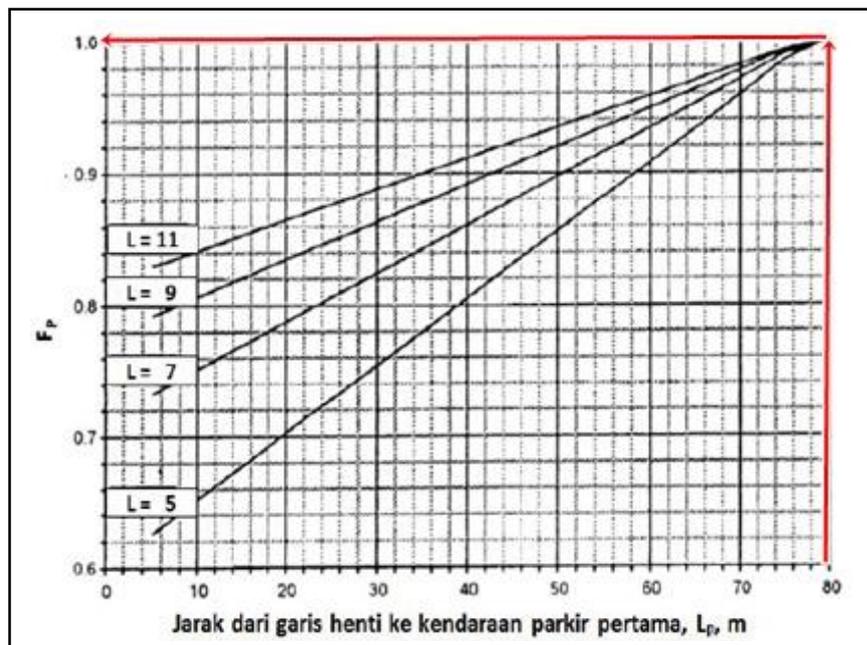
$$F_P = \frac{\left[ \frac{L_P}{3} - \frac{(L-2) \times \left( \frac{L_P}{3} - g \right)}{L} \right]}{H} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan :

$L_P$  = jarak antara garis henti ke kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri (m)

$L$  = lebar pendekat (m)

$H$  = waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normal 26 detik)



Gambar 3.6 Faktor penyesuaian pengaruh parkir,  $F_P$   
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

### 10. Faktor Penyesuaian Belok Kanan ( $F_{BKa}$ )

Faktor penyesuaian belok kanan ( $F_{BKa}$ ) merupakan fungsi dari rasio kendaraan belok kanan  $R_{BKa}$ . Hitungan ini berlaku hanya untuk pendekat tipe P, tanpa median, tipe jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk ( $L_M$ ).  $F_{BKa}$  dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7.

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan :

RBKa = rasio kendaraan belok kanan

#### 11. Faktor Penyesuaian Belok Kiri ( $F_{BK_i}$ )

Faktor penyesuaian belok kiri ( $F_{BK_i}$ ) merupakan fungsi dari rasio belok kiri  $R_{BK_i}$ . Hitungan ini berlaku untuk pendekat tipe P tanpa  $B_{KijT}$ , lebar efektif ditentukan dengan lebar masuk dan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8.

$$F_{BK_i} = 1,0 - R_{BK_i} \times 0,16 \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

$R_{BK_i}$  = rasio kendaraan belok kiri

#### 12. Rasio Arus ( $R_{Q/S}$ )

Dalam analisis rasio arus,  $R_{Q/S}$  perlu memperhatikan bahwa :

- a. Jika arus  $B_{KijT}$  (belok kiri jalan terus) maka hanya arus lurus dan belok ke kanan saja yang dihitung sebagai nilai Q.
- b. Jika  $L_E=L_K$ , maka hanya arus lurus saja yang masuk ke dalam nilai Q.
- c. Jika pendekat memiliki dua fase yaitu fase untuk arus terlawan (O) dan fase untuk arus terlindung (P), maka arus gabungan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R_{Q/S} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (3.9)$$

#### 13. Rasio Fase ( $R_F$ )

Rasio fase yaitu rasio antara arus lalu lintas terhadap rasio arus lalu lintas simpang. Nilai  $R_F$  dihitung masing-masing fase sebagai rasio antara  $R_{Q/S \text{ Kritis}}$  dan  $R_{AS}$ .

$$R_F = \frac{R_{Q/S \text{ kritis}}}{R_{AS}} \dots\dots\dots (3.10)$$

Rasio arus simpang ( $R_{AS}$ ) dihitung sebagai jumlah dari nilai  $R_{Q/S \text{ Kritis}}$  dimana  $R_{Q/S \text{ Kritis}}$  diambil dari rasio arus tertinggi dari masing-masing fase.

$$R_{AS} = \sum_i (R_{Q/S \text{ kritis}})_i \dots\dots\dots (3.11)$$

14. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

a. Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian ( $c_{bs}$ )

Langkah awal ialah menentukan waktu siklus untuk system kendali waktu tetap yang dapat dilakukan menggunakan rumus Webster (1966). Nilai  $c$  dihitung menggunakan persamaan 3.12.

$$c = \frac{(1,5 \times H_H + 5)}{1 - \sum R_{Q/S \text{ kritis}}} \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan :

- $c$  = waktu siklus (detik)
- $H_H$  = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik)
- $R_{Q/S}$  = rasio arus yaitu arus dibagi arus jenuh ( $Q/S$ )
- $R_{Q/S \text{ kritis}}$  = nilai  $R_{Q/S}$  yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama
- $\sum R_{Q/S \text{ kritis}}$  = rasio arus simpang

Waktu siklus yang didapatkan diharapkan sesuai dengan batas yang disarankan pada PKJI 2014, sebagai pertimbangan yang dijelaskan pada Tabel 3.4 berikut ini :

Tabel 3.4 Waktu siklus yang layak

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus Yang Layak (detik)
Dua-fase	40 - 80
Tiga-fase	50 - 100
Empat-fase	80 - 130

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

b. Waktu Hijau ( $H$ )

Waktu hijau merupakan waktu isyarat lampu hijau sebagai izin berjalan bagi kendaraan pada lengan simpang yang ditinjau. Waktu hijau dapat dihitung menggunakan persamaan 3.13 berikut :

$$H_i = (c - H_H) \times \frac{R_{Q/S \text{ kritis}}}{\sum_i (R_{Q/S \text{ kritis}})_i} \dots\dots\dots (3.13)$$

Keterangan :

$H_i$  = waktu hijau pada fase  $i$  (detik)

$i$  = indeks untuk fase ke  $i$

Waktu siklus yang lebih rendah dari nilai di atas, cenderung menyebabkan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyebrang jalan. Waktu siklus yang lebih dari 130 detik harus dihindarkan, kecuali pada kasus sangat khusus, karena hal tersebut sering menimbulkan menurunnya kapasitas keseluruhan simpang.

#### 15. Kapasitas Simpang (C)

Kapasitas simpang bersinyal untuk setiap lengan simpang dapat dihitung menggunakan persamaan 3.14 seperti berikut :

$$C = S \times \frac{H}{c} \dots\dots\dots (3.14)$$

Keterangan :

$C$  = kapasitas simpang bersinyal (skr/jam)

$S$  = arus jenuh (skr/jam)

$H$  = total waktu hijau dalam satu siklus (detik)

$c$  = waktu siklus (detik)

#### 16. Derajat kejenuhan ( $D_J$ )

Derajat kejenuhan ( $D_J$ ) merupakan rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat dan dapat dihitung dengan persamaan 3.15.

$$D_J = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan :

$Q$  = arus lalu lintas (skr/jam)

$C$  = kapasitas simpang bersinyal (skr/jam)

#### 17. Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

##### a. Panjang Antrian

Menurut PKJI 2014, jumlah rata-rata antrian kendaraan (skr) pada awal isyarat lampu hijau ( $N_Q$ ) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (skr) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ( $N_{Q1}$ ) ditambahkan dengan

jumlah kendaraan (skr) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah ( $N_{Q2}$ ), dihitung dengan persamaan berikut.

$$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2} \dots\dots\dots (3.16)$$

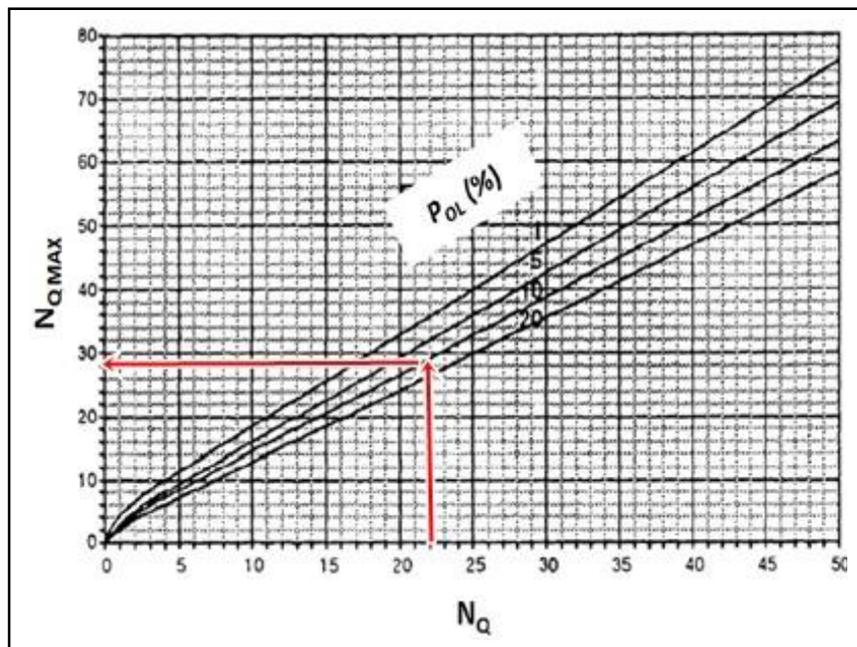
Jika nilai  $D_J > 0,5$  maka nilai

$$N_{Q1} = 0,25 \times C \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{c}} \right\} \dots\dots (3.17)$$

Jika nilai  $D_J \leq 0,5$  maka nilai  $N_{Q1} = 0$

$$N_{Q2} = c \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots (3.18)$$

Lakukan koreksi untuk mengevaluasi pembebanan yang lebih dari  $N_Q$ . Apabila diinginkan peluang untuk terjadi pembebanan sebesar  $P_{OL}(\%)$ , maka ditetapkan nilai  $N_{QMAX}$  dengan gambar 3.15. Untuk desain dan perencanaan disarankan  $P_{OL} \leq 5\%$ . Untuk analisis operasional, nilai  $P_{OL} = 5\%$  sampai  $10\%$  masih dapat diterima.



Gambar 3.7 Jumlah antrian maksimum  
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Selanjutnya menghitung Panjang Antrian (PA) yang didapat dari perkalian  $N_Q$  (skr) dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu kendaraan ringan (ekr) yaitu 20m<sup>2</sup>, dibagi lebar masuk (m) sesuai persamaan berikut :

$$PA = N_Q \times \frac{20}{L_M} \dots\dots\dots (3.19)$$

b. Rasio Kendaraan Henti ( $R_{KH}$ )

Rasio kendaraan henti adalah rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti karena isyarat merah sebelum melewati suatu simpang terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut, dapat dihitung menggunakan persamaan atau dapat menggunakan diagram pada Gambar 3.16.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_Q}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots (3.20)$$

Keterangan ;

$N_Q$  = jumlah rata-rata antrian kendaraan (skr) pada awal isyarat hijau

$c$  = waktu siklus, detik

$Q$  = arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau, skr/jam

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti,  $N_H$  adalah jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang, dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$N_H = Q \times R_{KH} \dots\dots\dots (3.21)$$

c. Tundaan (T)

Tundaan pada suatu simpang terjadi karena dua hal, yaitu tundaan lalu lintas (TL) dan tundaan geometric (TG). Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat  $i$  dihitung menggunakan persamaan 3.22 .

$$T_i = T_{Li} + T_{Gi} \dots\dots\dots (3.22)$$

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat  $i$  dapat ditentukan menggunakan persamaan 3.23.

$$T_L = c \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_J)} + \frac{N_{Q1} \times 3600}{c} \dots \dots \dots (3.23)$$

Tundaan geometric rata-rata pada suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan persamaan 3.24 .

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \dots \dots \dots (3.24)$$

dengan

$P_B$  = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

Nilai normal  $T_{Gi}$  untuk kendaraan belok tidak berhenti adalah 6 detik, dan untuk yang berhenti adalah 4 detik. Nilai normal ini didasarkan pada anggapan-anggapan, bahwa:

- 1) Kecepatan = 40 km/jam;
- 2) Kecepatan belok tidak berhenti = 10 km/jam;
- 3) Percepatan dan perlambatan = 1,5 m/det<sup>2</sup>;
- 4) Kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.