

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)

Manual Kapasitas Jalan Indonesia memuat fasilitas jalan perkotaan dan semi perkotaan dan jalan luar kota dan jalan bebas hambatan. Manual ini menggantikan manual sementara untuk fasilitas lalu lintas perkotaan (Januari 1993) jalan luar kota (Agustus 1994) yang telah diterbitkan lebih dahulu dalam proyek MKJI. Tipe fasilitas yang tercakup dan ukuran penampilan lalu lintas (perilaku lalu – lintas) selanjutnya disebut perilaku lalu lintas atau kualitas lalu lintas.

MKJI dapat diterapkan sebagai sarana dalam perancangan, perencanaan dan analisa operasional fasilitas lalu – lintas dari simpang bersinyal, simpang tak bersinyal, bagian jaringan, bundaran dan ruas jalan (jalan perkotaan, jalan luar kota, jalan bebas hambatan). Selain itu, manual direncanakan terutama agar pengguna dapat memperkirakan perilaku lalu-lintas dari suatu fasilitas pada kondisi lalu – lintas, geometrik dan keadaan lingkungan tertentu.

Dengan melakukan perhitungan bersambung yang menggunakan data yang disesuaikan, untuk keadaan lalu lintas yang dapat diterima. Dengan cara yang sama, penurunan kinerja dari suatu fasilitas lalu lintas sebagai akibat dari pertumbuhan lalulintas yang dapat dianalisa, sehingga waktu yang diperlukan untuk tindakan seperti peningkatan kapasitas dapat juga ditentukan.

2.2 Prosedur Perhitungan Simpang Bersinyal

Simpang-simpang bersinyal adalah bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai atau sinyal aktual kendaraan terisolir. Dalam analisis simpang bersinyal biasanya memerlukan metode dan perangkat lunak khusus, seperti program bantuan KAJI.

Kapasitas simpang dapat ditingkatkan dengan menerapkan aturan prioritas sehingga simpang dapat digunakan secara bergantian. Dalam mengatasi hambatan yang tinggi pada saat jam – jam sibuk dapat dibantu oleh petugas lalu – lintas

namun bila volume lalu – lintas meningkat sepanjang waktu diperlukan sistem pengendalian untuk seluruh waktu (*full time*) yang dapat bekerja secara otomatis. Pengendalian tersebut dapat menggunakan alat isyarat lalu lintas (*traffic signal*) atau sinyal lalu lintas.

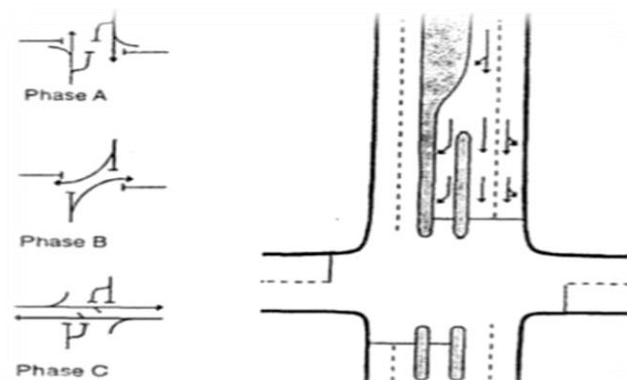
Dalam prosedur perhitungan simpang bersinyal ini menjelaskan tata cara untuk menentukan waktu sinyal, kapasitas dan perilaku lalu – lintas (tundaan, panjang antrian dan rasio kendaraan terhenti) pada simpang bersinyal di daerah perkotaan atau semi perkotaan berdasarkan data di lapangan yang selanjutnya dapat diolah sesuai urutan pengerjaan hingga didapatkan hasilnya berupa nilai LOS (*Level of Service*) yang diharapkan.

2.3 Karakteristik Jalan Raya

2.3.1 Kondisi 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.



Gambar 2.1 Kondisi geometrik pengaturan lalu lintas

(Sumber: MKJI, 1997)

Data kondisi geometrik yang didapat dari lapangan eksisting yaitu :

1. Tipe Jalan, berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja berbeda pada pembebanan lalu lintas tertentu.
2. Lebar jalur lalu lintas, kecepatan arus bebas dan kapasitas akan meningkat dengan penambahan lebar jalur lalu lintas.
3. Kereb, sebagai batas antara jalur lalu lintas dan trotoar yang berpengaruh terhadap dampak hambatan samping pada kapasitas dan kecepatan.
4. Bahu, jalan perkotaan umumnya tanpa kereb tapi mempunyai bahu pada kedua sisi jalur lalu lintasnya.
5. Median, yang direncanakan dengan baik dapat meningkatkan kapasitas.
6. Alinyemen jalan, lengkung horizontal dengan jari-jari kecil mengurangi kecepatan arus bebas.

2.3.2 Klasifikasi kendaraan

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) dikonversikan menjadi satuan mobil penumpang (smp), yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan sebagai berikut :

1. Kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor 2 as beroda 4 dengan jarak as 2,0 – 3,0 m. Meliputi : mobil penumpang, oplet, mikrobis, pick up dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi bina marga.
2. Kendaraan berat (HV) adalah kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,5 m, dan biasanya beroda lebih dari 4. Meliputi : bus, truk 2 as, truk 3 as, dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi bina marga.
3. Sepeda motor (MC) adalah kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda. Meliputi sepeda motor dan kendaraan roda 3 sesuai sistem klasifikasi bina marga.
4. Kendaraan tidak bermotor (UM) adalah kendaraan roda yang digerakkan oleh orang atau hewan. Meliputi : sepeda, becak, kereta kuda sesuai sistem klasifikasi bina marga.

2.3.3 Satuan Mobil Penumpang (smp)

Setiap jenis kendaraan mempunyai karakteristik pergerakan yang berbeda, karena dimensi, kecepatan percepatan maupun kemampuan manuver masing - masing tipe kendaraan berbeda disamping itu juga pengaruh geometrik jalan. Oleh karena itu, untuk menyamakan satuan masing masing jenis kendaraan digunakan satuan yang bisa dipakai dalam perencanaan lalu lintas yang disebut Satuan Mobil Penumpang (smp). Besaran smp yang direkomendasikan sesuai dengan hasil penelitian IHCM (*Indonesian Highway Capacity Manual*) atau MKJI dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Faktor Satuan Mobil Penumpang (smp)

No.	Jenis Kendaraan	Kelas	smp	
			Ruas	Simpang
1.	Kendaraan Ringan – Sedan/Jeep – Opelet – Mikro Bus – Pick Up	LV	1,0	1,0
2.	Kendaraan Berat – Bus Standar – Truk Sedang – Truk Berat	HV	1,2	1,3
3.	Sepeda Motor	MC	0,25	0,4
4.	Kendaraan Tak Bermotor – Becak – Sepeda – Gerobak, dan lain-lain	UM	0,8	1,0

(Sumber: MKJI, 1997)

2.3.4 Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan

Ukuran Indonesia serta keanekaragaman dan tingkat perkembangan daerah perkotaan menunjukkan bahwa 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 (MKJI, 1997).

2.4 Persimpangan

Berdasarkan MKJI (1997), persimpangan adalah pertemuan dua jalan atau lebih yang bersilangan. Umumnya simpang terdiri dari simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalu lintas jalan, persimpangan adalah pertemuan atau percabangan jalan, baik sebidang maupun yang tidak sebidang. Hobbs (1995) mendefinisikan persimpangan jalan merupakan simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekatan dimana arus kendaraan dari beberapa pendekatan tersebut bertemu dan memencar meninggalkan persimpangan.

Lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya. Persimpangan merupakan faktor-faktor yang paling penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan pada suatu jaringan jalan, khususnya di daerah perkotaan.

2.4.1 Jenis simpang

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (1997), pemilihan jenis simpang untuk suatu daerah sebaiknya berdasarkan pertimbangan ekonomi, pertimbangan keselamatan lalu lintas, dan pertimbangan lingkungan. Jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu (Morlok, 1991) :

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.

2.4.2 Macam-macam simpang

Berdasarkan bentuknya jenis persimpangan dibagi 2 (dua), yaitu (Morlok, 1991) :

1. Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalan yang dapat belawan dengan lalu lintas lainnya
2. Persimpangan tak sebidang, yaitu memisah-misahkan lalu lintas pada jalur yang berbeda sedemikian rupa sehingga persimpangan jalur dari kendaraan-kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan-kendaraan memisah dari atau bergabung menjadi satu lajur gerak yang sama. (contoh: jalan layang), karena kebutuhan untuk menyediakan gerakan membelok tanpa berpotongan, maka dibutuhkan tikungan yang besar dan sulit serta biayanya yang mahal.

2.4.3 Karakteristik simpang

Menurut Hariyanto (2004), dalam perencanaan suatu simpang, kekurangan dan kelebihan dari simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal harus dijadikan suatu pertimbangan. Adapun karakteristik simpang bersinyal dibandingkan simpang tak bersinyal adalah sebagai berikut :

1. Kemungkinan terjadinya kecelakaan dapat ditekan apabila tidak terjadi pelanggaran lalu lintas.
2. Lampu lalu lintas lebih memberi aturan yang jelas pada saat melalui simpang.
3. Simpang bersinyal dapat mengurangi konflik yang terjadi pada simpang, terutama pada jam sibuk.
4. Pada saat lalu lintas sepi, simpang bersinyal menyebabkan adanya tundaan yang seharusnya tidak terjadi.

2.4.4 Pengendalian simpang

Tujuan dari pengendalian persimpangan adalah mengurangi potensi konflik di antara kendaraan (termasuk pejalan kaki) dan sekaligus menyediakan kenyamanan maksimum dan kemudahan pergerakan bagi kendaraan. Berikut ini adalah empat elemen dasar yang umumnya dipertimbangkan dalam merancang persimpangan sebidang:

1. Faktor manusia, seperti kebiasaan mengemudi, dan waktu pengambilan keputusan dan waktu reaksi.
2. Pertimbangan lalu – lintas, seperti kapasitas dan pergerakan membelok, kecepatan kendaraan, dan ukuran serta penyebaran kendaraan.
3. Elemen – elemen fisik, seperti karakteristik dan penggunaan dua fasilitas yang saling berdampingan, jarak pandang dan fitur – fitur geometris.
4. Faktor ekonomi, seperti biaya, manfaat, dan konsumsi energi.

Menurut Ofyar Z Tamin (2000), persimpangan merupakan tempat sumber konflik lalu lintas yang rawan terhadap kecelakaan karena terjadi konflik antara kendaraan dengan kendaraan lainnya ataupun antara kendaraan dengan pejalan kaki. Oleh karena itu merupakan aspek penting didalam pengendalian lalu lintas. Masalah utama yang saling kait mengkait pada persimpangan adalah :

1. Volume dan kapasitas, yang secara lansung mempengaruhi hambatan.
2. Desain geometrik dan kebebasan pandang
3. Kecelakaan dan keselamatan jalan, kecepatan, lampu jalan
4. Parkir, akses dan pembangunan umum
5. Pejalan kaki jarak antar simpang

Sasaran yang harus dicapai pada pengendalian persimpangan antara lain adalah (Abubakar, 1995) :

1. Mengurangi atau menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh adanya titik-titik konflik seperti : berpeancar (*diverging*), bergabung (*merging*), berpotongan (*crossing*), dan bersilangan (*weaving*).
2. Menjaga agar kapasitas persimpangan operasinya dapat optimal sesuai dengan rencana.

3. Harus memberikan petunjuk yang jelas dan pasti serta sederhana, dalam mengarahkan arus lalu lintas yang menggunakan persimpangan.

Dalam upaya meminimalkan konflik dan melancarkan arus lalu lintas ada beberapa metode pengendalian persimpangan yang dapat dilakukan, yaitu :

1. Persimpangan prioritas

Metode pengendalian persimpangan ini adalah memberikan prioritas yang lebih tinggi kepada kendaraan yang datang dari jalan utama dari semua kendaraan yang bergerak dari jalan kecil (jalan minor).

2. Persimpangan dengan lampu pengatur lalu lintas

Metode ini mengendalikan persimpangan dengan suatu alat yang sederhana (manual, mekanis dan elektrik) dengan memberikan prioritas bagi masing-masing pergerakan lalu lintas secara berurutan untuk memerintahkan pengemudi berhenti atau berjalan.

3. Persimpangan dengan bundaran lalu lintas

Metode ini mengendalikan persimpangan dengan cara membatasi alih gerak kendaraan menjadi pergerakan berpencar (*diverging*), bergabung (*merging*), berpotongan (*crossing*), dan bersilangan (*weaving*) sehingga dapat memperlambat kecepatan kendaraan.

4. Persimpangan tidak sebidang

Metode ini mengendalikan konflik dan hambatan di persimpangan dengan cara menaikkan lajur lalu lintas atau di jalan di atas jalan yang lain melalui penggunaan jembatan atau terowongan.

Menurut Abubakar, (1995), perlengkapan pengendalian simpang salah satunya perbaikan kecil tertentu yang dapat dilakukan untuk semua jenis persimpangan yang dapat meningkatkan untuk kerja (keselamatan dan efisien) yang meliputi :

1. Kanalisasi dan pulau – pulau

Unsur desain persimpangan yang paling penting adalah mengkanalisasi (mengarahkan) kendaraan-kendaraan ke dalam lintasan-lintasan yang bertujuan untuk mengendalikan dan mengurangi titik – titik dan daerah konflik. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan marka – marka jalan,

paku – paku jalan (*road stud*), median-median dan pulau-pulau lalu lintas yang timbul.

2. Pelebaran jalur – jalur masuk

Pelebaran jalan yang dilakukan pada jalan yang masuk ke persimpangan, akan memberi kemungkinan bagi kendaraan untuk mengambil ruang antar (*gap*) pada arus lalu lintas di suatu bundaran lalu lintas, atau waktu prioritas pada persimpangan berlampu pengatur lalu lintas.

3. Lajur – lajur percepatan dan perlambatan

Pada persimpangan – persimpangan antar jalan minor dengan jalan-jalan kecepatan tinggi, maka merupakan suatu hal yang penting untuk menghindari adanya kecepatan relatif yang tinggi dari kendaraan kendaraan. Cara yang termudah adalah dengan menyediakan lajur-lajur tersendiri untuk keperluan mempercepat dan memperlambat kendaraan.

4. Lajur – lajur belok kanan

Marka lalu lintas yang membelok ke kanan dapat menyebabkan timbulnya kecelakaan atau hambatan bagi lalu lintas yang bergerak lurus ketika kendaraan tersebut menunggu adanya ruang yang kosong dari lalu lintas yang bergerak dari depan. Hal ini membutuhkan ruang tambah yang kecil untuk memisahkan kendaraan yang belok kanan dari lalu lintas yang bergerak lurus ke dalam suatu lajur yang khusus.

2.4.5 Kinerja persimpangan

Penataan lalu lintas adalah pengelolaan dan pengendalian lalu lintas dengan melakukan optimasi penggunaan prasarana yang ada melalui peredaman atau pengecilan tingkat pertumbuhan lalu lintas, memberikan kemudahan kepada angkutan yang efisien dalam penggunaan ruang jalan serta memperlancar sistem kinerja dari pergerakan. (Rekayasa Lalu Lintas Pedoman Perencanaan dan pengoperasian Lalu Lintas di Wilayah Perkotaan - Direktorat BSLLAK, 1999). Menurut Abubakar, (1995), meningkatkan kinerja pada semua jenis persimpangan dari segi keselamatan dan efisiensi adalah dengan melakukan pelaksanaan dalam pengendalian pada persimpangan.

2.5 Lampu Lalu Lintas (*Traffic Light*)

2.5.1 Prinsip dasar

Konflik antara arus lalu lintas dikendalikan dengan isyarat lampu atau *traffic light*. Konflik dapat dihilangkan dengan melepaskan hanya satu arus lalu lintas, tetapi dapat menyebabkan hambatan yang besar bagi arus – arus dari kaki simpang lainnya. Secara keseluruhan dapat menyebabkan penggunaan simpang menjadi tidak efisien. Untuk itu perlu dipertimbangkan dalam mengalirkan beberapa arus bersamaan untuk efisiensi simpang dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan, sehingga kapasitas simpang menjadi meningkat.

Usaha untuk mengurangi hambatan dan meningkatkan kapasitas simpang dapat dilakukan dengan langkah – langkah berikut :

- a. Menggunakan tahapan fase sesedikit mungkin.
- b. Arus yang masuk di persimpangan harus dapat ditampung.
- c. Alokasi waktu untuk tiap – tiap fase harus sesuai kebutuhan.
- d. Bila memungkinkan dengan simpang yang berdekatan dilakukan koordinasi, sehingga efisiensi dapat ditingkatkan.

Traffic Light berarti pengaturan lalu lintas dengan memakai sinyal dari lampu. Sinyal-sinyal lampu ini terdiri dari tiga macam warna yaitu :

1. Merah (*Red*), artinya keadaan tidak aman, jadi semua kendaraan harus berhenti.
2. Kuning (*Amber*), artinya peralihan antara merah dan hijau, yang mana pada posisi ini semua kendaraan yang sedang berjalan harus hati-hati dan juga bagi yang sedang berhenti harus bersiap-siap untuk berjalan
3. Hijau (*Green*), artinya keadaan aman, kendaraan boleh berjalan.

Warna yang ditunjukkan oleh suatu lampu lalu lintas disebut *signal aspect*. Urutan dari *signal aspect* adalah merah, kuning, hijau. Di Inggris lamanya lampu kuning adalah tiga detik. Matinya lampu hijau pada suatu fase dan nyalanya lampu hijau di phase berikutnya diberi nama *Intergreen Period*. Lamanya *intergreen period* ini berkisar antara empat detik sampai dengan delapan detik, ini tergantung dari konflik yang ada pada setiap masing-masing phase.

Misalnya untuk suatu *phase* yang mempunyai volume kendaraan yang membelok kekanan jumlahnya cukup besar dan pada fase tersebut juga memberikan kesempatan bagi para pejalan kaki untuk menyeberang, maka lamanya *Intergreen Period* biasanya diambil delapan detik.

2.5.2 Fase (*Phase*)

Pengaturan lalu lintas pada suatu persimpangan jalan mempunyai banyak konflik, Hal ini dapat dilakukan dengan pemisahan waktu. Pengaturan pemisahan arus lalu lintas dikenal dengan nama *phase*.

Pemilihan dan penggunaan *phase* terlihat pada kejadian konflik, apabila pada suatu persimpangan ada dua konflik utama dapat diselesaikan dengan dua *phase*, jika ada tiga konflik utama akan diselesaikan dengan tiga *phase*, dan jika ada empat konflik maka diselesaikan dengan empat *phase*, begitu seharusnya.

2.6 Prinsip Umum (MKJI 1997)

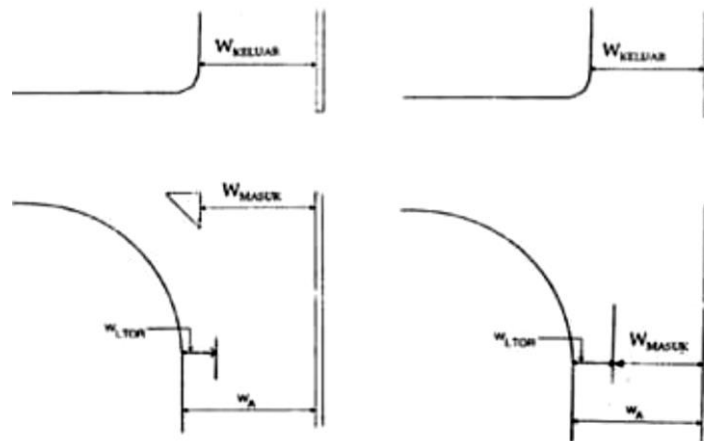
2.6.1 Volume lalu lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik atau garis pada lajur gerak dalam satuan waktu tertentu. Biasanya dihitung dalam kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Pengukuran volume biasanya dilakukan dengan cara manual. Volume lalu-lintas yang diekspresikan dibawah satu jam (sub jam) seperti, 15 menit dikenal dengan istilah *rate of flow* atau nilai arus. Untuk mendapatkan nilai arus dari suatu segmen jalan yang terdiri dari banyak tipe kendaraan, maka semua tipe-tipe kendaraan tersebut harus dikonversikan kedalam satuan mobil penumpang (smp).

2.6.2 Lebar pendekat efektif

Lebar efektif (W_e) dari setiap pendekat berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{masuk}) dan lebar keluar (W_{keluar}). Untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR) lebar keluar harus diperiksa (hanya untuk pendekat tipe P). Jika $W_{keluar} < W_e \times (1 - PRT - PLTOR)$, W_e sebaiknya

diberi nilai baru yang sama dengan W_{keluar} . Analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja ($Q = Q_{ST}$). Untuk penentuan lebar efektif pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR) dapat diperoleh dengan 2 cara, yaitu:



Gambar 2.2 Pendekat Dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

(Sumber: MKJI 1997)

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

Langkah 1 :

Q_{LTOR} dikeluarkan dari hitungan, sehingga:

$$Q = Q_{ST} + Q_{RT} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan lebar pendekat efektif:

$$W_e = \begin{cases} W_A - W_{LTOR} \\ W_{MASUK} \end{cases} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- Q = Arus lalu lintas (smp/jam).
- Q_{ST} = Arus lalu lintas lurus (smp/jam).
- Q_{RT} = Arus lalu lintas belok kanan (smp/jam).
- Q_{LTOR} = Arus lalu lintas belok kiri langsung (smp/jam).
- W_e = Lebar efektif (m).
- W_A = Lebar pendekat (m).
- W_{LTOR} = Lebar belok kiri langsung (m).

Langkah 2 :

Periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P). Jika $W_{keluar} < W_e \times (1 - PRT)$, W_e sebaiknya diberi nilai baru sama dengan W_{keluar} , dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja ($Q=QST$).

2. $W_{LTOR} < 2m$, dengan anggapan kendaraan $LTOR$ tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal merah.

Langkah 1 :

Sertakan $QLTOR$ pada hitungan

$$W_e = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} W_A \\ W_{MASUK} + W_{LTOR} \\ W_A + (1 + P_{LTOR}) - W_{LTOR} \end{array} \right. \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- W_e = lebar efektif (m),
- W_A = lebar pendekat (m),
- W_{Masuk} = lebar masuk (m),
- W_{LTOR} = lebar belok kiri langsung (m),
- P_{LTOR} = rasio kendaraan belok kiri langsung.

Langkah 2 :

Periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P). Jika $W_{keluar} < W_e \times (1 - PRT - PLTOR)$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{keluar} , dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja ($Q = QST$).

2.6.3 Waktu siklus sebelum penyesuaian (C_{ua})

Selang waktu antara nyalanya sinyal hijau pada suatu fase dengan nyalanya hijau berikutnya pada fase yang sama. Untuk menghitung waktu siklus optimum digunakan persamaan sebagai berikut.

$$C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian
- LTI = Waktu hilang
- IFR = Rasio arus simpang

2.6.4 Waktu siklus penyesuaian (c)

Untuk menghitung waktu siklus yang disesuaikan adalah sebagai berikut.

$$c = \Sigma g + LTI \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- c = Waktu siklus penyesuaian
- Σg = Waktu hijau
- LTI = Waktu hilang

Untuk menentukan waktu hijau efektif (GE) digunakan persamaan berikut :

$$GE = Cua - LTI \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- Cua = Waktu siklus sebelum penyesuaian
- LTI = Waktu hilang

Sedangkan untuk menentukan waktu hijau efektif untuk tiap fase digunakan persamaan berikut :

$$GE_{FASE} = \frac{Y_1}{Y_1+Y_2+Y_3+Y_4} \times GE \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- GE_{fase} = Waktu hijau efektif pada salah satu fase (misalkan pada fase 1)
- GE = Waktu hijau efektif
- Y1 = Perbandingan antara *flow* (Q) dan *saturation flow* (S) pada fase 1
- Y2 = Perbandingan antara *flow* (Q) dan *saturation flow* (S) pada fase 2
- Y3 = Perbandingan antara *flow* (Q) dan *saturation flow* (S) pada fase 3
- Y4 = Perbandingan antara *flow* (Q) dan *saturation flow* (S) pada fase 4

Dan untuk menentukan waktu hijau aktual untuk tiap fase digunakan persamaan berikut :

$$\text{Waktu Hijau Arah (i)} = GE(i) + \text{Waktu Mulai dan Berhenti} - \text{Waktu Merah} \dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- GE(i) = Waktu hijau efektif pada salah satu fase (arah)

2.6.5 Arus jenuh dasar

Sebelum menghitung kapasitas diperlukan data arus jenuh dasar dari setiap lengan simpang, akan tetapi yang digunakan adalah lengan simpang yang mengarah lurus dan belok kanan saja. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung arus jenuh dasar untuk pendekat tipe P (arus terlindung) :

$$S_0 = 600 \times W_e \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

S_0 = Arus jenuh dasar
 600 = Faktor pengali
 W_e = Lebar pendekat

Dilanjutkan dengan menghitung nilai arus jenuh yang disesuaikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ smp/jam} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

S_0 = Arus jenuh dasar
 F_{CS} = Faktor penyesuaian penduduk kota
 F_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping
 F_G = Faktor penyesuaian kelandaian
 F_P = Faktor penyesuaian parkir
 F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri
 F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

2.6.6 Faktor penyesuaian

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

A. Faktor penyesuaian ukuran kota

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

Tabel 2.2 Kelas Ukuran Kota (CS)

Penduduk Kota (juta jiwa) (Fcs)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (Fcs)	
> 3,0	Sangat Besar	1,05
1,0 - 3,0	Besar	1,00
0,5 - 1,0	Sedang	0,94
0,1 - 0,5	Kecil	0,83
< 0,1	Sangat Kecil	0,82

(Sumber: MKJI, 1997)

B. Faktor penyesuaian hambatan sampung

Tabel 2.3 Faktor Penyesuaian Hambatan Sampung (FSF)

Lingkungan Jalan	Hambatan Sampung	Tipe fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	\geq 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi / Sedang / Rendah	Terlindung	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlawan	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

(Sumber: MKJI, 1997)

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

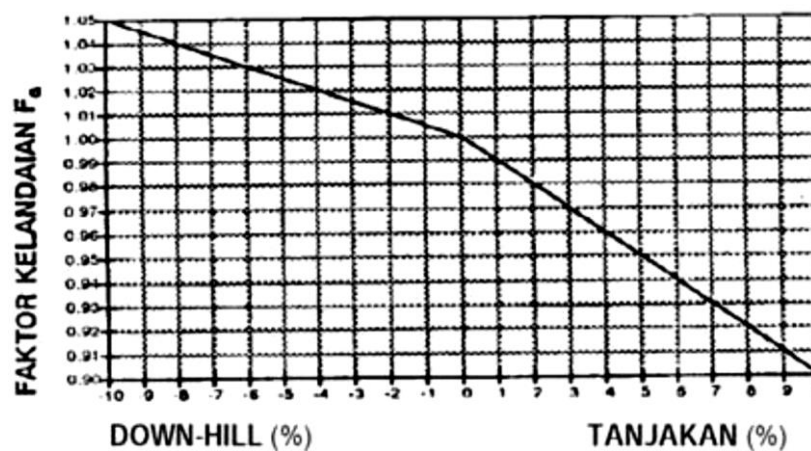
Tabel 2.4 Kelas Hambatan Samping

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

(Sumber: MKJI, 1997)

C. Faktor penyesuaian kelandaian

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

Gambar 2.3 Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian (F_G)

D. Faktor penyesuaian parkir

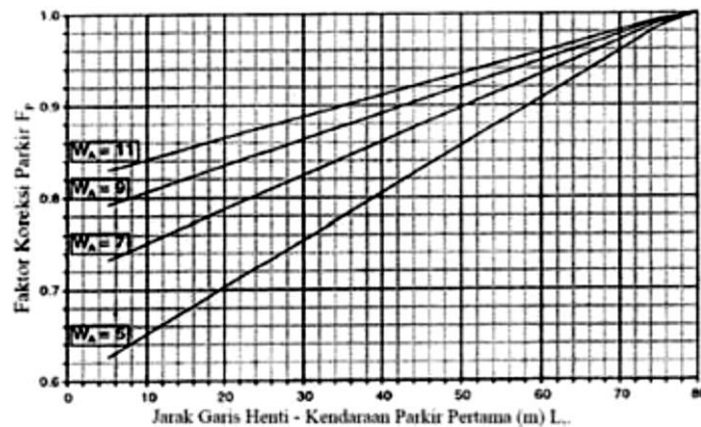
Faktor penyesuaian parkir diperoleh dari grafik sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. Faktor penyesuaian parkir (F_P) dapat dihitung dengan rumus:

$$F_P = \left[\frac{L_p}{3} - (W_A - 2) \times \left(\frac{L_p}{3-g} \right) / W_A \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

- F_P = Faktor penyesuaian parkir.
- L_P = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama(m).
- W_A = Lebar pendekat (m).
- G = Waktu hijau pada pendekat/ *approach* (detik).

Apabila tidak ditemukan kendaraan yang parkir dibadan jalan pada lengan simpang maka $F_P = 1$.



Gambar 2.4 Faktor Penyesuaian untuk Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_P)

E. Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) dan belok kiri (F_{LT})

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

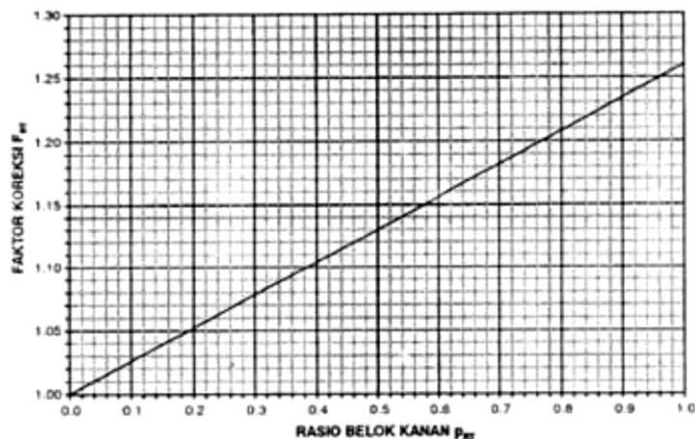
$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$F_{LT} = 1,0 + P_{LT} \times 0,26 \dots\dots\dots(2.13)$$

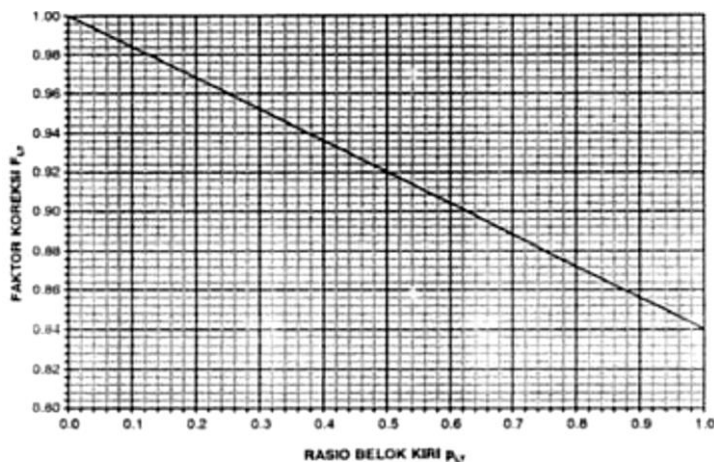
Untuk mendapatkan nilai faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) dan belok kiri (F_{LT}) terlebih dahulu dihitung nilai rasio kendaraan belok kanan (P_{RT}) dan belok kiri (P_{LT}) dengan persamaan sebagai berikut :

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

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



Gambar 2.5 Faktor Penyesuaian untuk Belok Kanan (F_{RT})



Gambar 2.6 Faktor Penyesuaian untuk Belok Kiri (F_{LT})

2.6.7 Rasio arus jenuh

Untuk menghitung rasio arus jenuh digunakan persamaan :

$$FR = Q/S \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

- FR = Rasio arus
- Q = Volume kendaraan (smp/jam)
- S = Kejenuhan (smp/jam)

Dilanjutkan dengan menghitung rasio fase (PR) masing – masing fase dengan persamaan sebagai berikut :

$$PR = FR_{arah} / IFR \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

- PR = Rasio fase
- FR = Rasio arus
- IFR = Rasio arus simpang (FR_{CRIT})

Setelah mendapatkan rasio arus jenuh, dilanjutkan dengan menghitung waktu hijau setiap lengan simpang, akan tetapi untuk arah lurus dan belok kanan saja dengan persamaan sebagai berikut :

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

- g_i = Tampilan waktu hijau pada fase I (det)
- C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian (det)
- LTI = Waktu hilang total per siklus
- PR_i = Rasio fase $FR_{CRIT} / \Sigma FR_{CRIT}$

2.6.8 Kapasitas

Perhitungan kapasitas lengan simpang setiap fase dihitung menggunakan persamaan:

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

- C = Kapasitas setiap lengan simpang
- S = Arus jenuh simpang
- g = Waktu hijau pada setiap lengan simpang
- c = Waktu siklus penyesuaian

Maka dari ditentukannya kapasitas, dihitung derajat kejenuhan (DS) dari masing-masing lengan simpang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DS = Q/C \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

- DS = Derajat kejenuhan
- Q = Volume arus lalu lintas setiap lengan (smp/jam)
- C = Kapasitas setiap lengan simpang (smp/jam)

2.6.9 Tingkat pelayanan

Tingkat pelayanan (*level of service*) adalah ukuran kinerja ruas jalan atau simpang jalan yang dihitung berdasarkan tingkat penggunaan jalan, kecepatan,

kepadatan dan hambatan yang terjadi. Karakteristik tingkat pelayanan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik Tingkat Pelayanan (LOS)

Tingkat Pelayanan	Karakteristik – Karakteristik	Batas Lingkup V/C
A	Arus bebas ; volume rendah dan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang dikehendaki.	0,00 - 0,20
B	Arus stabil ; kecepatan sedikit terbatas oleh lalu lintas, volume pelayanan yang dipakai untuk desain jalan luar kota.	0,20 - 0,44
C	Arus stabil ; tetapi kecepatan dikontrol oleh lalu lintas, volume pelayanan yang dipakai untuk desain jalan perkotaan	0,45 - 0,74
D	Arus mendekati tidak stabil ; kecepatan operasi menurun relatif cepat akibat hambatan yang timbul dan kebebasan bergerak relatif kecil.	0,75 - 0,84
E	Berbeda - beda terkadang berhenti, volume mendekati kapasitas.	0,85 - 1,00
F	Rendah, volume dibawah kapasitas, antrian panjang, dan terjadi hambatan - hambatan yang besar.	>1,00

(Sumber : MKJI, 1997)

2.6.10 Panjang antrian dan tundaan

Perilaku lalu lintas meliputi panjang antrian, jumlah kendaraan terhenti dan tundaan yang merupakan hal – hal yang sangat penting dalam kinerja persimpangan, untuk menentukan hasil kerja dari simpang yang sedang dikaji, sebelumnya dihitung rasio hijau untuk masing – masing fase dengan persamaan sebagai berikut :

$$GR = g/c \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

- GR = Rasio hijau
- g = Waktu hijau (detik)
- c = Waktu siklus penyesuaian (detik)

Gunakan hasil perhitungan derajat kejenuhan untuk menghitung jumlah antrian smp (NQ1) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.

Untuk $DS > 0,5$:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

- NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- DS = Derajat kejenuhan
- GR = Rasio hijau
- C = Kapasitas (smp/jam)

Hitung jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ2) dengan persamaan berikut :

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

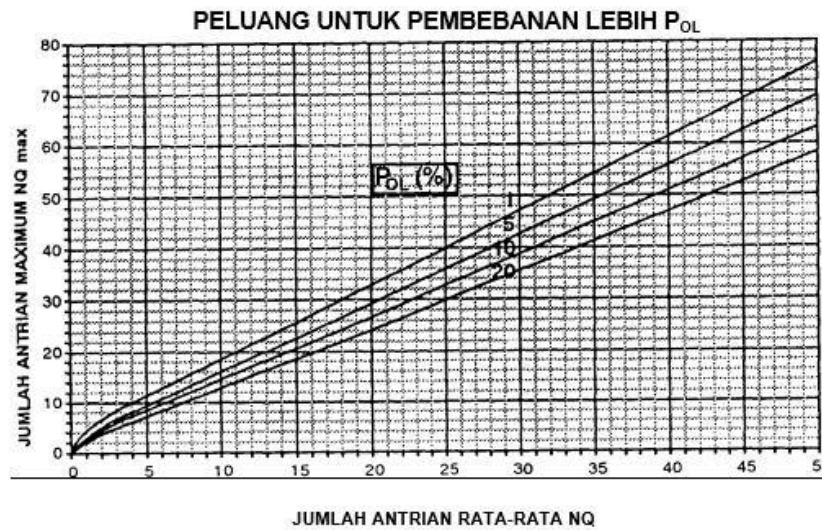
- NQ₂ = Jumlah smp yang datang selama fase merah
- DS = Derajat kejenuhan
- GR = Rasio hijau
- c = Waktu siklus (det)
- Q = arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- NQ = Jumlah kendaraan yang mengantri (smp)
- NQ₁ = Jumlah antrian smp yang tersisa dari fase hijau sebelum (smp)
- NQ₂ = Jumlah antrian smp yang datang dari fase merah (smp)

Dari jumlah kendaraan yang mengantri lalu dilanjutkan dengan jumlah kendaraan mengantri maksimal. Jumlah kendaraan ini didapat dari Grafik E 2-2 dengan Pembebanan lebih PoL 5%. Digunakan angka 5% dikarenakan dalam penelitian ini untuk perancangan dan perencanaan yang disarankan.



Gambar 2.7 Grafik untuk menentukan NQ_{MAX}

Dengan mengalikan NQ_{MAX} dengan luas rata rata yang dipergunakan per smp kemudian dibagi dengan lebar masuk dari mulut simpang. Dan perhitungannya bisa didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Tahap selanjutnya dilanjutkan dengan menghitung rasio kendaraan stop dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

- NS = Rasio kendaraan stop
- NQ = Jumlah kendaraan yang mengantri (smp)
- Q = Volume arus lalu lintas (smp)
- c = Waktu siklus penyesuaian (detik)

Perhitungan selanjutnya adalah menghitung jumlah kendaraan terhenti dari setiap lengan simpang, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_{SV} = Q \times NS \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

- N_{SV} = Jumlah kendaraan terhenti (smp)
- Q = Volume arus lalu lintas (smp/jam)
- NS = Rasio kendaraan henti

Tundaan lalu lintas rata rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan lainnya pada simpang (berdasarkan pada Akceklík 1988), berikut persamaan yang harus digunakan :

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

- DT = Tundaan lalu lintas rata-rata
- c = Waktu siklus yang disesuaikan (detik)
- A = Konstanta
- NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau (smp)
- C = Kapasitas (smp/jam)

Sebelum mendapatkan nilai DG_j, diperlukan lagi nilai rasio kendaraan terhenti di pendekat (Psv), karena nilai tersebut untuk menghitung nilai tundaan geometrik rata-rata (DG_j). Berikut persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai rasio kendaraan terhenti di setiap pendekat :

$$Psv = Nsv / \Sigma Q \text{ Total} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

- Nsv = Jumlah kendaraan terhenti
- ΣQ Total = Jumlah volume setiap lengan simpang

Tentukan pula tundaan geometrik rata-rata masing masing pendekat akibat perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran suatu simpang atau ketika dihentikan oleh lampu merah. Hal ini dapat diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$DG_j = (1 - Psv) \times PT \times 6 + (Psv \times 4) \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

- DG_j = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat (det/smp)
- Psv = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat
- PT = Rasio kendaraan berbelok pada pendekat

Dari semua tundaan yang ada, maka hasil tersebut dijumlahkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = DT + DG \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

- DT = Jumlah tundaan lalu lintas rata – rata
 DG = Jumlah tundaan geometrik rata – rata

Dilanjutkan dengan menentukan jumlah tundaan total, dengan persamaan sebagai berikut

$$\Sigma D = D \times Q \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan :

- D = Jumlah tundaan rata – rata
 Q = Volume arus lalu lintas

Dari semua total tundaan yang telah dijumlahkan dengan total tundaan belok kiri langsung di setiap simpang (LTOR) lalu dibagi dengan jumlah muatan atau volume lalu lintas, maka didapatkan angka tundaan rata – rata dengan rumus sebagai berikut :

$$D_I = \frac{\Sigma(D \times Q)}{Q_{Total}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan :

- D_I = Tundaan rata – rata seluruh simpang
 Q_{Total} = Arus total

Tingkat tundaan dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan, baik untuk setiap pendekat maupun seluruh persimpangan. Kaitan antara tingkat pelayanan dan lamanya tundaan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6 Indikator Tingkat Pelayanan

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 : MKJI 1997)