

BAB III
LANDASAN TEORI

A. Analisis Data

Untuk analisis kinerja simpang bersinyal Tamansiswa, Yogyakarta menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014). Kondisi lingkungan jalan ini antara lain menggambarkan tipe lingkungan jalan yang terbagi atas beberapa tipe, antara lain: tipe pemukiman, komersial dan lainnya. Adapun data-data yang dijadikan Analisa perhitungan, antara lain:

1. Lebar pendekat efektif

Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) dengan berdasarkan lebar ruas pendekat (L), lebar masuk (L_M) dan juga lebar keluar (L_K).

a. Untuk pendekat (*approach*) tanpa belok kiri langsung (L_{M-})

Periksa nilai L_K , jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKA} - R_{BKIJT})$, tetapkan $L_E = L_K$ dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini hanya berdasarkan arus lurus saja. Jika pendekat dilengkapi dengan pulau lalu lintas, maka untuk perhitungan L_M menggunakan persamaan 3.1 .

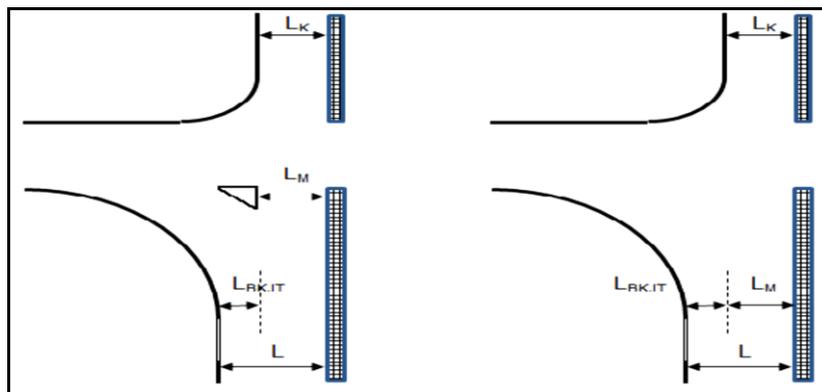
$$L_M = L - L_{BKIJT} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

L_M = Lebar Masuk

L_{BKIJT} = Rasio Arus Belok Kiri Jalan Terus

b. Untuk pendekat dengan belok kiri langsung (L_{BKIJT})



Gambar 3.1 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

1. Jika $\geq 2m$, maka arus kendaraan BKIJT dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah.

- a. Langkah 1 : Keluarkan arus B_{KijT} (q_{BKijT}) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} - q_{BKA}$.

Lebar efektif dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L_{BKijT} \\ L_m \end{cases}$$

- b. Langkah 2 : Periksa nilai L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentu waktu isyarat untuk pendekat ini hanya berdasarkan bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu q_{LRS} .

Jika nilai $L_{BKijT} < 2m$, maka kendaraan $BKijT$ tersebut dianggap tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya selama isyarat merah.

- a. Langkah 1 : nilai q_{BKijT} disertakan pada perhitungan selanjutnya

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L \\ L_M + L_{BKijT} \\ L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT} \end{cases}$$

- b. Langkah 2 : periksa nilai L_K (hanya untuk tipe pendekat P), jika nilai $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentu waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk arus lalu lintas lurus saja.

B. Kondisi Arus Lalu Lintas

Data lalu lintas terbagi dalam beberapa jenis tipe kendaraan yaitu kendaraan tak bermotor (KTB), sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), kendaraan berat (KB).

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

Tabel 3.1 Ekvivalen Kendaraan Ringan

Jenis Kendaraan	ekr untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
KR	1,00	1,00
KB	1,30	1,30
SM	0,2	0,40

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia , 2014)

1. Perhitungan nilai arus jenuh (S)

Arus jenuh (skr/jam) merupakan hasil dari perkalian antara arus jenuh dasar (S₀) dengan faktor-faktor penyesuaian untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi idealnya. Dimana S₀ = S pada keadaan lalu lintas dan geometrik yang ideal, sehingga faktor-faktor penyesuaian untuk S₀ = 1.

S dirumuskan pada persamaan sebagai berikut :

$$S = S_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKk} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan :

- F_{UK} = faktor penyesuaian S₀ yang terkait ukuran kota.
- F_{HS} = faktor penyesuaian S₀ akibat HS lingkungan jalan.
- F_G = faktor penyesuaian S₀ akibat kelandaian memanjang pendekat
- F_P = faktor penyesuaian S₀ akibat adanya jarak garis hentipada mulut pendekat.
- F_{BKk} = faktor penyesuaian S₀ akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan.
- F_{BKl} = faktor penyesuaian S₀ akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri.

1) Arus jenuh dasar (S₀)

Arus jenuh dasar ini terbagi menjadi 2 tipe, yaitu antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Pendekat terlindung, untuk pendekat terlindung ini dimana S₀ sebagai fungsi dari lebar efektif pendekat. Penetapan nilai S₀ untuk tipe pendekat terlindung ini dapat ditentukan menggunakan diagram. Berikut adalah persamaan yang digunakan adalah :

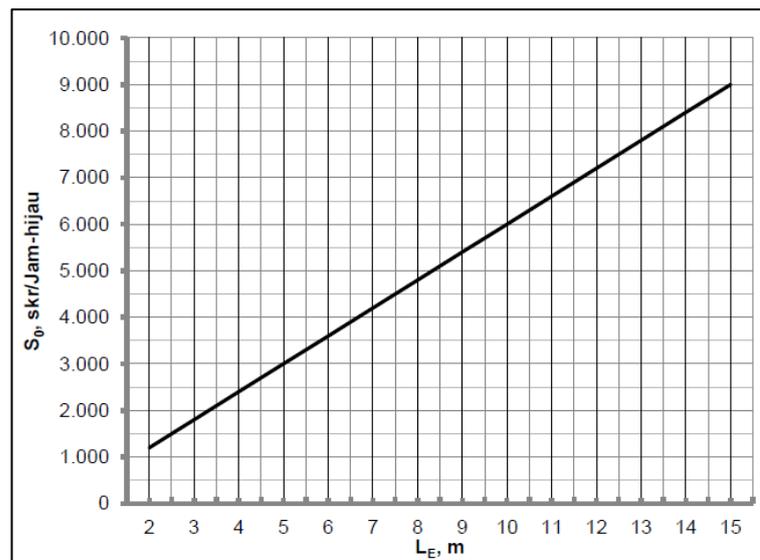
$$S = 600 \times L_E \dots \dots \dots (3.3)$$

Dengan :

S_0 = arus jenuh dasar, (skr/jam)

L_E = lebar efektif pendekat, (m)

- b. Pendekat tak terlindung, pada pendekat ini tidak dilengkapi dengan lajur belok kanan terpisah, maka nilai S_0 ditentukan menggunakan grafik yang terdapat pada PKJI 2014. S_0 sebagai fungsi dari L_E , Q_{BKa} , dan Q_{BKaO} , yang dilengkapi juga dengan lajur belok kanan terpisah.



Gambar 3.2 Arus jenuh Dasar Untuk Pendekat Terlindung (tipe P)
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

2) Faktor penyesuaian untuk ukuran kota (F_{UK})

Pengkategorian ukuran kota dibagi menjadi 5 dengan berdasarkan pada kriteria populasi penduduknya. Besaran nilai F_{UK} ini ditetapkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{UK})

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)

3) Faktor penyesuaian akibat hambatan samping (F_{HS})

Faktor penyesuaian akibat hambatan samping (F_{HS}) memiliki beberapa fungsi yaitu, sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan, hambatan samping, dan juga rasio kendaraan tak bermotor. Jika nilai hambatan samping tidak diketahui, maka asumsikan hambatan samping tinggi agar tidak menilai kapasitas terlalu besar.

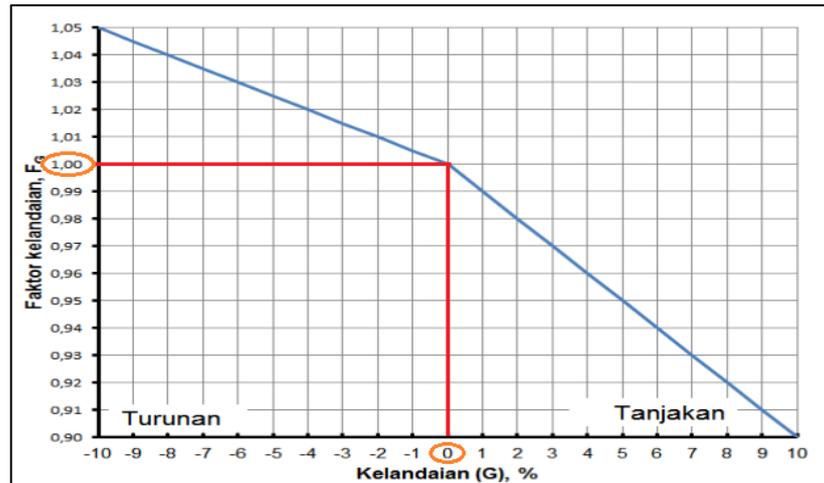
Tabel 3.3 Faktor penyesuaian untuk tipe simpang, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor (F_{HS})

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
Pemukiman (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 PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

4) Faktor penyesuaian akibat kelandaian jalur pendekat (F_G)

Nilai F_G dapat ditentukan dengan grafik pada Gambar 3.3, nilai F_G ini sebagai fungsi dari kelandaian lengan simpang.



Gambar 3.3 Faktor penyesuaian untuk kelandaian (F_G)
 Sumber : PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

5) Faktor penyesuaian akibat kendaraan parkir pada jalur pendekat (F_P)

Faktor penyesuaian akibat kendaraan parkir (F_P) merupakan sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai ke kendaraan yang parkir pertama kali pada jalur pendekat. Faktor ini berlaku juga untuk kasus-kasus dengan panjang belok kiri terbatas. Nilai F_P dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

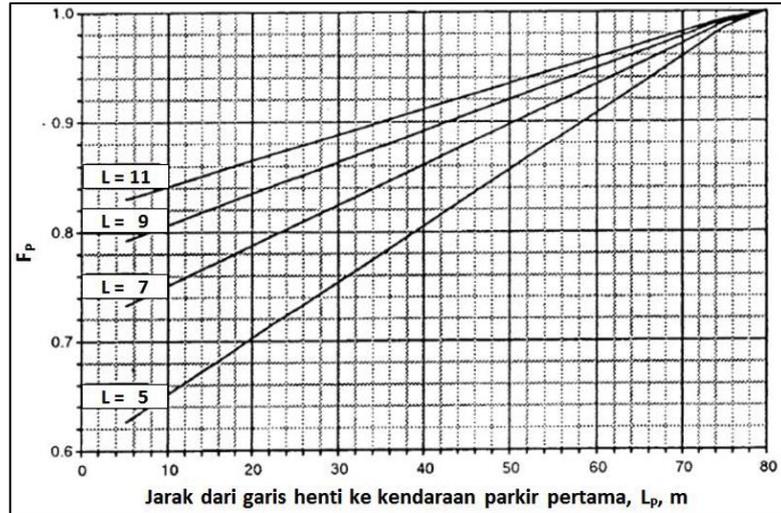
$$F_P = \frac{(L_p / 3 - (L - 2)) \times (L_p / 3 - g) / L}{H} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan :

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, (detik)



Gambar 3.4 Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir (F_p)
 (Sumber :Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

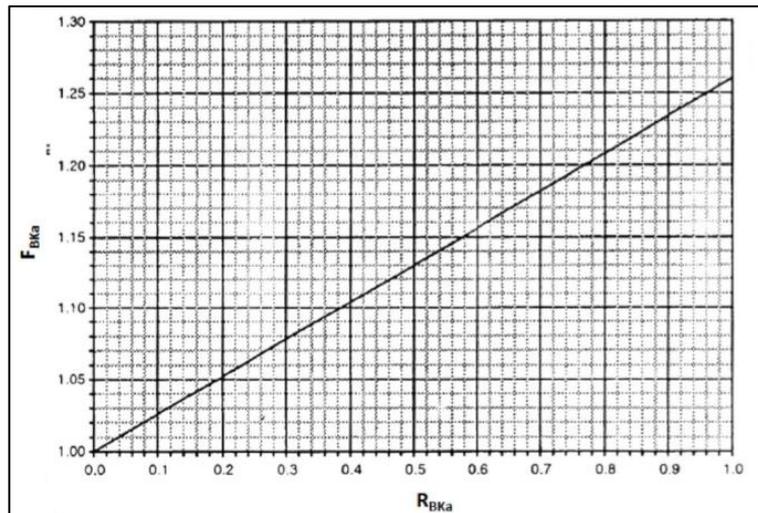
6) Faktor penyesuaian belok kanan ($F_{BK\alpha}$)

Faktor penyesuaian belok kanan ($F_{BK\alpha}$) ini merupakan fungsi dari rasio kendaraan belok kanan ($R_{BK\alpha}$). Nilai $F_{BK\alpha}$ tersebut dapat ditentukan dengan persamaan (3.5), selain itu juga nilai $F_{BK\alpha}$ bisa didapat dari gambar (3.5).

$$F_{BK\alpha} = 1,0 + R_{BK\alpha} \times 0,26 \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan :

$R_{BK\alpha}$ = Rasio kendaraan belok kanan.



Gambar 3.5 Faktor penyesuaian untuk belok kanan ($F_{BK\alpha}$)
 (Sumber :Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

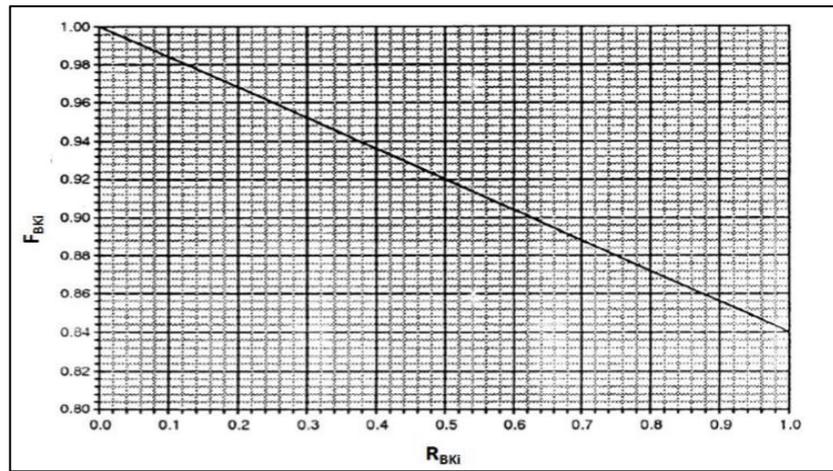
7) Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BK_i})

Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BK_i}) ini merupakan fungsi dari rasio belok kiri (R_{BK_i}) yang dapat dihitung menggunakan persamaan (3.6), dan juga dapat diperoleh nilainya dari gambar (3.6).

$$F_{BK_i} = 1,0 - R_{BK_i} \times 0,16 \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan :

R_{BK_i} = Rasio belok kiri



Gambar 3.6 Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (F_{BK_i})
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

8) Rasio arus / arus jenuh, $R_{Q/S}$

Dalam menghitung $R_{Q/S}$ perlu diperhatikan bahwa :

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

$$R_{Q/S} = \frac{Q}{S} \dots \dots \dots (3.7)$$

9) Rasio Fse, 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 $R_{Q/S}$ Kritis dan R_{AS} .

$$R_F = \frac{R_{Q/S \text{ kritis}}}{R_{AS}} \dots\dots\dots(3.8)$$

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

$$R_{AS} = \sum_i (R_{Q/S \text{ Kritis}})_i \dots\dots\dots(3.9)$$

10) Waktu Siklus dan Waktu Hijau

a. Penentuan waktu siklus sebelum penyesuaian, (cbs)

Tahap pertama adalah penentuan waktu siklus (c) untuk sistem kendali waktu tetap yang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini, rumus ini bertujuan untuk meminimumkan tundaan total. Selain dengan rumus (3.10), nilai (c) juga dapat ditentukan dengan menggunakan gambar (3.10).

$$C = \frac{(1,5x H_H + 5)}{\left(1 - \sum \frac{R_{Q/S \text{ Kritis}}}{S}\right)} \dots\dots\dots(3.10)$$

Dengan :

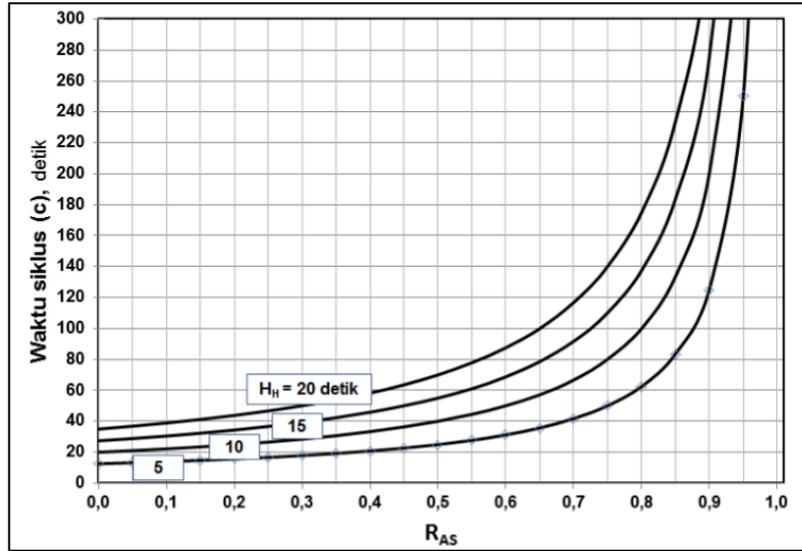
c = Waktu siklus, (detik)

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 pendekatan yang berangkat pada fase yang sama.

$\sum R_{Q/S \text{ kritis}}$ = Rasio arus simpang (sama dengan jumlah $R_{Q/S \text{ kritis}}$ dari semua fase) pada siklus tersebut.



Gambar 3.7 Penetapan waktu siklus sebelum penyesuaian, (c)
(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

Waktu siklus yang akan dihasilkan diharapkan sesuai dengan batas yang disarankan oleh PKJI 2014 dan dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 3.4 Waktu siklus yang layak

Tipe Pengaturan	Waktu siklus yang layak (detik)
Pengaturan 2 fase	40 – 80
Pengaturan 3 fase	50 – 100
Pengaturan 4 fase	80 – 130

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

b. Waktu hijau (Hi)

Nilai waktu hijau (Hi) ditetapkan menggunakan persamaan berikut:

$$Hi = (c - HH) \times \frac{R Q / Skritis}{\sum_i (R Q / Skritis)_i} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan

Hi = waktu hijau pada fase i (detik)

i = indeks untuk fase ke i

Waktu hijau yang lebih rendah dari nilai yang didapat dari rumus diatas harus dihindarkan, karena akan 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.

2. Kapasitas

Kapasitas simpang bersinyal (C), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C = S \times \frac{H}{c} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dengan :

C = kapasitas simpang bersinyal, (skr/jam)

S = arus jenih, (skr/jm)

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

c = waktu siklus, (detik)

3. Derajat kejenuhan (DJ)

Derajat kejenuhan (D_J) dapat dihitung dengan persamaan (3.13)

$$D_J = Q/C \dots\dots\dots(3.13)$$

Dengan :

Q = Arus lalu lintas (skr/jam)

C = Kapasitas simpang bersinyal, (skr/jam)

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:

$$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2} \dots\dots\dots(3.14)$$

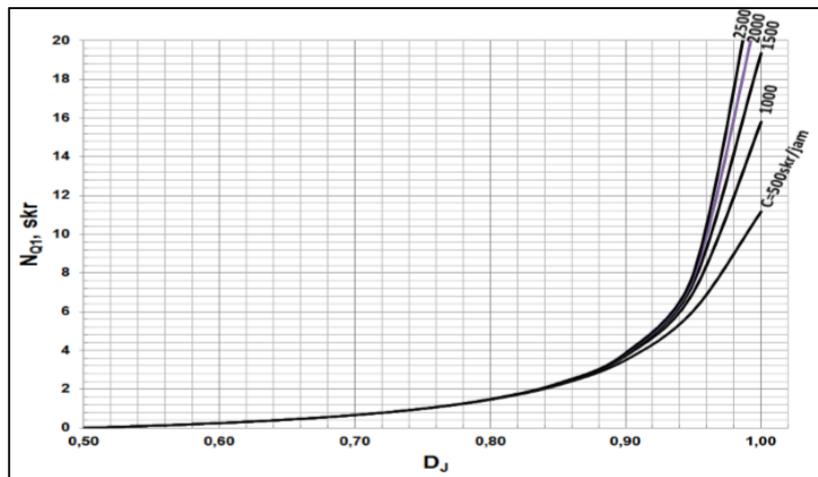
Jika nilai $D_J > 0,5$ maka nilai

$$N_{Q1} = 0,25 \times C \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{c}} \right\} \dots \dots \dots (3.15)$$

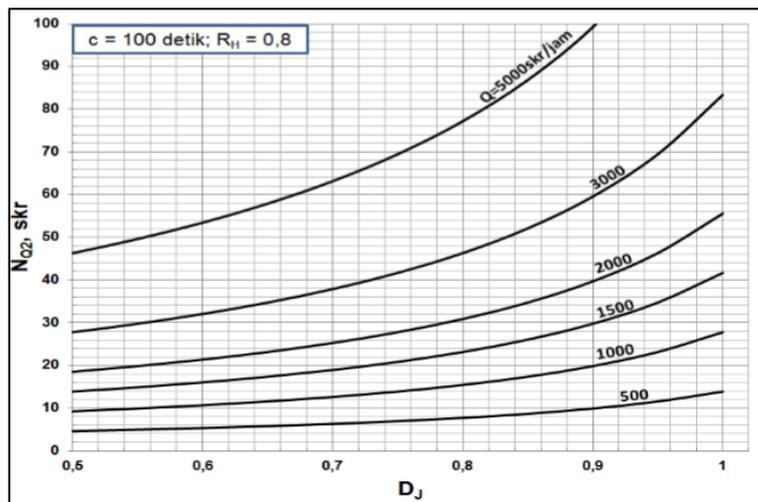
Jika nilai $D_J \leq 0,5$ maka nilai $N_{Q1} = 0$

$$N_{Q2} = c \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{Q}{3600} \dots \dots \dots (3.16)$$

Nilai N_{Q1} dapat juga bisa didapat dengan menggunakan diagram pada gambar 3.8 Dan nilai N_{Q2} menggunakan diagram pada gambar 3.9



Gambar 3.8 Jumlah kendaraan tersisa (skr) dari sisa fase sebelumnya. (Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

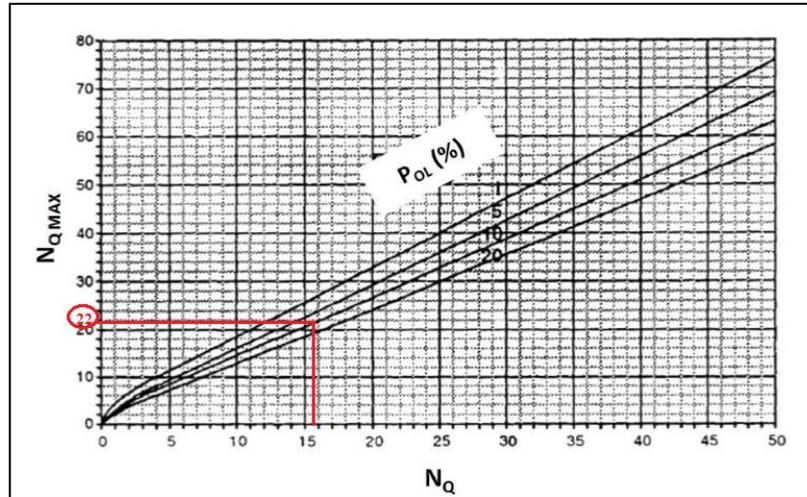


Gambar 3.9 Jumlah kendaraan yang datang kemudian antri pada fase merah.

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Lakukan koreksi untuk meng evaluasi pembebanan yang lebih dari N_Q . Apabila diinginkan peluang untuk terjadi pembebanan sebesar $P_{OL}(\%)$, maka

ditetapkan nilai N_{QMAX} dengan gambar 3.11. untuk desain dan perencanaan disarankan $P_{OL} \leq 5\%$. Untuk analisis operasional, nilai $P_{OL} = 5\%$ sampai 10% masih dapat diterima.



Gambar 3.10 Panjang antrian maksimum (N_{QMAX})
(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 20m², dibagi lebar masuk (m) sesuai persamaan berikut :

$$PA = N_Q \times \frac{20}{L_M} \dots \dots \dots (3.17)$$

a. 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 3.xx atau dapat menggunakan diagram pada gambar 3.12

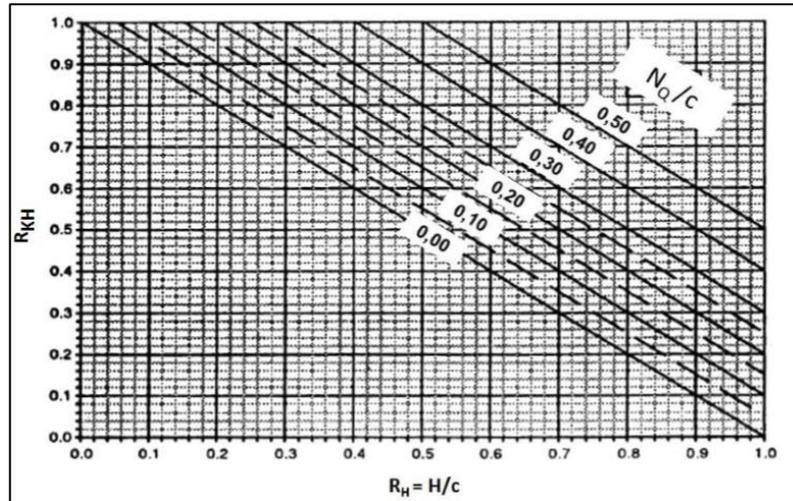
$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_Q}{Q \times c} \times 3600 \dots \dots \dots (3.18)$$

Dengan ;

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



Gambar 3.11 Penentuan rasio kendaraan terhenti, R_{KH}
 (Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014)

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.

$$N_H = Q \times R_{KH} \dots \dots \dots (3.19)$$

b. Tundaan

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 .

$$T_i = T_{Li} + T_{Gi} \dots \dots \dots (3.20)$$

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

$$T_L = c \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_j)} + \frac{N_{Q1} \times 3600}{c} \dots \dots \dots (3.21)$$

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

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \dots \dots \dots (3.22)$$

dengan

PB = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

Nilai normal T_G 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/det²;
- 4) Kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.

$$H_H = \sum_i (M_{Semua} + K)_i \dots \dots \dots (3.23)$$