

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tipikal Simpang APILL

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

Tipe simpang ditetapkan berdasarkan jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada jalan mayor dan jalan minor dengan kode tiga angka. Jumlah lengan adalah jumlah lengan untuk lalu lintas masuk dan keluar atau keduanya ditunjukkan pada Tabel 3.1

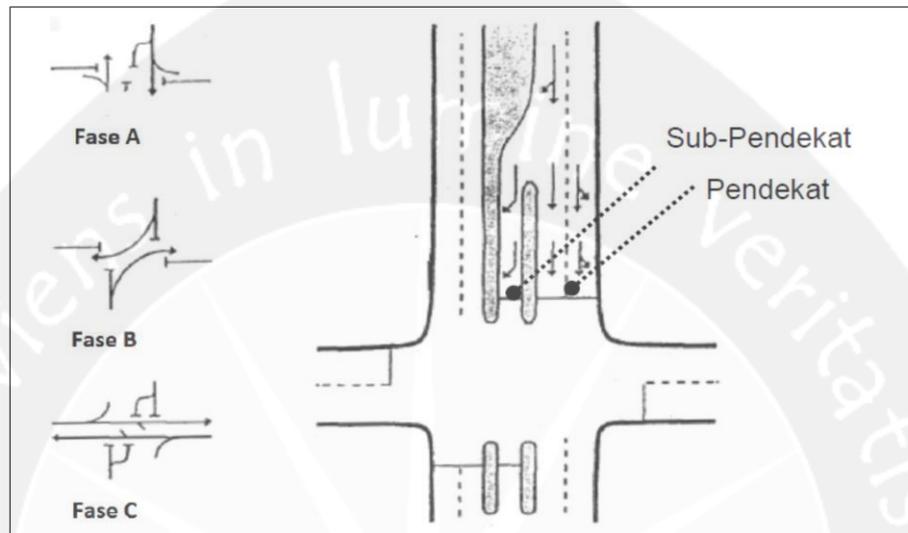
Tabel 3.1 Kode Tipe Simpang

Kode Tipe simpang	Jumlah lengan simpang	Jumlah lajur Jalan minor	Jumlah lajur Jalan mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Analisis kapasitas untuk setiap pendekat dilakukan secara terpisah. Satu lengan simpang dapat terdiri dari satu pendekat atau lebih (menjadi dua atau lebih sub-pendekat, termasuk pengaturan fasenya seperti pada Gambar 3.1). Hal ini terjadi jika gerakan belok kanan dan/atau belok kiri mendapat isyarat hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik

oleh pulau-pulau jalan. Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat, lebar efektif (L_E) ditetapkan dengan mempertimbangkan lebar pendekat pada bagian masuk simpang dan pada bagian keluar simpang.



Gambar 3.1 Pendekatan dan Sub-Pendekatan

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

3.2 Menghitung Data Masukan Lalu Lintas

PKJI 2014 menjelaskan data masukan lalu lintas diperlukan untuk dua hal, yaitu pertama data arus lalu lintas eksisting dan kedua data arus lalu lintas rencana. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas, berupa arus lalu lintas per jam eksisting pada jam-jam tertentu yang dievaluasi. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam desain (q_{jd}) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor k .

$$q_{jd} = LHRT \times k \quad (3-1)$$

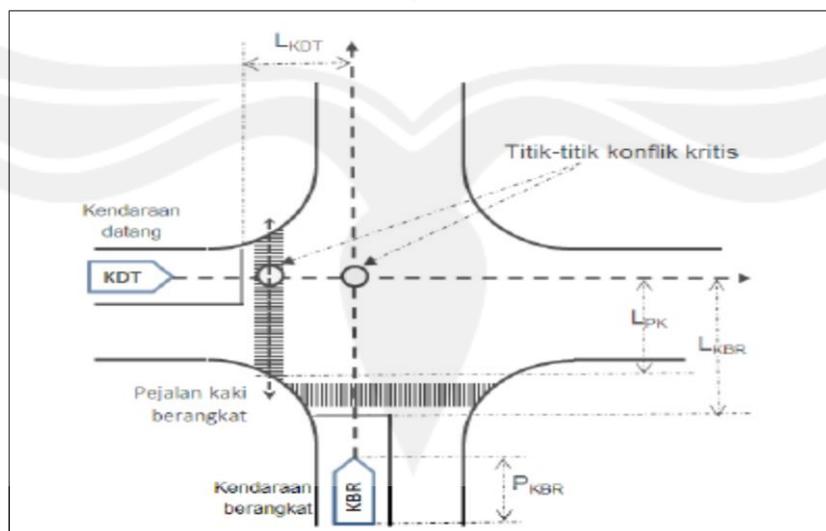
Keterangan :

LHRT = Volume lalu lintas harian rata – rata tahunan, dinyatakan dalam skr/hari

k = faktor jam rencana ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas berdasarkan jam selama satu tahun. Nilai k yang dapat digunakan untuk jalan perkotaan berkisar antara 7% sampai dengan 12%.

3.3. Menetapkan Pengaturan Sinyal APILL

Menurut PKJI 2014, titik konflik kritis pada masing-masing fase (i) adalah titik yang menghasilkan M_{semua} terbesar. M_{semua} diperlukan untuk pengosongan area konflik dalam simpang pada akhir setiap fase. Waktu ini memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir melewati garis henti pada akhir isyarat kuning sampai dengan meninggalkan titik konflik dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Titik konflik kritis dan jarak

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

Jarak adalah panjang lintasan keberangkatan ($LKBR$) ditambah panjang kendaraan berangkat ($PKBR$) sebelum kedatangan kendaraan pertama yang datang dari arah lain (KDT) pada fase berikutnya yang melewati garis henti pada awal isyarat hijau sampai dengan ke titik konflik yang sama dengan jarak lintasan $LKDT$. Jadi, M_{semua} merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan yang datang dari garis henti masing-masing arah sampai ke titik konflik, serta panjang dari kendaraan yang berangkat ($PKBR$). Dalam hal waktu lintasan pejalan kaki (LPK) lebih lama ditempuh dibandingkan $LKBR$, maka LPK yang menentukan panjang lintasan berangkat. M_{semua} per fase dipilih yang terbesar dari dua hitungan waktu lintasan, yaitu kendaraan berangkat dan pejalan kaki yang dirumuskan sebagai berikut :

$$M_{semua} = Max \left\{ \frac{LKBR+PKBR}{VKBR} - \frac{LKDT}{VKDT} \right\} \quad (3-2)$$

Keterangan :

- $LKBR, LKDT, LPK$: jarak dari garis henti ke titik konflik masing – masing untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki
- $PKBR$: panjang kendaraan yang berangkat, m
- $VKBR, VKDT, VPK$: kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang dan pejalan kaki, m/det.

Nilai-nilai V_{KBR} , V_{KDT} , dan P_{KBR} tergantung dari kondisi lokasi setempat. Nilai-nilai berikut ini dapat digunakan sebagai pilihan jika nilai baku tidak tersedia.

V_{KBR}	= 10m/det (kendaraan bermotor)
V_{KDT}	= 10m/det (kendaraan bermotor)
	3m/det (kendaraan tak bermotor misalnya sepeda)
	1,2m/det (pejalan kaki)
P_{KBR}	= 5m (KR atau KB)
	2m (SM atau KTB)

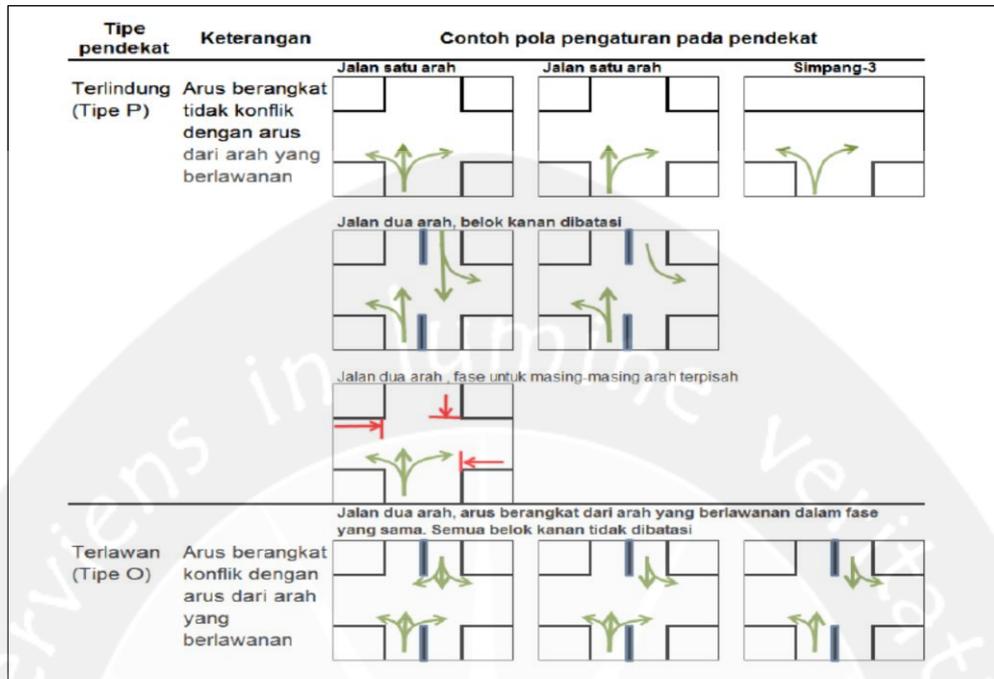
Panjang waktu kuning pada Alat Pengatur Isyarat Lalu Lintas perkotaan di Indonesia biasanya ditetapkan 3,0 detik.

3.4 Penetapan Waktu Isyarat

PKJI 2014 untuk menetapkan lama waktu pada APILL maka perlu dilakukan penetapan tipe pendekatan, penentuan lebar efektif (L_E), menentukan arus jenuh dasar, waktu siklus, waktu hijau, rasio arus dan faktor penyesuaian sesuai dengan simpang yang akan dianalisis.

3.4.1. Tipe pendekatan

Pada pendekat dengan arus lalu lintas yang berangkat pada fase yang berbeda, maka analisis kapasitas pada masing-masing fase pendekat tersebut harus dilakukan secara terpisah. Hal yang sama pada perbedaan tipe pendekat, pada satu pendekat yang memiliki tipe pendekat, baik terlindung (P) maupun terlawan (O) pada fase yang berbeda seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Penentuan Tipe Pendekatan

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

3.4.2. Menentukan lebar pendekatan efektif, L_E

Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) berdasarkan lebar ruas pendekat (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Jika B_{KiJT} diizinkan tanpa mengganggu arus lurus dan arus belok kanan saat isyarat merah, maka L_E dipilih dari nilai terkecil diantara L_K dan $(L_M - L_{BK_{iJT}})$. Jika pendekat dilengkapi pulau lalu lintas, maka L_M ditetapkan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. Jika $L_{BK_{iJT}} \geq 2m$, maka arus kendaraan B_{KiJT} dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1: Keluarkan arus B_{KiJT} ($q_{BK_{iJT}}$) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} + q_{BKa}$

Tentukan lebar efektif sebagai berikut:

$$L_E = \text{Min} \left\{ \frac{L - L_{BKIJT}}{L_M} \right\} \quad (3-3)$$

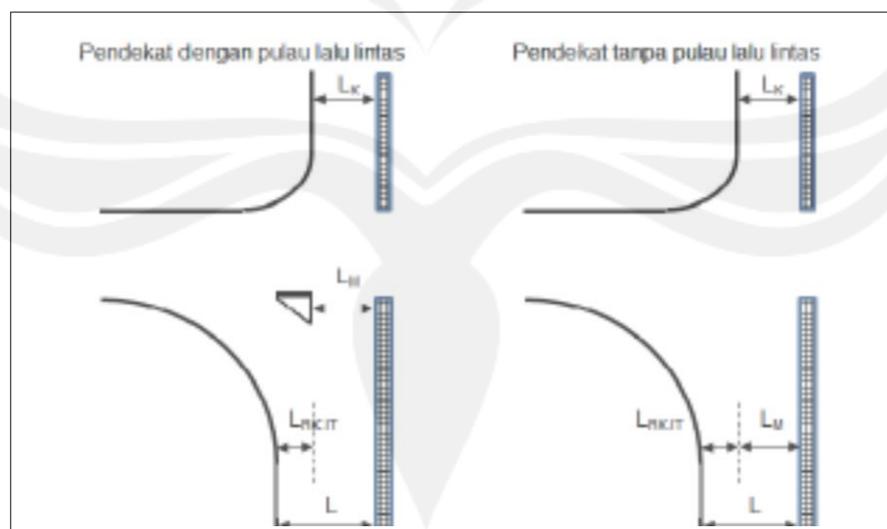
Langkah 2: Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu Q_{LRS}

Jika $L_{BKIJT} < 2m$, maka kendaraan $BKIJT$ dianggap tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1: Sertakan q_{BKIJT} pada perhitungan selanjutnya.

$$L_E = \text{Min} \{ L_M + L_{BKIJT} \} \quad (3-4)$$

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



Gambar 3.4 Lebar Pendekatan dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

3.4.3. Penetapan waktu siklus

Waktu siklus termasuk dalam pengaturan waktu isyarat APILL. Untuk menentukan waktu siklus dapat menghitung dengan rumus (Webster 1996) berikut ini:

$$c = \frac{1.5xHh+5}{1\Sigma Rq/Skritis} \quad (3-5)$$

dengan keterangan :

c = waktu siklus, detik

Hh = jumlah waktu hijau hilang per siklus, detik

R_Q /s = rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, Q/S

R_Q/s_{kritis} = Nilai RQ/S yang tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada fase yang sama

$\Sigma R_Q/s_{kritis}$ = rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua R_Q /s kritis dari semua fase pada siklus tersebut)

rumus ini dipakai untuk meminimumkan tundaan total. Dalam PKJI 2014 juga ditetapkan waktu siklus yang layak berdasarkan lebar efektif simpang, ditunjukkan dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2 Waktu Siklus Layak

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

3.4.4. Menghitung waktu hijau

Menurut PKJI 2014 untuk menentukan waktu hijau dirumuskan sebagai berikut :

$$H_i = (c - H_h) \times \frac{\frac{RQ_{kritis}}{s}}{\sum t(\frac{RQ_{kritis}}{s})} \quad (3-6)$$

keterangan:

H_i = waktu hijau pada fase i, detik

i = indeks untuk fase ke i

3.4.5. Menghitung derajat kejenuhan

Untuk menghitung derajat kejenuhan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$D_j = \frac{Q}{C} \quad (3-7)$$

Nilai derajat kejenuhan untuk simpang adalah $\leq 0,85$ sebagai batas kelayakan jalan

3.4.6. Menghitung arus jenuh dasar (S_o)

Arus jenuh S (*skr/Jam*) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (S_o) dengan faktor-faktor penyesuaian untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. S_o adalah S pada keadaan lalu lintas dan geometrik yang ideal, sehingga faktor-faktor penyesuaian untuk S_o adalah satu. S dirumuskan seperti berikut ini :

$$S = S_0 \cdot FHS \cdot FUK \cdot FG \cdot FP \cdot FBK_a \cdot FBK_i \quad (3-8)$$

dengan keterangan :

FUK : faktor penyesuaian S_0 terkait ukuran kota

FHS : faktor penyesuaian S_0 akibat HS lingkungan jalan

FG : faktor penyesuaian S_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

FP : faktor penyesuaian S_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama

FBK_a : faktor penyesuaian S_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

FBK_i : faktor penyesuaian S_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

Menurut Munawar (2006) untuk pendekat terlindung (tipe P), S_0 drumuskan oleh persamaan 3.9 sebagai fungsi dari lebar efektif pendekat. Selain itu, penetapan nilai S_0 untuk tipe pendekat terlindung.

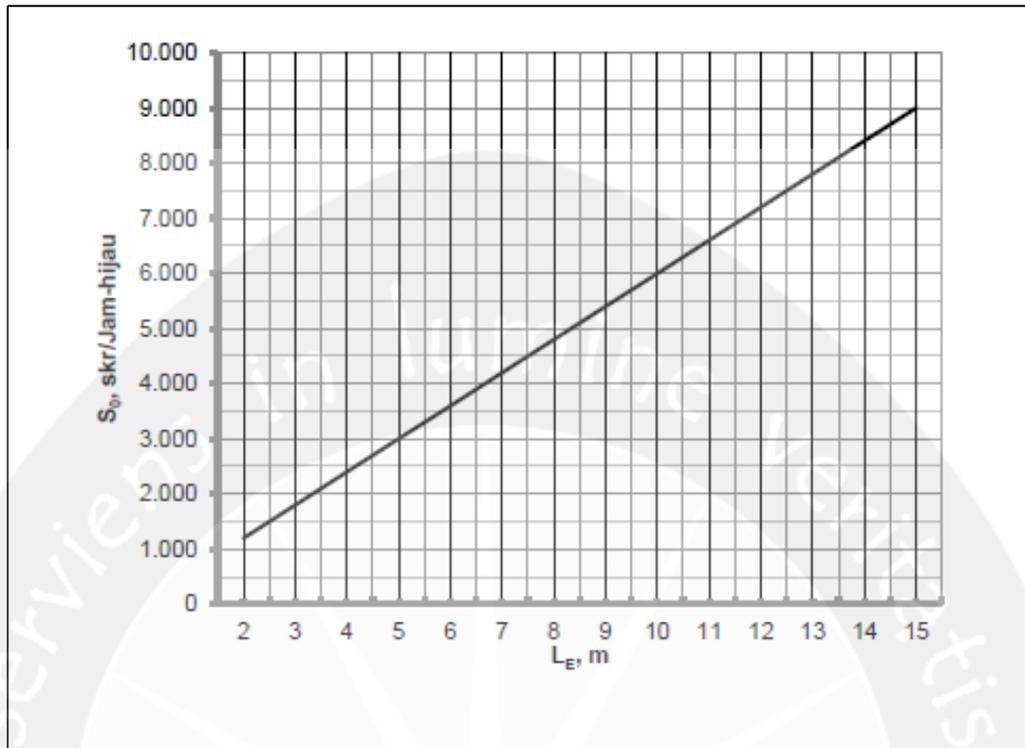
$$S_0 = 775 \times L_E \quad (3-9)$$

dengan keterangan :

S_0 = arus jenuh dasar, skr/jam

L_E = lebar efektif pendekat, m

Atau dengan menggunakan Gambar 3.5 untuk menentukan Arus Jenuh Dasar tipe P , apabila tidak dilengkapi lajur belok-kanan terpisah maka S_0 ditentukan menggunakan Gambar 3.6 sedangkan fungsi dari L_E , Q_{BK_a} , dan Q_{BK_i} , yang dilengkapi dengan lajur belok kanan terpisah, ditentukan menggunakan Gambar 3.7

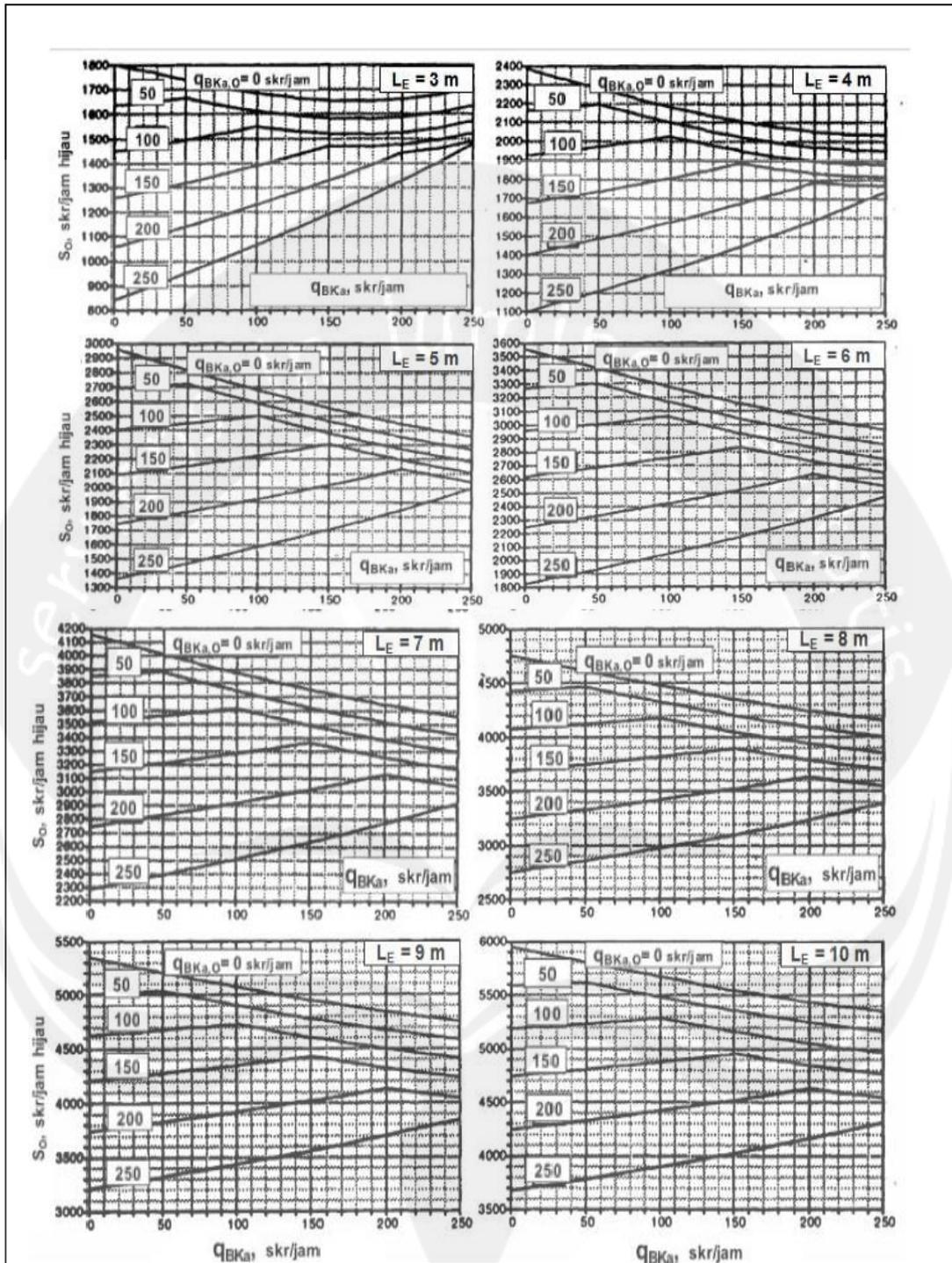


Gambar 3.5 Arus Jenuh Dasar Pendekatan Terlindung (tipe *P*)

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

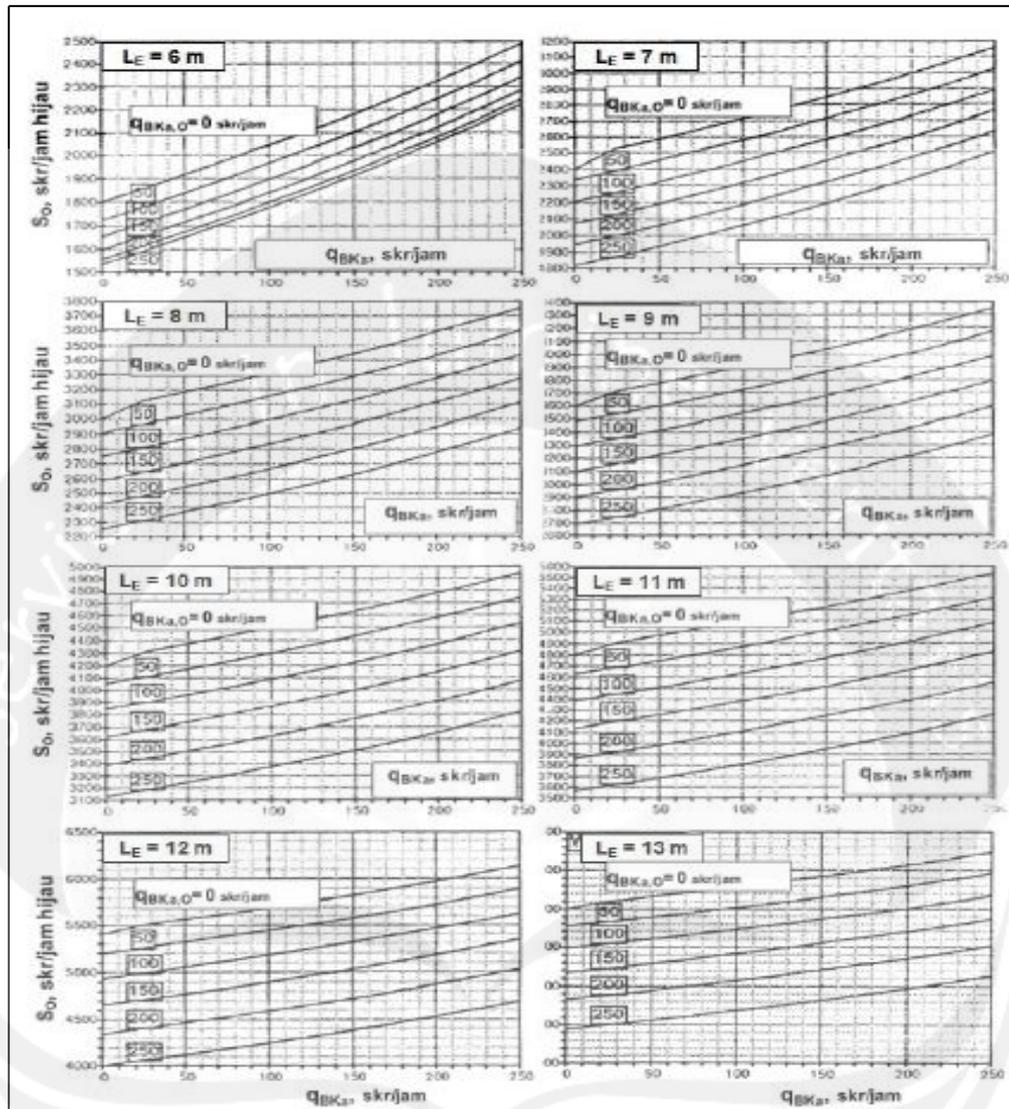
waktu hijau awal. Perkiraan yang sama dapat digunakan untuk waktu hijau akhir dimana nyala hijau pada satu pendekat diperpanjang beberapa saat setelah berakhirnya nyala hijau pada arah yang berlawanan. Lama waktu hijau awal dan akhir minimal 10 det. Jika suatu pendekat berisyarat hijau pada kedua fase 1 dan 2 dengan waktu hijau H_1 dan H_2 dan arus jenuh S_1 dan S_2 , nilai kombinasi S_{1+2} sesuai PKJI 2014 dirumuskan sebagai berikut :

$$S_{1+2} = \frac{S_1 H_1 + S_2 H_2}{H_1 + H_2} \quad (3-10)$$



Gambar 3.6 Arus Jenuh Pendekatan Terlindung (tipe P) Tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)



Gambar 3.7 Arus Jenuh untuk Pendekatan Terlindungi (tipe P) yang Dilengkapi Lajur Belok Kanan Terpisah

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

3.4.7. Menetapkan arus (S)

Jika salah satu dari fase hijau adalah fase pendek, misalnya waktu hijau awal, dimana satu isyarat pada pendekat menyala hijau beberapa saat sebelum mulainya hijau pada arah yang berlawanan, disarankan untuk menggunakan hijau awal ini antara $1/4$ sampai $1/3$ dari total waktu hijau pada pendekat yang diberi

waktu hijau awal. Perkiraan yang sama dapat digunakan untuk "waktu hijau akhir" dimana nyala hijau pada satu pendekat diperpanjang beberapa saat setelah berakhirnya nyala hijau pada arah yang berlawanan. Lama waktu hijau awal dan akhir minimal 10 det. Jika suatu pendekat berisyarat hijau pada kedua fase 1 dan 2 dengan waktu hijau $H1$ dan $H2$ dan arus jenuh $S1$ dan $S2$, nilai kombinasi S_{1+2} sesuai PKJI 2014 dirumuskan sebagai berikut :

$$S_{1+2} = \frac{S1 H1 + S2 H2}{H1 + H2} \quad (3-11)$$

Jika waktu hijau awal sama dengan 1/3 dari total waktu hijau dari pendekat dengan waktu hijau awal maka dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$S_{1+2} = \frac{1}{3} S_1 + \frac{2}{3} S_2 \quad (3-12)$$

3.4.8. Menghitung rasio arus

Untuk menghitung rasio arus $R_{Q/S}$ memperhatikan bahwa jika arus belok kiri diijinkan jalan terus maka hanya arus lurus dan belok kanan saja yang dihitung sebagai nilai Q . Apabila lebar jalur keluar sama dengan lebar jalur efektif maka hanya arus lurus saja yang masuk dalam nilai Q , namun apabila pendekatan mempunyai dua fase yaitu fase arus terlawan (O) dan fase kedua untuk arus terlindung (P) maka arus gabungan dihitung dengan persamaan 3.13. Rasio arus dihitung dengan menggunakan rumus berikut (PKJI 2014) :

$$R_{Q/S} = \frac{Q}{S} \quad (3-13)$$

3.4.9. Faktor penyesuaian khusus untuk pendekatan tipe P

Perhitungan faktor penyesuaian akibat lalu lintas belok dalam PKJI 2014 hanya berlaku untuk tipe P (terlindung), tanpa median dan tipe jalan dua arah. Persamaan yang dipakai untuk menghitung faktor penyesuaian akibat lalu lintas belok kanan sebagai berikut :

$$FBKa = 1,0 + RBKa \times 0,26 \quad (3-14)$$

Persamaan yang dipakai akibat lalu lintas belok kiri digunakan rumus sebagai berikut :

$$FBKi = 1,0 - RBKi \times 0,16 \quad (3-15)$$

3.5 Menentukan Kapasitas Simpang APILL

Perhitungan kapasitas APILL dengan PKJI 2014 digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas simpang dapat menampung kendaraan, namun untuk menentukan kapasitas simpang harus mengitung derajat kejenuhan. Persamaan yang dipakai untuk menentukan kapasitas simpang sebagai berikut :

$$C = S \times \frac{H}{c} \quad (3-16)$$

keterangan:

C = kapasitas simpang APILL, skr/jam

S = arus jenuh, skr/jam

H = total waktu hijau dalam satu siklus, detik

C = waktu siklus, detik

3.5.1. Penyesuaian ukuran kota

Banyaknya jumlah penduduk suatu kota mempengaruhi pola lalu lintas pada suatu persimpangan. Perbedaan tingkat perkembangan perkotaan, keanekaragaman kendaraan, populasi kendaraan menunjukkan keberagaman perilaku pengemudi. Karakteristik ini diperhitungkan dalam analisis secara tidak langsung melalui ukuran kota. Kota yang lebih kecil menunjukkan perilaku pengemudi yang kurang gesit dan kendararan yang kurang responsif sehingga menyebabkan kapasitas dan kecepatan lebih rendah pada arus tertentu dijelaskan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Klasifikasi Ukuran Kota dan Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{uk})

Ukuran kota	Populasi penduduk Juta jiwa	F_{uk}
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1-0,5	0,88
Sedang	0,5-1,0	0,94
Besar	1,0-3,0	1,00
Sangat besar	> 3,0	1,05

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014)

3.6 Menghitung Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

Penetapan kinerja lalu lintas simpang diawali dengan menghitung panjang antrian, rasio kendaraan terhenti dan tundaan yang dirumuskan sebagai berikut :

3.6.1 Mengitung panjang antrian

PKJI 2014 menjelaskan 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}) ditambah jumlah kendaraan (skr) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (N_{Q2}), dan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2} \quad (3-17)$$

Apabila diketahui derajat kejenuhan $D_j > 0,5$ maka nilai

$$N_{Q1} = 0,25 \times c \times \left\{ (D_j - 1)^2 + \sqrt{(D_j - 1)^2 + \frac{8 \times (D_j - 0,5)}{c}} \right\} \quad (3-18)$$

Apabila diketahui derajat kejenuhan $D_j \leq 0,5$ maka nilai $N_{Q1} = 0$

$$N_{Q2} = c \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_j)} \times \frac{Q}{3600} \quad (3-19)$$

Selanjutnya menghitung panjang antrian (P_A) diperoleh dari perkalian N_Q (skr) dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu kendaraan ringan (ekr) yaitu $20m^2$, dibagi lebar masuk (m) pada persamaan berikut :

$$P_A = N_Q \times \frac{20}{LM} \quad (3-20)$$

3.6.2 Menghitung rasio kendaraan henti

PKJI 2014 menjelaskan bahwa Rasio kendaraan henti (R_{KH}) yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum

melewati suatu simpang terhadap jumlah arus pada fase yang sama dan dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times C} \times 3600 \quad (3-21)$$

dengan :

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

C = waktu siklus, detik

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

Selain itu Jumlah rata-rata kendaraan berhenti, NH , adalah jumlah berhenti rata rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang yang dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$N_H = Q \times R_{KH} \quad (3-22)$$

3.6.3 Tundaan

Tundaan yang terjadi pada simpang disebabkan oleh tundaan lalu lintas (T_L) dan tundaan geometrik (T_G) dengan 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 kecepatan = 40km/jam, kecepatan belok tidak berhenti = 10km/jam dan percepatan dan perlambatan = 1,5m/det² kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan. Tundaan lalu lintas rata –rata dihitung berdasarkan rumus PKJI 2014 berikut ini :

$$T_i = T_{Li} + T_{gi} \quad (3-23)$$

Selain tundaan lalu lintas terdapat pula perhitungan tundaan rata-rata dengan persamaan berikut ini :

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_b \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (3-24)$$

dengan P_b = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekatan

3.7 Tingkat Pelayanan Jalan

Tundaan yang terjadi pada simpang disebabkan oleh arus lalu lintas yang melebihi kapasitas, tingginya angka tundaan rata-rata menyebabkan rendahnya level pelayanan jalan tersebut. Tingkat pelayanan simpang dapat diukur dengan mengetahui besarnya tundaan kendaraan yang terjadi, Tabel 3.4 menunjukkan klasifikasi tingkat pelayanan simpang.

Tabel 3.4 Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik per kendaraan)	Load Factor
A	$\leq 5,0$	0,0
B	5,10-15,0	$\leq 0,1$
C	15,1-25,0	$\leq 0,3$
D	25,1-40,0	$\leq 0,7$
E	40,1-60,0	$\leq 1,0$
F	> 60	NA