

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Persimpangan (*Intersection*)

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023), persimpangan adalah pertemuan beberapa ruas jalan pada satu bidang yang sama. Persimpangan sebidang dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu simpang tiga, simpang empat, simpang banyak, simpang bergeser, simpang bundaran.

Persimpangan merupakan bagian penting dari jalan raya karena sebagian besar dari efisiensi, keamanan, kecepatan, biaya operasional dan kapasitas lalu lintas tergantung pada perencanaan persimpangan. Masalah masalah yang terkait pada persimpangan adalah:

- a. Volume dan kapasitas (secara langsung mempengaruhi hambatan)
- b. Perilaku lalu lintas dan panjang antrian.
- c. Kecepatan.
- d. Pengaturan lampu jalan.
- e. Kecelakaan dan keselamatan

Menurut E.K.Morlok (1998) jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Simpang bersinyal (*Signalised Intersection*) adalah persimpangan jalan yang pergerakan atau arus lalu lintas dari setiap pendekatnya diatur oleh lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergilir. Jadi pemakai jalan hanya boleh lewat pada saat sinyal lalu lintas menunjukkan warna hijau pada lengan simpangnya.
2. Simpang tak bersinyal (*Unsignalised Intersection*) adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya.

Pada simpang ini pemakai jalan harus memutuskan apakah mereka cukup aman untuk melewati simpang atau harus berhenti dahulu sebelum melewati simpang tersebut.

2.1.1 Jenis Simpang

Berdasarkan pengaturan arus lalu lintas pada simpang, simpang dibedakan menjadi dua yaitu simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal.

1. Simpang Bersinyal

Pada simpang jenis ini, arus kendaraan yang memasuki persimpangan diatur secara bergantian untuk mendapatkan prioritas dengan berjalan terlebih dahulu dengan menggunakan pengendali lalu lintas atau APILL. Perilaku lalu lintas pada simpang bersinyal meliputi persiapan, panjang antrian, kendaraan terhenti, tundaan.

2. Simpang Tak Bersinyal

Pada simpang tak bersinyal berlaku aturan yang disebut *General Priority Rules* yaitu kendaraan yang terlebih dahulu berada di persimpangan mempunyai hak untuk berjalan terlebih dahulu daripada kendaraan yang akan memasuki persimpangan. Perilaku lalu lintas pada simpang tak bersinyal meliputi derajat kejenuhan, tundaan, peluang antrian, penilaian perilaku lalu lintas.

2.1.2 Penentuan Arus Jenuh

Arus jenuh adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. J_0 adalah J pada kondisi arus lalu lintas dan geometri yang ideal, sehingga faktor-faktor koreksi untuk J_0 adalah satu. J dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

F_{HS} = Faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan

F_{UK} = Faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota

F_G = Faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

F_P = Faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama

F_{BK_i} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

F_{BK_a} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

2.1.3 Tingkat Kinerja Simpang

Jenis kendaraan Semua nilai arus lalu lintas yang masuk ke simpang dan masih dinyatakan dalam satuan kend/jam perlu dikonversikan menjadi SMP/jam menggunakan nilai EMP pada Tabel ini.

Tabel 2.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP	
	$q_{Total} \geq 1000$ kend/jam	$q_{Total} < 1000$ kend/jam
Mobil Penumpang	1,00	1,00
Kendaraan Sedang	1,30	1,30
Sepeda Motor	0,15	0,40

Sumber : PKJI 2023

2.1.4 Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan simpang (D_j) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D_j = q/C \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

D_j = Derajat kejenuhan.

C = Kapasitas simpang, dalam SMP/jam.

q = Semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang dengan satuan SMP/jam.

2.1.5 Tundaan

Tundaan (T) pada simpang dapat terjadi karena 2 sebab :

1. Tundaan lalu-lintas (T_{LL}) akibat interaksi lalu-lintas dengan gerakan yang lain dalam simpang.
2. Tundaan geometrik (T_{Gi}) akibat perlambatan dan percepatan kendaraan yang terganggu dan tak terganggu.

T Dihitung menggunakan persamaan.

$$T_i = T_{LL} + T_{Gi} \dots\dots\dots(2.3)$$

T_{LL} adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari semua arah, dapat dihitung menggunakan Persamaan.

Untuk $D_J \leq 0,60$:

$$T_{LL} = 2 + 8,2078 D_J - (1 - D_J)^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk $D_J > 0,60$:

$$T_{LL} = 1,0504 (0,2742 - 0,2042 D_J) - (1 - D_J)^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

T_{Gi} adalah tundaan geometri rata-rata seluruh simpang, dapat dihitung menggunakan persamaan.

Untuk $D_J < 1$:

$$T_{Gi} = (1 - D_J) \times \{6 RB + 3 (1 - RB)\} + 4 D_J (\text{detik/SMP}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk $D_J \geq 1$:

$$T_{Gi} = 4 \text{ detik/SMP} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

RB adalah rasio arus belok terhadap arus kendaraan bermotor total simpang.

2.1.6 Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL)

APILL digunakan untuk tujuan mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan. Untuk pengaturan dengan fase diperlukan saat analisis operasional dan perencanaan peningkatan untuk keperluan praktis, dapat menggunakan nilai pada tabel ini.

Tabel 2.2 Nilai Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar jalan rata – rata (m)	Nilai normal WAH (detik/fase)
Kecil	6 sampai kurang dari 10	4
Sedang	10 sampai kurang dari 15	5
Besar	Lebih dari atau sama dengan 15	>6

Sumber: PKJI 2023

Pemilihan jenis persimpangan baru (simpang, simpang APILL, bundaran, atau simpang tak sebidang) harus didasarkan pada analisis biaya siklus hidup, yang baru maupun yang akan ditingkatkan harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Memilih tipe yang paling ekonomis
2. Memilih tipe yang memiliki kinerja lalu lintas yang optimus
3. Mempertimbangkan keselamatan lalu lintas
4. Mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan

Cara perhitungan waktu siklus lampu lalu lintas:

$$S = \frac{(1,5 \times w_{HH} + 5)}{(1 - \sum Rq/J \text{ kritis})} \dots\dots\dots 2.8)$$

Keterangan:

S = Waktu siklus, dalam detik.

w_{HH} = Jumlah waktu hijau hilang per siklus, dalam detik.

Rq/J = Rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, q/J.

Rq/J kritis = Nilai Rq/J yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama.

$\sum Rq/J$ kritis = Rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua Rq/J kritis dari semua fase) pada siklus tersebut.

2.2 Pengaturan Persimpangan

Pengaturan persimpangan dilihat dari segi pandang untuk control kendaraan dapat dibedakan menjadi dua (Morlok, 1998) yaitu:

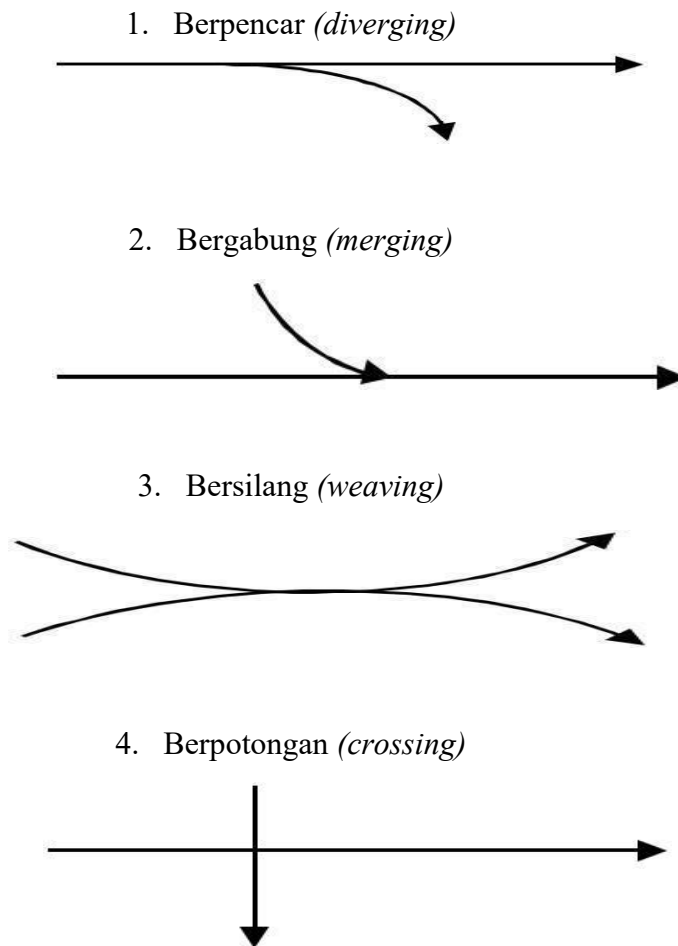
1. Persimpangan tanpa sinyal, dimana pengemudi kendaraan sendiri yang harus memutuskan apakah aman untuk memasuki persimpangan itu.
2. Persimpangan dengan sinyal, dimana persimpangan itu diatur sesuai sistem dengan tiga aspek lampu yaitu merah, kuning, dan hijau.

Yang dijadikan kriteria bahwa suatu persimpangan sudah harus dipasang alat pemberi isyarat lalu lintas menurut Ditjen. Perhubungan Darat, 1998 adalah:

1. Arus minimal lalu lintas yang menggunakan persimpangan rata – rata diatas 750 kendaraan/jam, terjadi secara kontinu 8 jam sehari.
2. Waktu tunggu atau hambatan rata – rata kendaraan di persimpangan melampaui 30 detik.
3. Persimpangan digunakan oleh rata – rata lebih dari 175 pejalan kaki/jam terjadi secara kontinu 8 jam sehari.
4. Sering terjadi kecelakaan pada persimpangan yang bersangkutan.

Tujuan utama perencanaan simpang adalah mengurangi konflik antara kendaraan bermotor serta tidak bermotor (gerobak, sepeda) dan penyediaan fasilitas yang memberikan kemudahan, kenyamanan, dan keselamatan terhadap pemakai

jalan yang melalui persimpangan. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1997) terdapat empat jenis dasar dari alih gerak kendaraan yang berbahaya seperti berikut:



Gambar 2.1 Pergerakan Lalu Lintas Pada Persimpangan
Sumber : Departemen Pekerjaan Umum 1997

Karakteristik persimpangan tidak bersinyal diterapkan dengan maksud sebagai berikut:

1. Pada umumnya digunakan di daerah pemukiman perkotaan dan daerah pedalaman untuk persimpangan antara jalan setempat yang arus lalu lintasnya rendah.
2. Untuk melakukan perbaikan kecil pada geometrik simpang agar dapat mempertahankan tingkat kinerja lalu lintas yang diinginkan.

Dalam perencanaan simpang tak bersinyal diarankan sebagai berikut:

1. Sudut simpang harus mendekati 90° demi keamanan lalu lintas.
2. Harus disediakan fasilitas agar gerakan belok kiri dapat dilepaskan dengan konflik yang terkecil terhadap gerakan kendaraan lain.
3. Lajur terdekat dengan kerb harus lebih lebar dari yang biasa untuk memberikan ruang bagi kendaraan bermotor.
4. Lajur membelok yang terpisah sebaiknya di rencanakan menjauhi garis utama lalu lintas, panjang lajur membelok harus mencukupi untuk mencegah antrian terjadi pada kondisi arus tinggi yang dapat menghambat pergerakan pada lajur terus.
5. Pulau lalu lintas tengah harus digunakan bila lebar jalan lebih dari 10m untuk memudahkan pejalan kaki menyebrang.
6. Jika jalan utama memiliki median, sebaiknya paling sedikit lebarnya 3 – 4m, untuk memudahkan kendaraan dari jalan kedua menyeberang dalam 2 langkah (tahap).
7. Daerah konflik simpang sebaiknya kecil dan dengan lintasan yang jelas bagi gerakan yang berkonflik.

2.3 Simpang Bersinyal

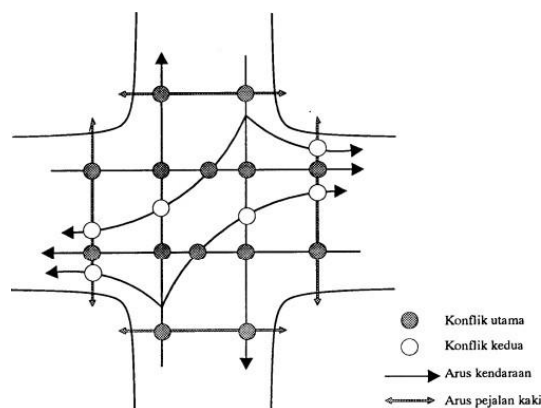
Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023) Simpang bersinyal adalah adalah salah satu jenis persimpangan yang mempertemukan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Persimpangan bersinyal dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

1. Sinyal waktu tetap (*Fixed Time Signal*)
Sinyal waktu tetap adalah cara pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan jadwal waktu yang tetap, tanpa memperhatikan naik turunnya arus lalu lintas, dan diatur secara otomatis dengan jam pengatur atau sekelas biasa.
2. Sinyal waktu tidak tetap (*Vehicle Actuated Signal*)
Sinyal waktu tidak tetap yaitu cara pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan kebutuhan arus lalu lintas dengan menggunakan alat deteksi (lampu lalu lintas diatur oleh kendaraan).

a. Karakteristik Sinyal Lalu-Lintas

Karakteristik sinyal lalu lintas berdasarkan (PKJI 2023) untuk sebagian besar fasilitas jalan, kapasitas dan perilaku lalu-lintas terutama adalah fungsi dari keadaan geometrik dan tuntutan lalu-lintas. Dengan menggunakan sinyal, perancang atau insinyur dapat mendistribusikan kapasitas kepada berbagai pendekat melalui pengalokasian waktu hijau pada masing-masing pendekat. Maka dari itu untuk menghitung kapasitas dan perilaku lalu lintas, pertama-tama perlu ditentukan fase dan waktu sinyal yang paling sesuai untuk kondisi yang ditinjau.

Penggunaan sinyal dengan lampu tiga warna (hijau, kuning, merah) diterapkan untuk memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu-lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu. Hal ini adalah keperluan yang mutlak bagi gerakan-gerakan lalu-lintas yang datang dari jalan-jalan yang saling berpotongan = konflik-konflik utama. Sinyal-sinyal dapat juga digunakan untuk memisahkan gerakan membelok dari pejalan kaki yang menyeberang = konflik-konflik kedua.



Gambar 2.2 Konflik-Konflik Utama dan Kedua Pada Simpang Bersinyal dengan Empat Lengan

Sumber : PKJI, 2023

b. Komposisi Arus

Pemisahan arah lalu-lintas: kapasitas jalan dua arah paling tinggi pada pemisahan arah 50 - 50, yaitu jika arus pada kedua arah adalah sama pada periode waktu yang dianalisa (umumnya satu jam). Komposisi lalu-lintas mempengaruhi hubungan kecepatan-arus jika arus dan kapasitas dinyatakan dalam kend/jam, yaitu tergantung pada rasio sepeda motor atau kendaraan berat dalam arus lalu-lintas. Jika

arus dan kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), maka kecepatan kendaraan ringan dan kapasitas (smp/jam) tidak dipengaruhi oleh komposisi lalu-lintas.

c. Pengaturan Lalu-Lintas

Batas kecepatan jarang diberlakukan di daerah perkotaan di Indonesia, dan karenanya hanya sedikit berpengaruh pada kecepatan arus bebas. Aturan lalu-lintas lainnya yang berpengaruh pada kinerja lalu-lintas adalah pembatasan parkir dan berhenti sepanjang sisi jalan, pembatasan akses tipe kendaraan tertentu, pembatasan akses dari lahan samping jalan dan sebagainya.

d. Aktivitas Samping Jalan

Di Indonesia banyak sekali aktivitas di samping badan jalan yang sering menimbulkan konflik, kadang-kadang besar pengaruhnya terhadap arus lalu-lintas yang biasa disebut hambatan samping. Hambatan samping adalah interaksi antara arus lalu-lintas dan kegiatan di samping jalan yang menyebabkan pengurangan terhadap arus jenuh di dalam pendekat. Jenis-jenis hambatan samping antara lain:

1. Pejalan kaki.
2. Angutan umum dan kendaraan lain yang berhenti (parkir).
3. Kendaraan masuk dan keluar dari lokasi di pinggir jalan.
4. Kendaraan lambat (misalnya becak dan delman).
5. Pedagang kaki lima.

Untuk menyederhanakan peranannya dalam prosedur perhitungan, tingkat hambatan samping telah dikelompokkan dalam lima kelas dari sangat rendah sampai sangat tinggi sebagai fungsi dari frekuensi kejadian hambatan samping sepanjang segmen jalan yang diamati.

Tabel 2.3 Kelas Hambatan Samping

Kelas hambatan samping	Kode	Jumlah bobot kejadian per 200 m per Jam (dua sisi)	Kondisi khusus
Sangat Rendah	VL	< 100	Daerah pemukiman, jalan dengan jalan samping.
Rendah	L	100 - 299	Daerah pemukiman, beberapa kendaraan umum dsb.
Sedang	M	300 - 499	Daerah industri, beberapa toko di sisi jalan.
Tinggi	H	500 – 899	Daerah komersial dengan aktivitas sisi jalan tinggi.
Sangat Tinggi	VH	> 900	Daerah komersial dengan aktivitas pasar di samping jalan.

Sumber : PKJI, 2023

e. Perilaku Pengemudi dan Populasi Kendaraan

Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan (umur, tenaga dan kondisi kendaraan, komposisi kendaraan) adalah beraneka ragam. Karakteristik ini dimasukkan dalam prosedur perhitungan secara tidak langsung, melalui ukuran kota. Kota yang lebih kecil menunjukkan perilaku pengemudi yang kurang gesit dan kendaraan yang kurang modern, menyebabkan kapasitas dan kecepatan lebih rendah pada arus tertentu, jika dibandingkan dengan kota yang lebih besar.

f. Metodologi Analisa Simpang Bersinyal

Metodologi untuk analisa simpang bersinyal yang diuraikan di bawah ini, didasarkan pada prinsip – prinsip utama sebagai berikut :

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_e) ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan ke luar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

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}) dikonversidari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan.

Tabel 2.4 Arus Lalu Lintas

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 : PKJI, 2023

3. Model dasar

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times g / c \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

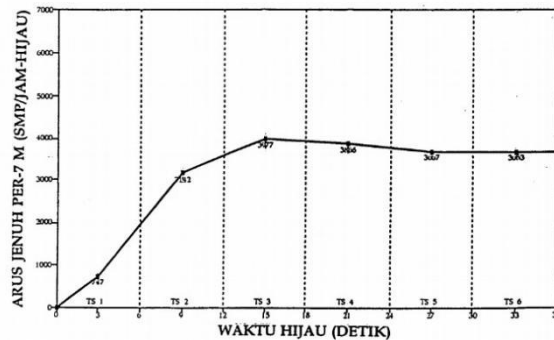
S = Arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp per-jam hijau)

g = Waktu hijau (det)

c = Waktu siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap (yaitu antara dua awal hijau yang berurutan pada fase yang sama).

Oleh karena itu perlu diketahui atau ditentukan waktu sinyal dari simpang agar dapat menghitung kapasitas dan ukuran perilaku lalu-lintas lainnya. Pada rumus di atas, arus jenuh dianggap tetap selama waktu hijau. Meskipun demikian dalam kenyataannya, arus berangkat mulai dari 0 pada awal waktu hijau dan mencapai nilai puncaknya setelah 10-15 detik. Nilai ini akan menurun sedikit sampai akhir waktu hijau, lihat gambar di bawah ini. Arus berangkat juga terus berlangsung

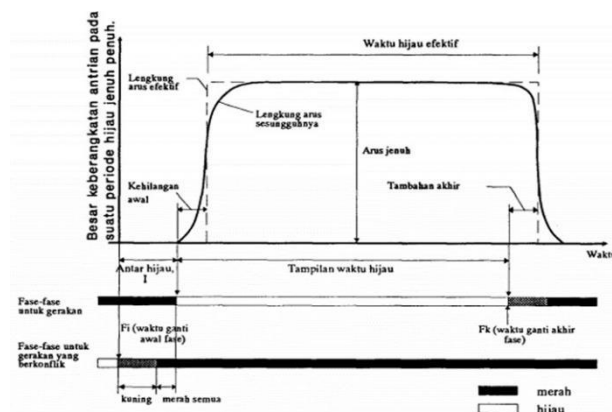
selama waktu kuning dan merah-semua hingga turun menjadi 0 yang biasanya terjadi 5 - 10 detik setelah awal sinyal merah.



Gambar 2.3 Arus Jenuh yang Diamati Per Selang Waktu Enam Detik

Sumber : PKJI, 2023

Permulaan arus berangkat menyebabkan terjadinya apa yang disebut sebagai kehilangan awal dari waktu hijau efektif, arus berangkat setelah akhir waktu hijau menyebabkan suatu tambahan akhir dari waktu hijau efektif, dapat dilihat pada Gambar. Jadi besarnya waktu hijau efektif, yaitu lamanya waktu hijau di mana arus berangkat terjadi dengan besaran tetap sebesar S .



Gambar 2.4 Model Dasar untuk Arus Jenuh

Sumber : PKJI, 2023

g. Prosedur Perhitungan Simpang Bersinyal

Dalam PKJI 2023, arus lalu lintas jam perencanaan (qJP) harus dihitung menggunakan nilai K yang berlaku dan LHRT yang representatif. LHRT didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama satu tahun, atau jika diprediksi, maka harus mengacu kepada ketentuan perkiraan yang berlaku.

$$qJP = LHRT \times K \dots\dots\dots(2.10)$$

Arus lalu lintas (q) dinyatakan dalam SMP/jam untuk satu atau lebih periode, misalnya pada periode jam puncak pagi, siang, atau sore. Arus lalu lintas dalam kend/jam dikonversi menjadi satuan SMP/jam menggunakan nilai EMP yang sesuai dengan masing-masing pendekatan yaitu terlindung atau terlawan. Dalam satu pendekatan bisa terjadi dua tipe pendekatan yang berbeda dengan fase yang berbeda. Jika hal ini ditemui, maka nilai EMP yang digunakan juga menjadi dua, sesuai tipe pendekatan masing-masing fase tersebut. Untuk masing-masing pendekatan rasio kendaraan belok kiri ($RBKi$) dan rasio belok kanan ($RBKa$) didapatkan dari rumus berikut:

$$RBKi = qBK_i / q_{Total} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$RBKa = qBK_a / q_{Total} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk rasio kendaraan tak bermotor dengan membagi arus kendaraan tak bermotor ($RKTB$) kend/jam dengan arus kendaraan bermotor (RKB) kend/jam didapatkan dengan rumus berikut :

$$RKTB = qKTB \times qKB \dots\dots\dots(2.13)$$

h. Kondisi Arus Lalu-Lintas

Data – data mengenai kondisi lalu lintas dimasukkan kedalam formulir SIG-II dimana perhitungan dilakukan persatuan 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} , belok kanan Q_{RT}) dikonversi dari kendaraan perjam menjadi satuan mobil penumpang (smp) untuk masing-masing pendekatan baik terlindung maupun terlawan. Nilai-nilai koefisien smp selengkapnya dapat dilihat tabel berikut :

Tabel 2.5 Koefisien Kendaraan

Jenis kendaraan	emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
LV (Kendaraan Ringan)	1,00	1,00
HV (Kendaraan Berat)	1,30	1,30
MC (Sepeda Motor)	0,20	0,40

Sumber : PKJI, 2023

Pada masing-masing pendekat yang terdapat arus belok kanan maupun belok kiri harus dihitung rasio kendaraan belok kiri P_{LT} dan rasio belok kanan P_{RT} dengan:

$$P_{RT} = \frac{RT \left(\frac{\text{smp}}{\text{jam}} \right)}{\text{Total} \left(\frac{\text{smp}}{\text{jam}} \right)} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$P_{LT} = \frac{LT \left(\frac{\text{smp}}{\text{jam}} \right)}{\text{Total} \left(\frac{\text{smp}}{\text{jam}} \right)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Rumus bernilai sama untuk pendekat terlawan maupun terlindung:

L_T = Arus lalu lintas yang belok kiri

R_T = Arus lalu lintas yang belok kanan

P_{LT} = Rasio kendaraan belok kiri

P_{RT} = Rasio kendaraan belok kanan

Kemudian untuk kendaraan tidak bermotor yang terdapat pada tiap pendekat dihitung rasionya dengan membagi arus kendaraan tidak bermotor (Q_{UM}) kend/jam dengan arus kendaraan bermotor (Q_{MV}) kend/jam, dimana perhitungan ini berfungsi untuk menentukan faktor penyesuaian hambatan samping pada tiap kode pendekat.

$$P_{UM} = \frac{Q_{um}}{Q_{mv}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

P_{UM} = Rasio kendaraan tidak bermotor

Q_{UM} = Arus kendaraan tidak bermotor (smp/jam)

Q_{MV} = Arus kendaraan bermotor (smp/jam)

2.4 Kinerja Alat Pemberi Isyarat Lampu

2.4.1 Fase Sinyal

Sebagai pedoman awal, pengaturan dua fase dicoba sebagai kejadian dasar, karena biasanya menghasilkan kapasitas yang lebih besar dan tundaan rata-rata lebih rendah dari pada tipe fase sinyal lain dengan pengatur fase yang biasa dengan pengatur fase konvensional. Arus berangkat belok kanan pada fase yang berbeda dari gerakan lurus langsung memerlukan lajur (lajur R_T) terpisah. Pengaturan terpisah gerakan belok kanan biasanya hanya dilakukan berdasarkan pertimbangan kapasitas jika arus melebihi 200 smp/jam. Hal ini dilakukan untuk keselamatan lalu lintas dalam keadaan tertentu.

2.4.2 Waktu Hijau Dan Waktu Hilang

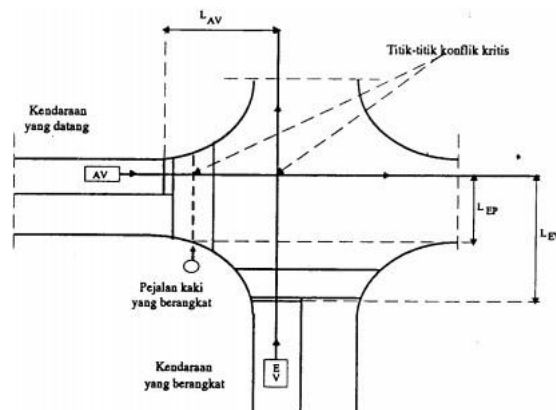
Untuk keperluan analisa operasional dan perencanaan, disarankan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antar hijau untuk waktu pengosongan dan waktu hilang dengan formulir SIG-III. Analisis untuk keperluan perencanaan, nilai normal untuk waktu hijau antara selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Waktu Antar Hijau.

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

Sumber : PKJI, 2023

Waktu merah semua (*all Red*) diperlukan untuk pengosongan pada akhir setiap fase harus memberi kesempatan bagi kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning) berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pertama dari fase berikutnya (melewati garis henti pada awal sinyal hijau) pada titik yang sama. Jadi merah semua (*all red*) merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan datang dari garis henti sampai ke titik konflik dan panjang dari kendaraan berangkat.



Gambar 2.5 Titik Konflik Kritis dan Jarak Untuk Keberangkatan dan Kedatangan

Sumber: PKJI, 2023

Titik konflik kritis pada masing – masing fase (I) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua terbesar.

$$\text{Merah semua } A_t = \left(\frac{(L_{EV} + L_{EP})}{L_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right)_{\text{MAX}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

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

L_{EV} = Panjang kendaraan yang berangkat.

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

Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{EV} , V_{AV} , dan L_{EV} tergantung dari komposisi lalu-lintas dan kondisi jalan pada lokasi. Nilai-nilai berikut untuk sementara dapat dipilih dengan ketiadaan aturan di Indonesia sebagai berikut:

1. Kecepatan kendaraan yang datang $V_{AV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
2. Kecepatan kendaraan yang berangkat $V_{EV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
3m/det (kendaraan tidak bermotor mis. sepeda) 1,2 m/ det (pejalan kaki)
3. Panjang kendaraan yang berangkat $L_{EV} = 5$ m (LV atau HV) 2 m (MC atau UM)

Apabila periode merah semua untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, waktu hilang (LT1) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau :

$$LTI = \sum (\text{Merah Semua} + \text{Kuning})_i = \sum IGi \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

LTI = Waktu hilang

IGi = Waktu antar hijau

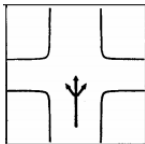
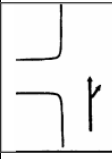
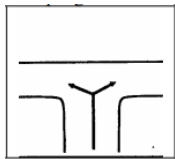
2.4.3 Penentuan Waktu Sinyal

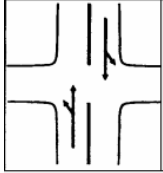
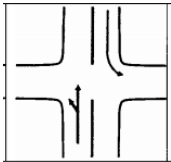
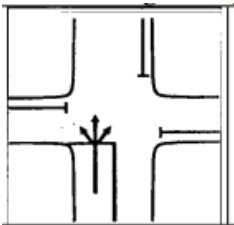
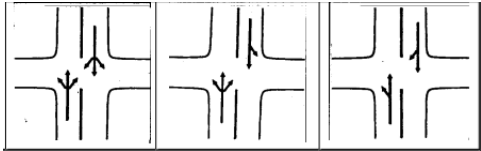
1. Tipe pendekat

Menentukan tipe dari setiap pendekat terlindung (P) atau terlawan (O) dengan melihat dari gambar rencana. Apabila dua gerakan lalu lintas pada suatu pendekat diberangkatkan pada fase yang berbeda harus dicatat pada baris terpisah dan diperlakukan sebagai pendekat dalam perhitungan selanjutnya. Apabila suatu pendekat mempunyai nyala hijau pada dua fase dimana pada keadaan tersebut tipe lajur dapat berbeda untuk masing-masing fase, satu baris sebaiknya digunakan untuk mencatat data masing-masing fase dan satu baris untuk digabungkan pada pendekat tersebut. Tipe pendekat sesuai dengan ketentuan dibedakan menjadi 2 yaitu:

- Terlindung (P) yaitu arus berangkat tanpa konflik antara gerakan lalu lintas (belok kanan dan lurus) dari arah berlawanan.
- Terlawan (O) yaitu arus berangkat dengan konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan, gerakan lurus atau belok kiri dari bagian pendekat dengan lampu hijau pada fase yang sama.

Tabel 2.7 Pola Tipe Pendekat

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 

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola-pola pendekatan	
		Jalan Dua Arah 	Gerakan Belok Kanan Terbatas 
		Jalan Dua Arah, Fase Sinyal Terpisah Untuk Masing-Masing Arah 	
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. 	

Sumber: PKJI, 2023

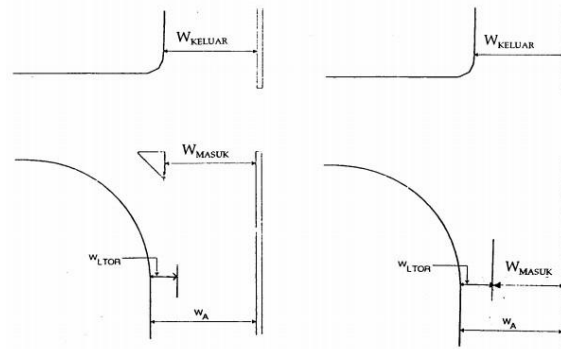
2. Lebar pendekat efektif

Lebar efektif (L_E) dapat dihitung berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (L_A), lebar masuk (L_M) dan lebar keluar (L_K), dan rasio lalu lintas berbelok.

a. Prosedur untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR) Lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)

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

- b. Prosedur untuk pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR) Lebarefektif L_e dapat dihitung untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, penentuan lebar masuk (L_M) sebagaimana di tunjukkan pada Gambar. $L_M = L_A - L_{LTOR}$



Gambar 2.6 Pendekatan dengan Pulau dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

Sumber : PKJI, 2023

Jika $L_{LTOR} \geq 2$ m, hal ini dianggap bahwa kendaraan LTOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah.

- 1) Langkah 1, keluarkan lalu-lintas belok-kiri langsung Q_{LTOR} dari perhitungan selanjutnya pada Formulir SIG-IV (yaitu $Q = Q_{ST} + Q_{RT}$)
Tentukan lebar pendekat efektif sebagai berikut:

$$W_e = \min \left\{ \begin{array}{l} W_A - W_{LTOR} \\ W_{Masuk} \end{array} \right. \dots \dots \dots (2.19)$$

- 2) Langkah A-2, memeriksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P) jika $W_{Keluar} < W_e \times (1 - P_{RT})$, W_e sebaiknya diberi nila baru sama dengan W_{Keluar} , dan analisa penentuan waktusinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu-lintas lurus saja (yaitu $Q = Q_{ST}$).

Jika $W_{LTOR} < 2$ m, dalam hal ini dianggap bahwa kendaraan LTOR tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal lemah.

- 1) Langkah B-1, sertakan Q_{LTOR} pada perhitungan selanjutnya.

$$W_e = \min \left\{ \begin{array}{l} W_A \\ W_{MASUK} + W_{LTOR} \\ W_A \times (1 + P_{LTOR} - W_{LTOR}) \end{array} \right. \dots \dots \dots (2.20)$$

2) Langkah B-2, periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P). Jika $W_{\text{Keluar}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}} - P_{\text{LTOR}})$, W_e sebaiknya diberinilai baru yang sama dengan W_{KELUAR} , dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalulintas lurus saja (yaitu $Q = Q_{\text{ST}}$).

3. Arus jenuh dasar

Arus jenuh dasar (J_0) ditentukan untuk setiap pendekat seperti diuraikan dibawah ini, untuk pendekat tipe P (arus terlindung) digunakan persamaan:

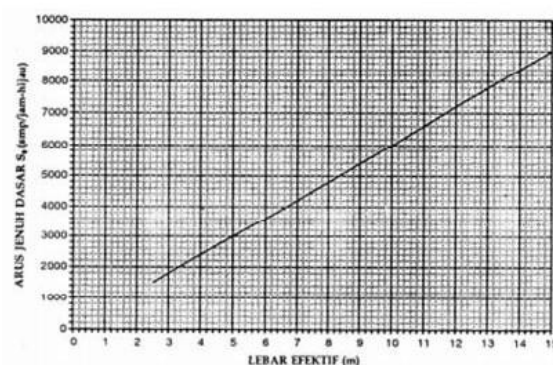
$$J_0 = 600 \times L_e \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana:

J_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

L_e = Lebar pendekat efektif (m)

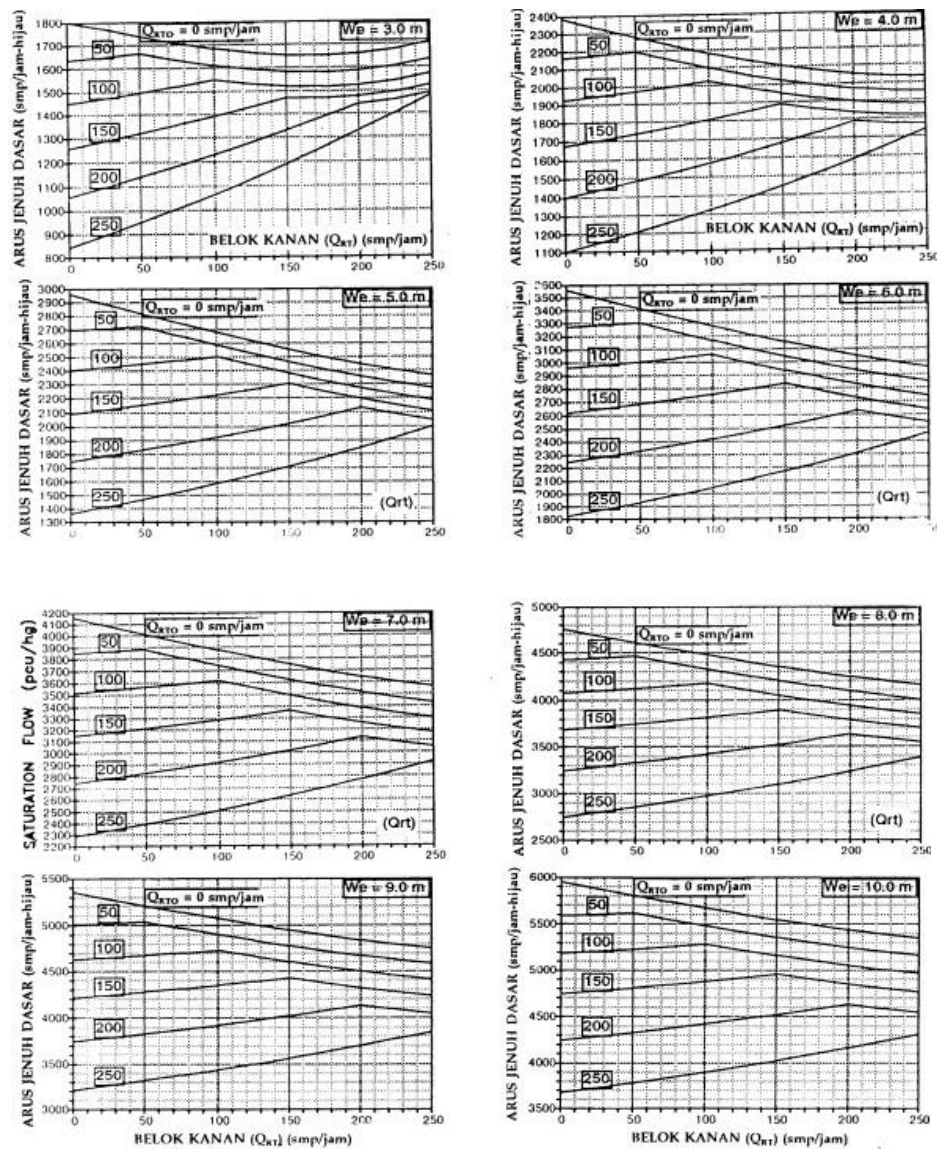
Atau dapat ditentukan dengan menggunakan grafik dibawah ini.



Gambar 2. 7 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat P

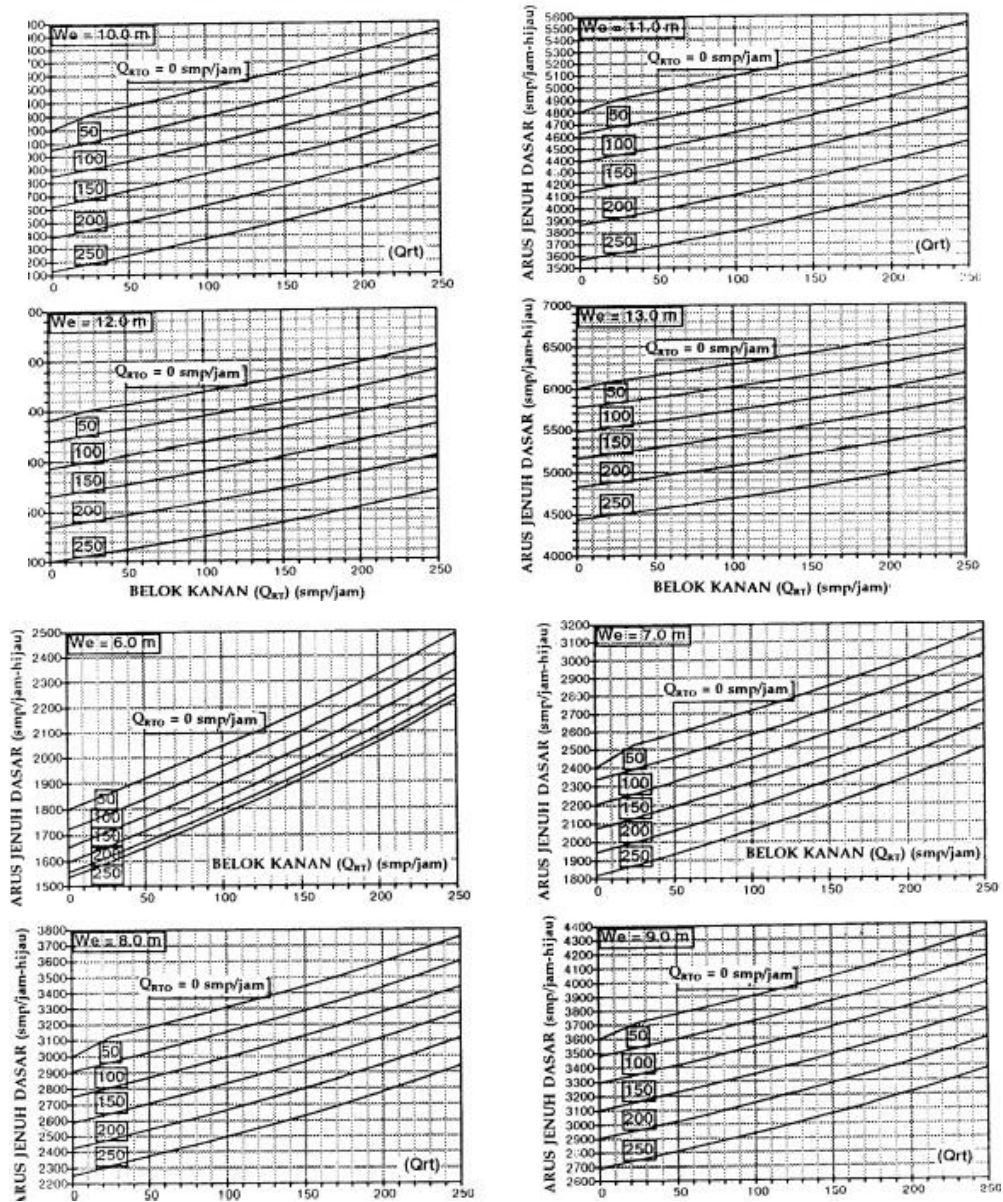
Sumber: PKJI, 2023

Untuk pendekat tipe O, arus jenuh dasar (J_0) ditentukan berdasarkan 2 grafik, yaitu grafik untuk pendekat tanpa lajur belok- kanan terpisah dan grafik untuk pendekat dengan lajur belok kakan terpisah) sebagai fungsi dari L_e , Q_{RT} , dan Q_{RTO} . Gunakanlah gambar-gambar tersebut untuk mendapatkan nilai arus jenuh pada keadaan dimana lebar pendekat lebih besar dan lebih kecil dari W sesungguhnya dan hitung hasil dengan interpolasi.



Gambar 2. 8 Pendekat-Pendekat Tipe O Tanpa Belok Kanan Terpisah

Sumber : PKJI, 2023



Gambar 2. 9 Pendekat-Pendekat Tipe O Dengan Belok Kanan Terpisah

Sumber : PKJI, 2023

4. Faktor penyesuaian

Nilai faktor penyesuaian untuk menentukan arus jenuh dasar pada pendekatan tipe P dan O adalah sebagai berikut:

a. Faktor penyesuaian dari ukuran kota (F_{cs})

Sebagai fungsi dari ukuran kota, berikut faktor penyesuaian kota pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.8 Penyesuaian Ukuran Kota

Penduduk (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: PKJI, 2023

b. Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{SF})

Sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor.

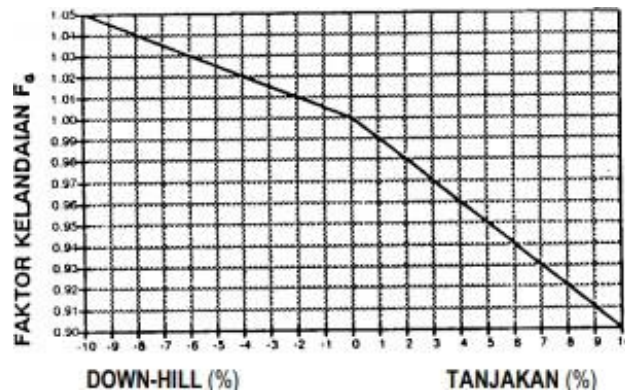
Tabel 2.9 Faktor Penyesuaian untuk Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tak Bermotor (F_{SF})

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
	Tinggi	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
	Sedang	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
	Rendah	Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
	Tinggi	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
	Sedang	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
	Rendah	Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	T/S/R	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	T/S/R	Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: PKJI, 2023

c. Faktor penyesuaian kelandaian

Sebagai fungsi dari kelandaian, berikut faktor penyesuaian kelandaian pada grafik dibawah ini.



Gambar 2.10 Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian (F_G)

Sumber: PKJI, 2023

d. Faktor penyesuaian parkir

Sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. Faktor ini juga diterapkan untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Tetapi hal ini tidak perlu diterapkan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar.

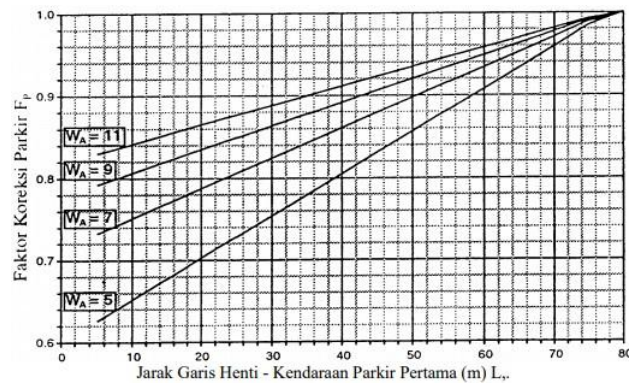
$$F_p = \frac{\frac{L_p}{3} - \frac{(L - 2) \times (\frac{L_p}{3} - W_H)}{L}}{W_H} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

L_p = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama (m) (atau panjang dari lajur pendek)

L = Lebar pendekat (m)

W_H = Waktu hijau pada pendekat



Gambar 2.11 Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_p)
Sumber: PKJI, 2023

e. Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa})

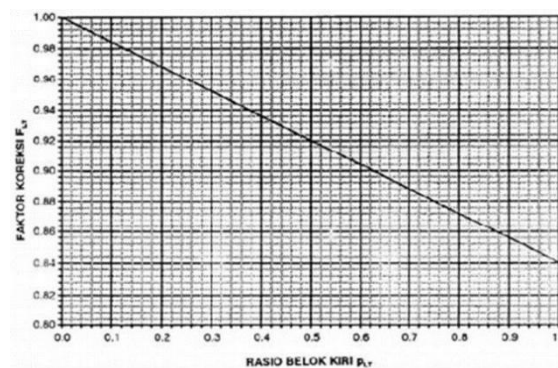
Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan sebagai fungsi dan rasio kendaraan belok kanan F_{BKa} . Persamaan dan gambar berikut ini digunakan untuk pendekatan tipe terlindung (P). tanpa median dan jalan dua arah, lebar efektifnya ditentukan oleh lebar masuk.

$$F_{BKa} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

P_{RT} = Faktor kendaraan belok kanan



Gambar 2.12 Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Belok Kiri (F_{LT})
Sumber: PKJI, 2023

5. Nilai Arus Jenuh (S) Yang Disesuaikan

Nilai arus jenuh yang disesuaikan dihitung sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan:

F_{HS} = Faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan

F_{UK} = Faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota

F_G = Faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

F_P = Faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama

F_{BK_i} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

F_{BK_a} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

Jika suatu pendekat mempunyai sinyal hijau lebih dari satu fase, yang arus jenuhnya telah ditentukan secara terpisah pada baris yang berbedadalam tabel, maka nilai arus jenuh kombinasi harus dihitung secara proporsional terhadap waktu hijau masing-masing fase.

6. Rasio arus jenuh

Data – data arus lalu lintas pada masing-masing pendekat (Q) untuk pendekat terlindung (P) atau untuk pendekat terlawan (O). Hasilnya dimasukkan ke dalam baris untuk fase gabungan tersebut. Rasio arus ($R_{q/J}$) masing-masing pendekat dihitung. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$R_{q/J} = q/J \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

q = Arus lalu lintas masing-masing pendekat (smp/jam)

J = Arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam)

7. Waktu siklus sebelum penyesuaian

Waktu siklus sebelum penyesuaian (S) dihitung untuk pengendalian waktu tetap, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini atau dengan menggunakan grafik pada Gambar dibawah .

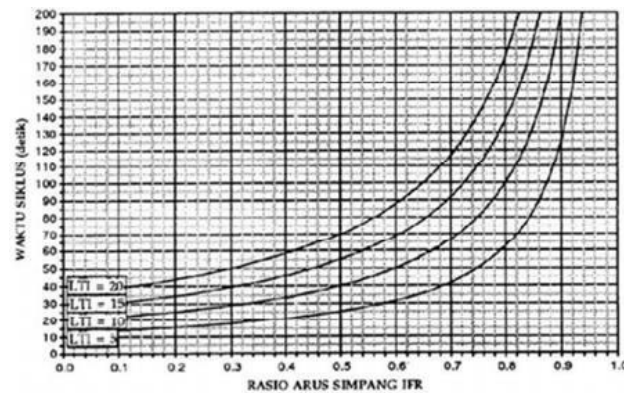
$$S = (1,5 \times WHH + 5) / (1 - \Sigma R_q/J_{kritis}) \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

S = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)

WHH = Waktu hilang total per siklus (det)

R_q/J = Rasio arus



Gambar 2.13 Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Sumber: PKJI, 2023

Jika alternatif rencana fase sinyal dievaluasi, maka yang menghasilkan nilai terendah dari $(R_q/J + LT / c)$ adalah yang paling efisien.

Tabel 2.10 Waktu Siklus yang Disarankan untuk Keadaan yang Berbeda

Tipe pengaturan	Waktu siklus yang layak (det)
dua-fase	40 – 80
tiga-fase	50 – 100
empat-fase	90 - 130

Sumber: PKJI, 2023

8. Waktu Hijau

Waktu hijau pada masing-masing fase dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$G_i = (S - WHH) \times PR_i \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

G_i = Tampilan waktu hijau pada fase i (det)

C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian (det)

WHH = Waktu total hilang per siklus

$PR_i = \text{Rasio fase } FR_{crit} / \Sigma FR_{crit}$

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.

9. Waktu siklus yang disesuaikan

Waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasarkan pada waktu hijau dan waktu hilang (LTI) yang diperoleh, dan hasilnya dimasukkan pada bagian terbawah dalam kotak dengan tanda waktu siklus yang disesuaikan.

Waktu siklus yang disesuaikan diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$c = \Sigma g + LT \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

c = Waktu siklus

LTI = Waktu hilang

g = Waktu hijau

2.4.4 Kapasitas

Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tatap pada suatu bagian jalan dalam kondisi geometrik, lingkungan dan komposisi lalu lintas tertentu. Kapasitas dinyatakan dalam kend/ jam.

1. Kapasitas persimpangan

Kapasitas pada masing-masing pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C = S \times g / c \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau (S x GR)

S = Nilai arus jenuh

c = Waktu siklus

g = Waktu hijau

Derajat kejenuhan, DS untuk masing-masing pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$DS = Q / C \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

DS = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau (S x GR)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Sebagai kontrol jika penentuan waktu sinyal sudah dikerjakan secara benar, DS akan hampir sama dalam semua pendekat – pendekat kritis.

2. Keperluan untuk perubahan

Jika waktu siklus yang dihitung lebih besar dari batas atas yang disarankan pada bagian yang sama, derajat kejenuhan (DS) umumnya juga lebih tinggi dari 0,85. Ini berarti bahwa simpang tersebut mendekati lewat jenuh, yang akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu-lintas puncak. Kemungkinan untuk menambah kapasitas simpang melalui salah satu dari tindakan berikut, oleh karenanya harus dipertimbangkan:

a. Penambahan lebar pendekat

Jika mungkin untuk menambah lebar pendekat, pengaruh terbaik dari tindakan seperti ini akan diperoleh jika pelebaran dilakukan pada pendekat – pendekat dengan nilai FR kritis tertinggi

b. Perubahan fase sinyal

Jika pendekat dengan arus berangkat terlawan (tipe O) dan rasio belok kanan (PRT) tinggi menunjukkan nilai FR kritis yang tinggi ($FR > 0,8$), suatu rencana fase alternatif dengan fase terpisah untuk lalu-lintas belok-kanan mungkin akan sesuai. Penerapan fase terpisah untuk lalu- lintas belok kanan mungkin harus disertai dengan tindakan pelebaran juga. Jika simpang dioperasikan dalam empat fase dengan arus berangkat terpisah dari masing-masing pendekat, karena rencana fase yang hanya dengan dua fase mungkin memberikan kapasitas lebih tinggi, asalkan gerakan-gerakan belok kanan tidak terlalu tinggi (< 200 smp/jam).

c. Pelarangan gerakan-gerakan belok kanan

Pelarangan bagi satu arah lebih gerakan belok kanan biasanya menaikkan kapasitas terutama jika hal itu menyebabkan pengurangan jumlah fase yang diperlukan.

2.4.5 Panjang Antrian

Panjang antrian adalah jumlah rata – rata kendaraan dalam suatu pendekatan pada saat awal sinyal hijau. Jumlah antrian smp (NQ1) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk $DS > 0,5$

$$NQ_1 = 0,25 \times c \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \dots \dots \dots (2.31)$$

Untuk $DS < 0,5$; $NQ_1 = 0$

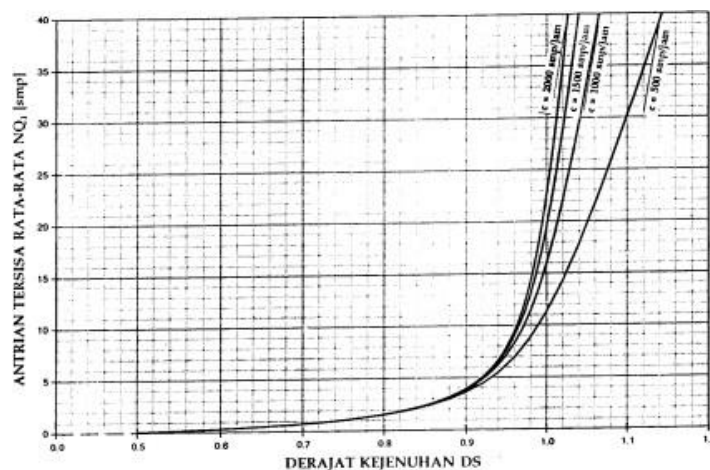
Dimana :

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau

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



Gambar 2.14 Jumlah Kendaraan Antri (smp) yang Tersisa dari Fase Hijau Sebelumnya (NQ_1).
Sumber: PKJI, 2023

Jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana:

NQ2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio Hijau

c = Waktu siklus (det)

Qmasuk = Arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam) Penjumlahan kendaraan antri dapat dihitung dengan menjumlahkan NQ1 dan NQ2 dengan persamaan :

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots (2.33)$$

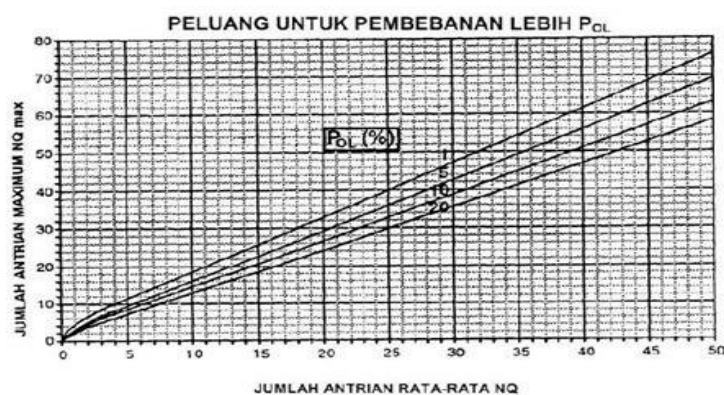
Dimana:

NQ = Jumlah kendaraan antri

NQ1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

NQ 2 = Jumlah smp datang selama fase merah

Untuk menyesuaikan nilai NQ dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih POL (%) dan didapat NQMAX. Untuk perancangan dan perencanaan disarankan $POL \leq 5\%$, untuk operasi suatu nilai $POL = 5-10\%$ mungkin dapat diterima. Nilai NQMAX diperoleh berdasarkan grafik pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Perhitungan Jumlah Antrian (NQ_{MAX}) dalam smp.
Sumber: PKJI, 2023

Untuk menghitung panjang antrian pada masing-masing kaki persimpangan digunakan persamaan sebagai berikut :

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana :

QL = Panjang antrian (m)

NQ_{MAX} = Jumlah kendaraan antri

W_{MASUK} = Jumlah kendaraan antri

2.4.6 Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) masing-masing pendekat yang didefinisikan sebagai jumlah rata-rata berhenti per smp (termasuk berhenti berulang dalam antrian) sebelum melewati persimpangan, dihitung dengan persamaan

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana :

NS = Laju henti

C = Waktu siklus (det)

NQ = Jumlah kendaraan antri

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

2.4.7 Tundaan

1. Tundaan adalah waktu menunggu yang disebabkan interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Menghitung tundaan lalulintas rata-rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang sebagai berikut (berdasarkan pada Akcelik 1988). Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana :

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

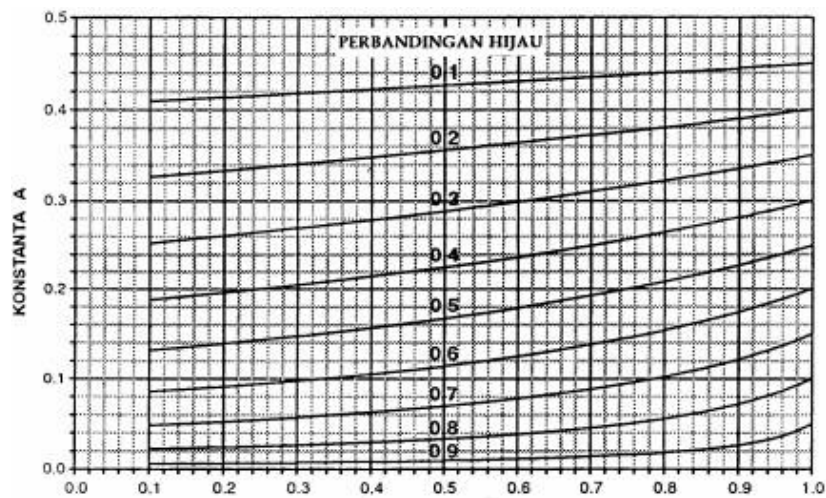
C = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

$A = \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)}$

GR = Rasio hijau (g/c) DS = derajat Kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam)

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya



Gambar 2.16 Penetapan Tundaan Lalu Lintas Rata-Rata (DT).

Sumber: PKJI, 2023

2. Tundaan geometrik rata – rata (DG) untuk masing – masing pendekat yang diakibatkan adanya perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang atau ketika dihentikan oleh lampu merah. Perhitungan ini menggunakan persamaan :

$$DG_j = (1 - PSV) \times P_T \times 6 + (PSV \times 4) \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana :

DG_j = Tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

PSV = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat = $\text{Min} (NS=1)$

P_T = Rasio Kendaraan berbelok pada pendekat

3. Tundaan rata-rata (D) adalah tundaan lalu lintas rata-rata ditambah dengan tundaan geometrik rata-rata, perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = DT + DG \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana :

D = Tundaan rata-rata

DT = Tundaan lalu lintas rata – rata (det/ smp)

DG = Tundaan geometrik rata – rata untuk pendekat j (det/smp)

4. Tundaaan total adalah tundaan yang didapatkan dengan hasil perkalian antara tundaan rata-rata (D) dengan arus lalu lintas (Q), perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{TundaanTotal} = D \times Q \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana :

D Total = Tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

D = Tundaan rata – rata (det/ smp)

Q = Arus lalu lintas (smp/ jam)

5. Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (DI). Dihitung dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total (QTOT) perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DI = \frac{D_{total}}{Q_{total}} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

DI = Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (det/smp)

D = Tundaan rata – rata

Q = Arus lalu lintas (smp/ jam)

2.5 Tingkat Pelayanan Jalan

Menurut (PKJI 2023), perilaku lalu lintas diwakili oleh tingkat pelayanan *Level of Service (LOS)* yaitu ukuran kualitatif yang mencerminkan persepsi pengemudi tentang kualitas mengendarai kendaraan. Tingkat pelayanan *Level of Service (LOS)* di klasifikasikan sebagai berikut :

1. Tingkat Pelayanan A

Tingkat pelayanan A pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Kondisi arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan tinggi.
- b. Kepadatan lalu lintas sangat rendah dengan kecepatan yang dapat dikendalikan oleh pengemudi berdasarkan batasan kecepatan maksimum atau minimum dan kondisi fisik jalan.
- c. Pengemudi dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkannya tanpa atau dengan sedikit tundaan.

2. Tingkat Pelayanan B

Tingkat pelayanan B pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan mulaidibatasi oleh kondisi lalu lintas.

- b. Kepadatan lalu lintas rendah, hambatan internal lalu lintas belum mempengaruhi kecepatan.
- c. Pengemudi masih punya kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatannya dan jalur jalan yang digunakan.

3. Tingkat Pelayanan C

Tingkat pelayanan C pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Arus stabil tetapi kecepatan dan pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas yang lebih tinggi.
- b. Kepadatan lalu lintas meningkat dan hambatan internal meningkat
- c. Pengemudi memiliki keterbatasan untuk memilih kecepatan, pindah lajur atau mendahului.

4. Tingkat Pelayanan D

Tingkat pelayanan D pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Arus mendekati tidak stabil, volume lalu lintas tinggi, kecepatan masih di tolerir namun sangat terpengaruh oleh perubahan kondisi arus lalu lintas.
- b. Kepadatan lalu lintas sedang, fluktuasi volume lalu lintas dan hambatan temporer dapat menyebabkan penurunan kecepatan yang besar (keterbatasan pada arus lalu lintas mengakibatkan kecepatan menurun).
- c. Pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang sangat singkat.

5. Tingkat Pelayanan E

Tingkat pelayanan E pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Arus lebih rendah dari pada tingkat pelayanan D dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan sangat rendah.
- b. Kepadatan lalu lintas tinggi karena hambatan internal lalu lintas tinggi.
- c. Pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.

6. Tingkat Pelayanan F

Tingkat pelayanan F pada *Level of service* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang.

- b. Kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan volume rendah setelah terjadi kemacetan untuk durasi yang cukup lama.
- c. Dalam keadaan antrian, kecepatan maupun volume turun sampai 0.

Tabel 2.11 Tingkat Pelayanan Jalan Berdasarkan Tundaan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	< 5	Baik Sekali
B	5,1 - 15	Baik
C	15,1 - 25	Sedang
D	25,1 - 40	Kurang
E	40,1 - 60	Buruk
F	> 60	Buruk Sekali

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.12 Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Operasi Jalan Arteri Sekunder dan Jalan Kolektor Sekunder

Tingkat Pelayanan	Karakteristik	Batas Lingkup (Q/C)
A	Kondisi lalu lintas dengan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan	0,00 – 0,20
B	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai diatasi oleh kondisi lalu lintas, pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan	0,21 – 0,44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan, pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan	0,45 – 0,74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan. Q/C masih ditolelir	0,75 – 0,84
E	Volume lalu lintas mendekati atau berada pada kapasitas, arus tidak stabil, kecepatan terkadang terhenti	0,85 – 1,00
F	Arus yang dipaksakan atau macet, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang dan terjadi hambatan – hambatan besar	>1,00

Sumber : PKJI, 2023