

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Lalu Lintas

Lalu lintas didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dengan fasilitas pendukungnya. (UU Nomor 22 tahun 2009)

Lalu lintas adalah berjalan, bolak balik, perjalanan di jalan. Ramdlon Naning juga menguraikan pengertian tentang lalu lintas yaitu gerak pindah manusia dengan atau tanpa alat penggerak dari satu tempat ke tempat lainnya.

(Muhammad Ali 2009:12)

Pengertian dan definisi-definisi diatas dapat disimpulkan bahwa lalu lintas dalam arti luas adalah setiap hal yang berhubungan dengan sarana jalan umum sebagai sarana utama untuk tujuan yang ingin dicapai. Selain dapat ditarik kesimpulan juga pengertian lalu lintas dalam arti sempit yaitu hubungan antar manusia dengan atau tanpa disertai alat penggerak dari satu tempat ke tempat lain dengan menggunakan jalan sebagai ruang geraknya.

2.1.1 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik atau garis tertentu pada suatu penampang melintang jalan. Data pencacahan volume lalu lintas adalah informasi yang diperlukan untuk fase perencanaan, desain, manajemen sampai pengoperasian jalan (Sukirman 1994).

Menurut Sukirman (1994), volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titi pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar jalur, satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan adalah lalu lintas harian rata-rata, volume jam perencanaan dan kapasitas.

2.1.2 Pengertian Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air kecuali kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. (PERMEN PUPR No.5 Tahun 2018)

Jalan perkotaan adalah jalan yang terdapat perkembangan secara permanen dan menerus di sepanjang atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, baik berupa perkembangan lahan atau bukan. Jalan di atau dekat pusat perkotaan dengan penduduk lebih dari 100.000 digolongkan dalam kelompok ini.

Jalan di daerah perkotaan dengan jumlah penduduk yang kurang dari 100.000 juga digolongkan dalam kelompok ini jika perkembangan samping jalan tersebut bersifat permanen dan terus menerus (MKJI, 1997).

Berdasarkan kelas fungsional, jalan di kelompokkan sebagai berikut :

1. Jalan Arteri adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.
2. Jalan Kolektor adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan jenjang kota kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan jenjang kota ketiga.
3. Jalan Lokal adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau kota jenjang ketiga dengan kota jenjang ketiga kota jenjang ketiga dengan kota dibawahnya, atau kota jenjang ketiga dengan persil atau kota dibawah jenjang ketiga sampai persil. (MKJI Tentang Jalan Perkotaan)

2.1.3 Pengertian Simpang

Simpang adalah suatu daerah yang di dalamnya terdapat dua atau lebih cabang jalan yang bertemu atau bersilangan, termasuk di dalamnya fasilitas yang diperlukan untuk menunjang pergerakan lalu lintas. (Morlok 1978)

MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) adalah suatu sistem yang disusun sebagai suatu metode efektif yang berfungsi untuk perancangan dan perencanaan manajemen lalu lintas yang direncanakan terutama agar pengguna dapat memperkirakan perilaku lalu lintas dari suatu fasilitas pada kondisi lalu

lintas, geometrik dan keadaan lingkungan tertentu, sehingga diharapkan dapat membantu untuk mengatasi permasalahan seputar kondisi lalu lintas di jalan perkotaan. MKJI 1997 juga memuat pedoman teknik lalu lintas yang menyarankan pengguna sehubungan dengan pemilihan tipe fasilitas dan rencana sebelum memulai prosedur perhitungan rincian untuk menentukan perilaku lalu lintasnya.

Untuk mengukur suatu kapasitas jalan, diperlukan arus lalu-lintas yang satuannya dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Setiap jenis-jenis kendaraan memiliki angka penyetera yang berbeda-beda dengan mobil penumpang yang biasa disebut ekuivalensi mobil penumpang (emp). Ekuivalensi mobil penumpang menyatakan tingkat gangguan yang ditimbulkan oleh mobil penumpang dalam kondisi lalu-lintas yang sama. Angka emp untuk setiap jenis kendaraan secara garis besar dibagi menjadi dua bagian, yaitu angka emp pada simpang dan pada ruas jalan (DLLAJR, 1990).

2.1.4 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 Rule 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.

2.2 Simpang Bersinyal

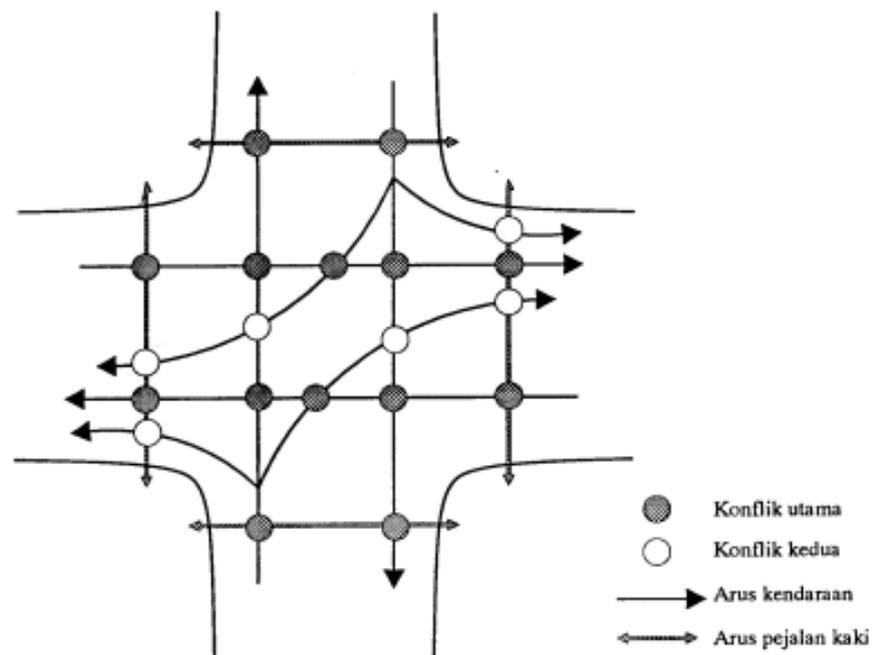
Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (traffic light). Berdasarkan MKJI 1997, adapun tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (traffic light) pada persimpangan antara lain:

1. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu-lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu-lintas jam puncak.
2. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama.
3. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu-lintas akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang bertentangan.

2.2.1 Karakteristik Sinyal Lalu Lintas

Untuk sebagian besar fasilitas jalan, kapasitas dan perilaku lalu-lintas terutama adalah fungsi dari keadaan geometrik dan tuntutan lalu-lintas. Dengan menggunakan sinyal, perancang/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 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 disebut konflik-konflik utama. Sinyal-sinyal dapat juga digunakan untuk memisahkan gerakan membelok dari lalu-lintas lurus melawan, atau untuk memisahkan gerakan lalu-lintas membelok dari pejalan-kaki yang menyeberang untuk mengatasi konflik-konflik kedua.



Gambar 2. 1 Konflik-konflik utama dan kedua pada simpang bersinyal dengan empat lengan.

- Kereb: Kereb sebagai batas antara jalur lalu-lintas dan trotoar berpengaruh terhadap dampak hambatan samping pada kapasitas dan kecepatan. Kapasitas jalan dengan kereb lebih kecil dari jalan dengan bahu. Selanjutnya kapasitas berkurang jika terdapat penghalang tetap dekat tepi jalur lalu-lintas, tergantung apakah jalan mempunyai kereb atau bahu.
- Bahu: Jalan perkotaan tanpa kereb pada umumnya mempunyai bahu pada kedua sisi jalur lalulintasnya. Lebar dan kondisi permukaannya mempengaruhi penggunaan bahu, berupa penambahan kapasitas, dan kecepatan pada arus tertentu, akibat penambahan lebar bahu, terutama karena pengurangan hambatan samping yang disebabkan kejadian di sisi jalan seperti kendaraan angkutan umum berhenti, pejalan kaki dan sebagainya.
- Median: Median yang direncanakan dengan baik meningkatkan kapasitas.
- Alinyemen jalan: Lengkung horisontal dengan jari jari kecil mengurangi kecepatan arus bebas. Tanjakan yang curam juga mengurangi kecepatan

arus bebas. Karena secara umum kecepatan arus bebas di daerah perkotaan adalah rendah maka pengaruh ini diabaikan.

2.2.2 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: 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.

2.2.3 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.

2.2.4 Aktivitas Samping Jalan

Banyak aktivitas samping jalan di Indonesia sering menimbulkan konflik, kadang-kadang besar pengaruhnya terhadap arus lalu-lintas. Pengaruh konflik ini, ("hambatan samping"), diberikan perhatian utama dalam manual ini, jika dibandingkan dengan manual negara Barat. Hambatan samping yang terutama berpengaruh pada kapasitas dan kinerja jalan perkotaan adalah :

1. Pejalan kaki
2. Angkutan umum dan kendaraan lain berhenti
3. Kendaraan lambat (misalnya becak, kereta kuda)
4. Kendaraan masuk dan keluar dari lahan di samping jalan

Untuk menyederhanakan peranannya dalam prosedur perhitungan, tingkat hambatan samping telah dikelompokkan dalam lima kelas dari sangat rendah

sampai sangat tinggi sebagai fungsi dari frekwensi kejadian hambatan samping sepanjang segmen jalan yang diamati. Photo khusus juga ditunjukkan dalam manual untuk memudahkan pemilihan kelas hambatan samping yang digunakan dalam analisa.

2.2.5 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.

2.2.6 Metodologi Analisa Simpang Bersinyal

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

1. Geometri

Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekatan. Satu lengan simpang dapat terdiri lebih dari satu pendekatan, 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 pendekatan. Untuk masing-masing pendekatan 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}) dikonversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam dengan menggunakan

ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan.

3. Model dasar

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C = S \times g / c \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

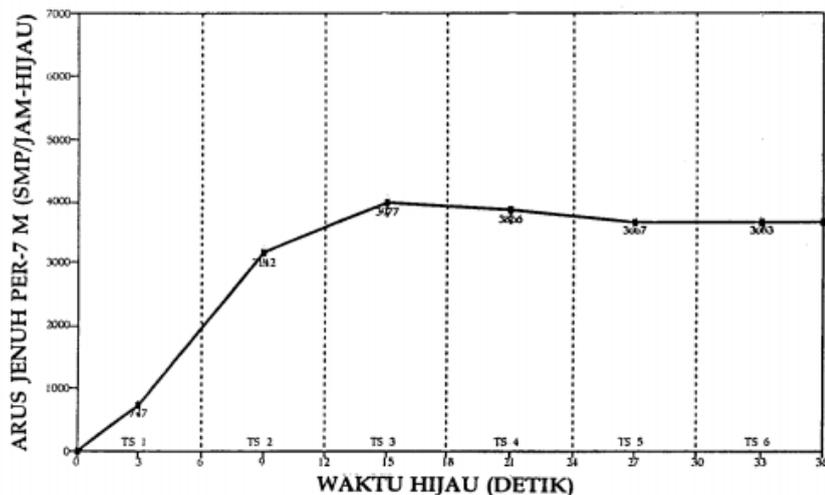
C = Kapasitas (smp/jam)

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).

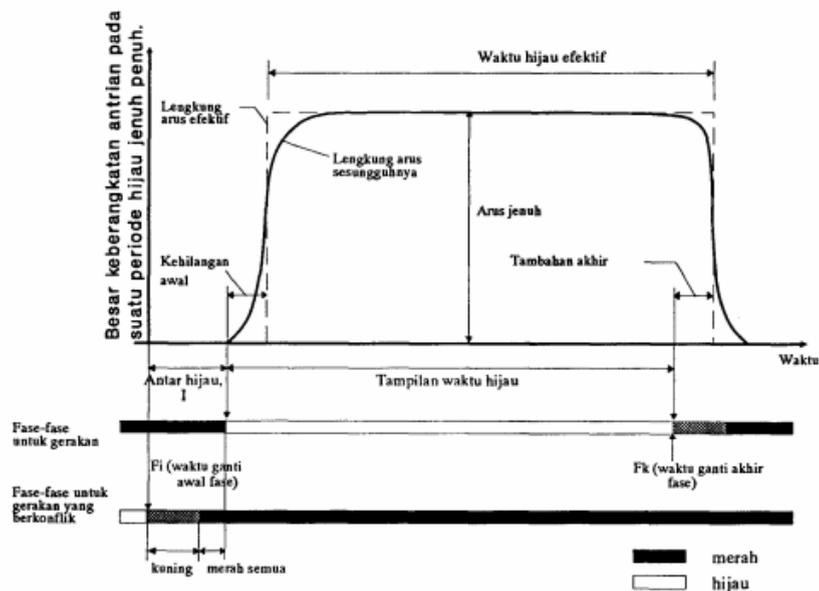
Oleh karena itu perlu diketahui atau ditentukan waktu sinyal dari simpang agar dapat menghitung kapasitas dan ukuran perilaku lalu-lintas lainnya. Pada Rumus 2.1 di atas, arus jenuh dianggap tetap selama waktu hijau. Meskipun demikian dalam kenyataannya, arus berangkat mulai dari 0 pada awal waktu hijau dan mencapai nilai puncaknya setelah 10-15 detik. Nilai ini akan menurun sedikit sampai akhir waktu hijau, lihat Gambar 2.1. di bawah. 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. 2 Arus jenuh yang diamati per selang waktu enam detik.

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 2.2. Jadi besarnya waktu hijau efektif, yaitu lamanya waktu hijau di mana arus berangkat terjadi dengan besaran tetap sebesar S, dapat kemudian dihitung sebagai:

Waktu Hijau Efektif = Tampilan waktu hijau - Hilang awal + Tambahan akhir.



Gambar 2.3 Model dasar untuk arus jenuh (Akcezik 1989).

2.2.7 Metodologi Analisa Simpang Bersinyal

Dengan menerapkan metoda-metoda yang diuraikan dalam prosedur perhitungan simpang bersinyal untuk memperkirakan pengaruh penggunaan sinyal terhadap kapasitas dan perilaku lalu-lintas jika dibandingkan dengan pengaturan tanpa sinyal atau pengaturan bundaran. Prosedur perhitungan simpang bersinyal ini menguraikan mengenai tata cara untuk menentukan waktu sinyal, kapasitas, dan perilaku lalu lintas (tundaan, panjang antrian, dan rasio kendaraan terhenti) pada simpang bersinyal di daerah perkotaan maupun semi perkotaan berdasarkan data-data yang ada dilapangan untuk kemudian diolah sesuai urutan pengerjaan hingga didapatkan nilai Level Of Service (LOS) yang diharapkan.

2.2.8 Kondisi Geometrik, Penganturan Lalu Lintas dan Kondisi Lingkungan

Pada 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. 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.

Dari gerakan-gerakan membelok. Data-data yang ada dimasukkan kedalam formulir sesuai dengan perintah yang ada pada masing-masing kolom yang tersedia pada MKJI 1997.

1. Umum

Mengisi tanggal, dikerjakan oleh, kota, simpang, kasus (misalnya Alternatif 1/ mis. Alt. I) dan periode waktu (misalnya puncak pagi) pada bagian judul formulir.

2. Ukuran kota

Memasukkan jumlah penduduk perkotaan (ketelitian 0,1 jt penduduk).

3. Pengaturan fase dan waktu sinyal

Fase adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas. MKJI memberikan waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda seperti pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Pengaturan fase dan waktu sinyal.

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus Yang Layak (det)
Pengaturan Dua – Fase	40 – 80
Pengaturan Tiga – Fase	50 – 100
Pengaturan Empat – Fase	80 – 130

Sumber: MKJI, 1997.

4. Belok kiri langsung

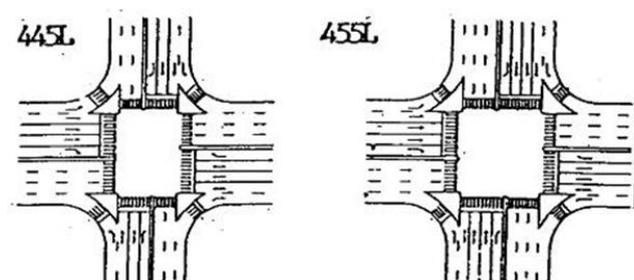
Menentukannya dalam diagram fase dalam pendekat mana gerakan belok

kiri langsung diijinkan / LTOR (gerakan membelok tersebut dapat dilakukan dalam semua fase tanpa memperhatikan isyarat lalu-lintas).

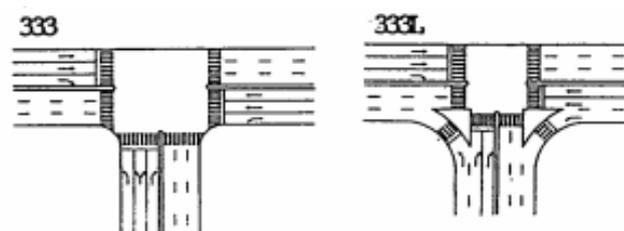
5. Sketsa persimpangan

Menggunakan runag kosong pada bagian tengah dari formulir untuk membuat sketsa simpang dan memasukkan data geometrik yang diperlukan :

- Denah dan posisi-posisi pendekat-pendekat, pulau-pulau lalu lintas, garis henti, penyeberangan pejalan kaki, marka lajur dan marka panah.
- Lebar (ketelitian sampai sepersepuluh meter terdekat) dari bagian pendekat yang diperkeras, tempat masuk dan keluar.
- Panjang lajur dengan garis menerus/ garis larangan (ketelitian sampai meter terdekat)
- Gambar suatu panah yang menunjukkan arah Utara pada sketsa. Jika tata letak dan desain persimpangan tidak diketahui, untuk analisis gunakan asumsi sesuai dengan nilai-nilai dasar di atas. Jenis – jenis persimpangan dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 2. 4 Jenis-jenis Simpangan.



Gambar 2. 5 Jenis-jenis Simpangan.

6. Kode pendekat

Menggunakan arah mata angin (Utara, Selatan, Timur, Barat) atau tanda lainnya yang jelas untuk menamakan pendekat-pendekat tersebut. Perhatikan bahwa lengan simpang dapat dibagi oleh pulau lalu lintas

menjadi dua pendekat atau lebih mulut persimpangan misal $N(LT+ST)$, $N(RT)$.

7. Tipe lingkungan jalan

Mengisi tipe lingkungan jalan untuk setiap pendekat :

- Komersial (COM) : tata guna lahan komersial sebagai contoh toko, restoran, kantor dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.

- Pemukiman (RES) : tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.

- Akses Terbatas (RA) : jalan masuk langsung terbatas atau tidak ada sama sekali.

8. Tingkat hambatan samping

Memasukkan tingkat hambatan samping :

- Tinggi : Jika Besar arus berangkat pada tempat masuk (*entry*) dan keluar (*exit*) berkurang oleh karena aktivitas disamping jalan pada pendekat seperti angkutan umum berhenti, pejalan kaki berjalan sepanjang atau melintas pendekat, keluar-masuk halaman disamping jalan dsb.

- Rendah : Jika besar arus berangkat pada tempat masuk dan keluar tidak berkurang oleh hambatan samping dari jenis - jenis yang disebut di atas.

9. Median

Memasukkan median (bagian dari jalan yang tidak dapat dilalui kendaraan dengan bentuk memanjang sejajar jalan, terletak disumbu tengah jalan dimaksudkan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan) jika terdapat median pada bagian kanan dari garis henti dalam pendekat .

10. Kelandaian (%)

Memasukkan kelandaian dalam % (naik = + %; turun = - %)

11. Belok kiri langsung/ LTOR

Memasukkan jika belok kiri langsung (LTOR) diijinkan (Ya/Tidak) pada pendekat tersebut.

12. Jarak kendaraan parker

Memasukkan jarak normal antara garis henti dan kendaraan parkir pertama yang diparkir disebelah hulu pendekat, untuk kondisi yang dipelajari.

13. Lebar pendekat

Masukkan sketsa, lebar (ketelitian sampai sepersepuluh meter terdekat) bagian yang diperkeras dari masing masing pendekat (hulu dari titik belok untuk LTOR), Belok kiri Langsung, tempat masuk (pada garis henti) dan Tempat Keluar (bagian tersempit setelah melewati jalan melintang).

2.2.9 Kondisi Arus Lalu Lintas

Data – data mengenai kondisi lalu lintas dimasukkan kedalam formulir SIG-II (MKJI 1997), dimana perhitungan dilakukan persatuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya ddasarkan 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 pendekat baik terlindung maupun terlawan.

Arus lalu lintas dihitung dalam (smp/jam) dimana nilai koefisiennya (emp) tergantung dari jenis kendaraan dan tipe pendekatnya. Nilai-nilai koefisien smp selengkapnya dapat dilihat Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2. 2 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: MKJI, 1997.

Pada masing-masing pendekat yang terdapat arus belok kanan maupun belok kiri harus dihitung rasio kendaraan belok kiri PLT dan rasio belok kanan PRT dengan :

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

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

Rumus bernilai sama untuk pendekat terlawan maupun terlindung :

LT = Arus lalu lintas yang belok kiri

RT = 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.

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{MV}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

P_{UM} = Rasio kendaraan tidak bermotor

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

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

2.3 Kinerja Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas

1. Fase sinyal

Sebagai pedomen 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 RT) 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. Waktu antar 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 2.3

Tabel 2. 3 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: MKJI, 1997..

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 ketitik konflik dan panjang dari kendaraan berangkat.

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

Merah Semua $A_t =$

$$\left[\frac{(L_{EV} + l_{ev})}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right]_{MAX} \dots\dots\dots(2.3)$$

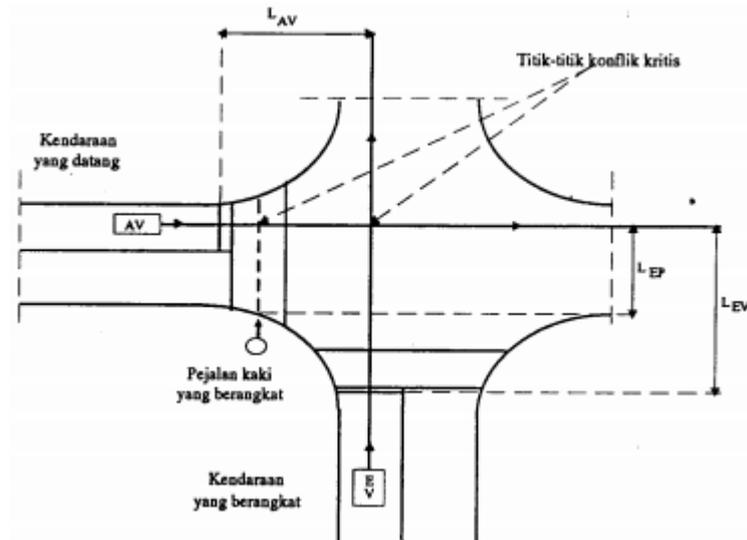
Dimana :

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).

Jarak L_{EV} dan L_{AV} untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan.

Nilai-nilai yang dipilih untuk VEV, VAV, dan IEV tergantung dari komposisi lalu-lintas dan kondisi jalan pada lokasi. Nilai-nilai berikut untuk sementara dapat dipilih dengan ketiadaan aturan di Indonesia sebagai berikut :

- a. Kecepatan kendaraan yang datang
 $VAV = 10 \text{ m/det}$ (kendaraan bermotor)
- b. Kecepatan kendaraan yang berangkat
 $VEV = 10 \text{ m/det}$ (kendaraan bermotor)
 3 m/det (kendaraan tidak bermotor mis. sepeda)
 $1,2 \text{ m/det}$ (pejalan kaki)
- c. Panjang kendaraan yang berangkat
 $IEV = 5 \text{ m}$ (LV atau HV)
 2 m (MC atau UM)

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

$$LTI = \sum(\text{Merah Semua} + \text{Kuning})_i = \sum IGi \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

LTI = Waktu Hilang

IGi = Waktu Antar Hijau

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia biasanya adalah 3,0 detik – 5,0 detik.

2.3.1 Penentuan Waktu Sinyal

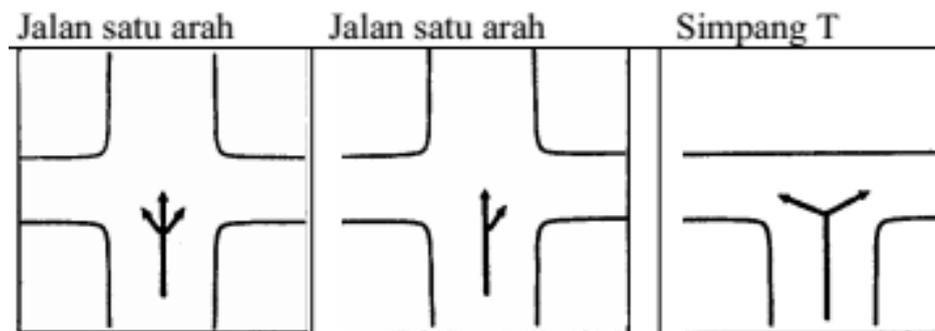
1. Tipe pendekatan

Menentukan tipe dari setiap pendekatan terlindung (P) atau terlawan (O) dengan melihat dari gambar rencana. Apabila dua gerakan lalu lintas pada suatu pendekatan diberangkatkan pada fase yang berbeda harus dicatat pada baris terpisah dan diperlakukan sebagai pendekatan dalam perhitungan selanjutnya. Apabila suatu pendekatan 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 pendekatan tersebut.

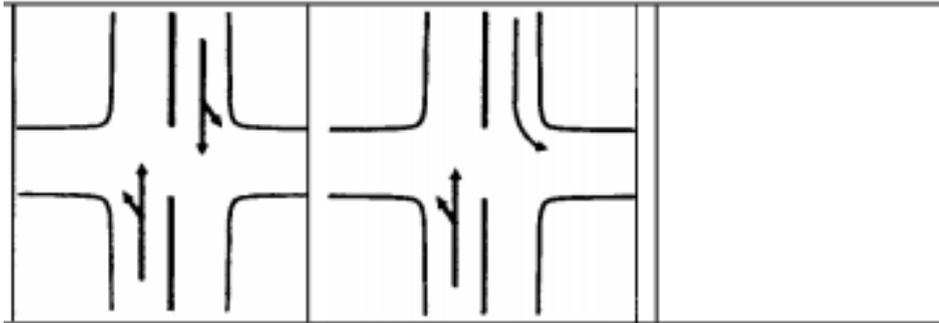
Tipe pendekatan sesuai dengan ketentuan dibedakan menjadi 2 yaitu :

Terlindung (P) : Arus berangkat tanpa konflik antara gerakan lalu lintas (belok kanan dan lurus) dari arah berlawanan.

Terlawan (O) : Arus berangkat dengan konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan, gerakan lurus atau belok kiri dari bagian pendekatan dengan lampu hijau pada fase yang sama.



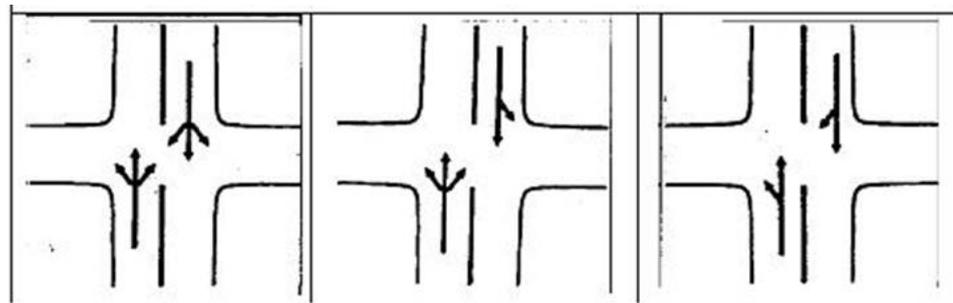
Jalan dua arah, gerakan belok kanan terbatas



Jalan dua arah, fase sinyal terpisah untuk masing-masing arah.



Gambar 2. 7 Pola – pola pendekatan terlindung (P).



Gambar 2. 8 Pola – pola pendekatan terlawan (O).

2. Lebar pendekat efektif

Lebar pendekat efektif (W_e) ditentukan berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{MASUK}) dan lebar keluar (W_{KELUAR}) dan rasio lalu lintas berbelok.

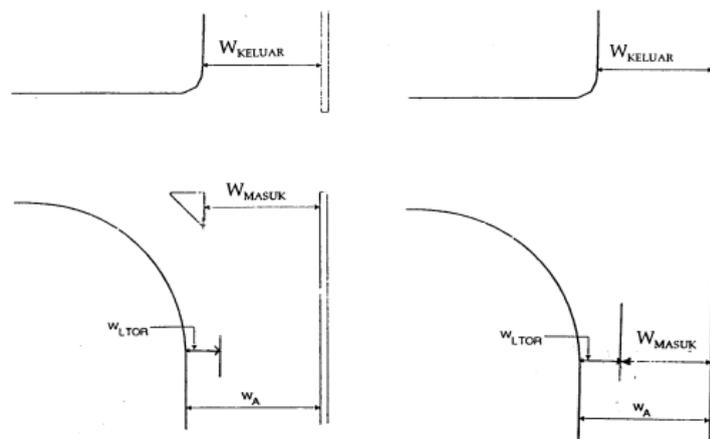
- a. Prosedur untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR) Lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)

Jika $W_{KELUAR} < W_e \times (1 - P_{RT} - P_{L TOR})$, 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 (yaitu $Q = Q_{ST}$).

b. Prosedur untuk pendekat dengan belok kiri langsung (L TOR)

Lebar efektif W_e dapat dihitung untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, penentuan lebar masuk (W_{MASUK}) sebagaimana di tunjukkan pada Gambar.

$$W_{MASUK} = W_A - W_{L TOR} \dots \dots \dots (2.5)$$



Gambar 2. 9 Pendekatan dengan pulau dan tanpa pulau lalu lintas.

Jika $W_{L TOR} \geq 2m$: dalam hal ini dianggap bahwa kendaraan L TOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah.

- Langkah A-1 = Mengeluarkan lalu-lintas belok-kiri langsung $Q_{L TOR}$ dari perhitungan selanjutnya (yaitu $Q = Q_{ST} + Q_{RT}$) menentukan lebar pendekat efektif sebagai berikut :

$$W_e = \text{Min} \begin{cases} W_A - W_{L TOR} \\ W_{MASUK} \end{cases}$$

- Langkah A-2 = Memeriksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P) jika $W_{KELUAR} < W_e \times (1 - P_{RT})$, 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 (yaitu $Q = QST$).

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

- Langkah B-2 = Periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)
Jika $WKELUAR < W_e \times (1 - PRT - PLTOR)$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan $WKELUAR$, dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu-lintas lurus saja (yaitu $Q = QST$).

c. Arus jenuh dasar

Arus jenuh dasar (S_o) ditentukan untuk setiap pendekat seperti diuraikan di bawah, Untuk pendekat tipe P (arus terlindung), dan digunakan persamaan :

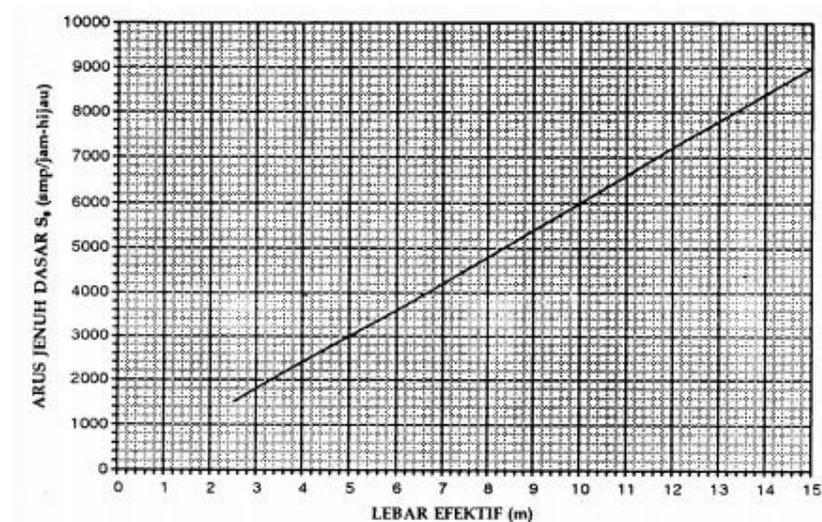
$$S_o = 600 \times W_e \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

S_o = arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

W_e = lebar pendekat efektif (m)

Atau dapat ditentukan dengan menggunakan grafik (Gambar 2.10)



Gambar 2. 10 Arus jenuh dasar untuk pendekat tipe P.

d. Faktor penyesuaian

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

- Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{cs})

Sebagai fungsi dari ukuran kota, berikut faktor penyesuaian kota pada table 2.4.

Tabel 2. 4 Faktor penyesuaian 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: MKJI, 1997.

- Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{sf})

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

Tabel 2. 5 Faktor hambatan samping.

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor (PUM)					
			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
Permukiman (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)	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: MKJI, 1997.

- Faktor penyesuaian parkir (Fp)

Sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang dipakai 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.

Fp juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau :

$$F_p = [(L_p / 3 - (W_A - 2) \times (L_p / 3 - g) / W_A)] g \dots\dots\dots(2.7)$$

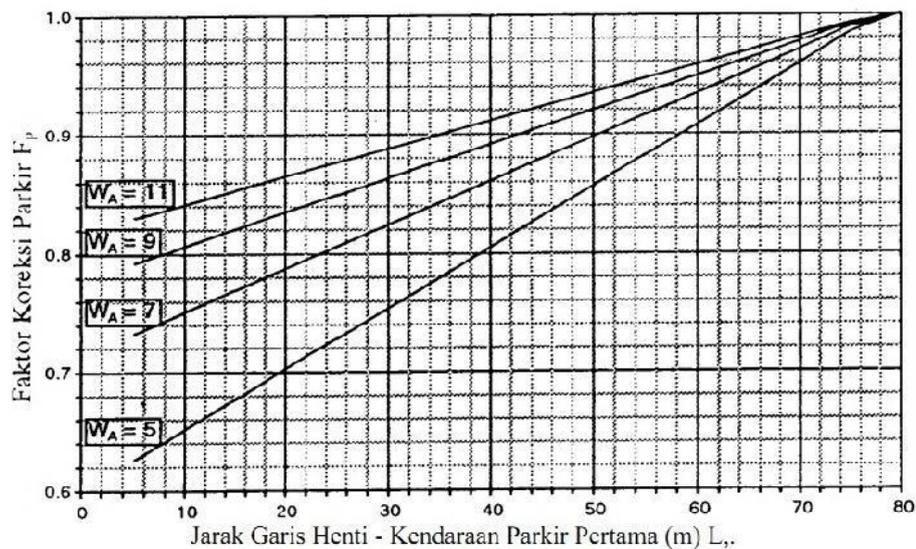
Dimana :

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

W_A = Lebar pendekat (m)

g = Waktu hijau pada pendekat (nilai normal 26 det)

Atau dapat menggunakan grafik sebagai berikut.



Gambar 2. 11 Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir dan lajur belok kiri yang pendek (FP).

- Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT})

Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan sebagai fungsi dan rasio kendaraan belok kanan P_{RT} . Gambar 2.12 dan Persamaan 2.14 berikut ini digunakan untuk pendekatan tipe terlindung (P), tanpa median dan jalan dua arah, lebar efektifnya ditentukan oleh lebar masuk.

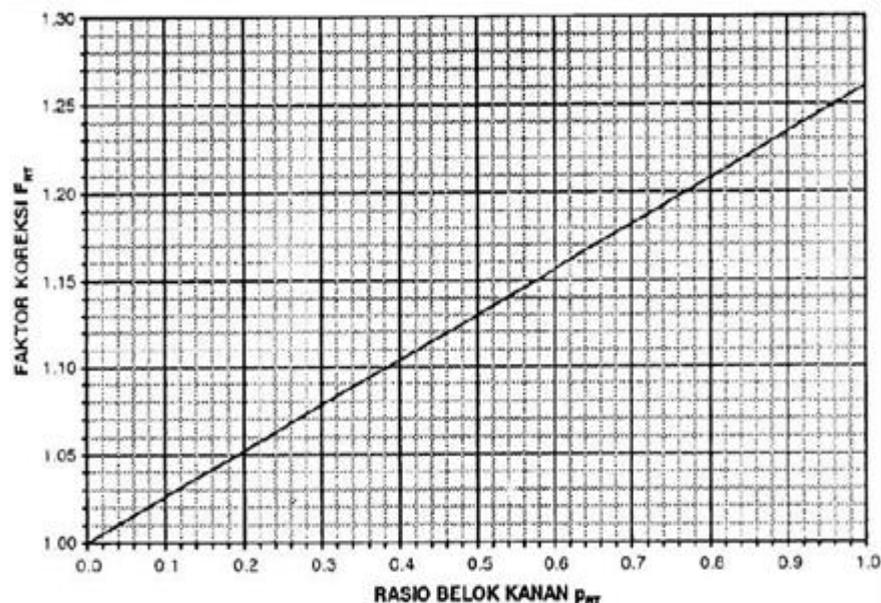
$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

F_{RT} = faktor penyesuaian belok kanan

P_{RT} = rasio kendaraan belok kanan

Nilai tersebut dapat diambil dari grafik



Gambar 2. 12 Faktor penyesuaian untuk belok kanan (F_{RT}).

(hanya berlaku untuk pendekatan tipe P, jalan dua arah dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk).

- Faktor penyesuaian belok kiri (F_{LT})

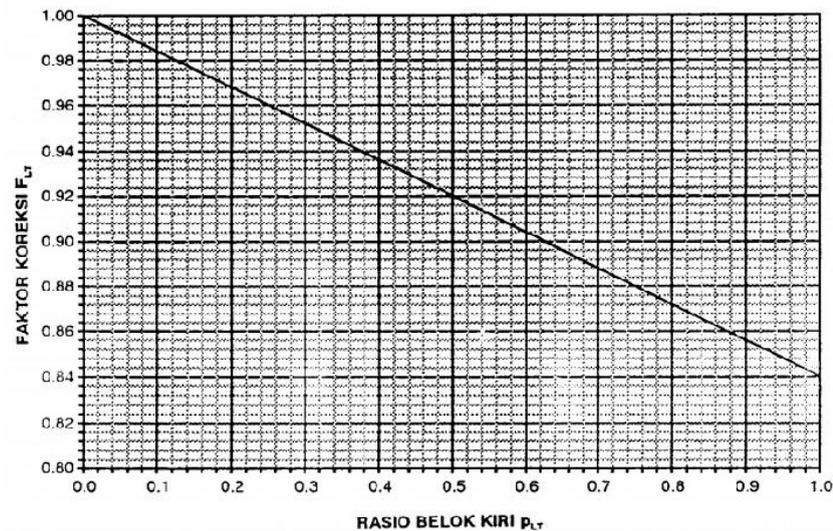
Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan sebagai fungsi dari rasio belok kiri P_{LT} . Perhitungan hanya digunakan untuk pendekatan tipe P tanpa LTOR dan lebar efektifnya ditentukan oleh lebar masuk. Gambar 2.13 dan Persamaan 2.15 berikut ini digunakan untuk pendekatan tipe terlindung (P), tanpa LTOR.

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} \times 0,16 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

F_{LT} = faktor penyesuaian belok kiri

P_{LT} = rasio kendaraan belok kiri



Gambar 2.13 Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (FLT).

(hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk).

e. Nilai arus jenuh (S) yang disesuaikan

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

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

Dimana :

S = nilai arus jenuh

S_o = arus jenuh dasar

F_{SF} = faktor penyesuaian ukuran kota

F_{CS} = faktor penyesuaian hambatan samping

F_G = faktor penyesuaian kelandaian

F_P = faktor penyesuaian parkir

F_{RT} = faktor penyesuaian belok kanan

F_{LT} = faktor penyesuaian belok kiri

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

f. Rasio arus/ Arus jenuh

Data – data arus lalu lintas pada masing-masing pendekat (Q) dari formulir SIG-II kolom 13 untuk pendekat terlindung (P) atau kolom 13 untuk pendekat terlawan (O) dimasukkan ke dalam kolom 18 pada formulir SIG-IV. Hasilnya dimasukkan ke dalam baris untuk fase gabungan tersebut. Rasio arus (FR) masing-masing pendekat dihitung untuk kemudian hasilnya dimasukkan ke dalam kolom 19. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$FR = Q/S \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

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

S = Arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam)

Rasio arus kritis (FR_{crit} = tertinggi) pada masing-masing fase diberi tanda dengan melingkarinya pada kolom 19.

Rasio arus simpang (IFR) dihitung sebagai jumlah dari nilai-nilai FR yang dilingkari (=kritis).

$$IFR = \sum (FR_{crit}) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

FR = rasio arus simpang

Rasio fase (PR) masing-masing fase dihitung sebagai rasio antara FR_{crit} dan IFR dan masukkan hasilnya pada kolom 20.

$$PR = FR_{crit} / IFR \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

FR = rasio arus simpang

PR = rasio fase

g. Waktu siklus sebelum penyesuaian (Cua)

Waktu siklus sebelum penyesuaian (Cua) dihitung untuk pengendalian waktu tetap, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2.20

atau dengan menggunakan grafik pada Gambar .

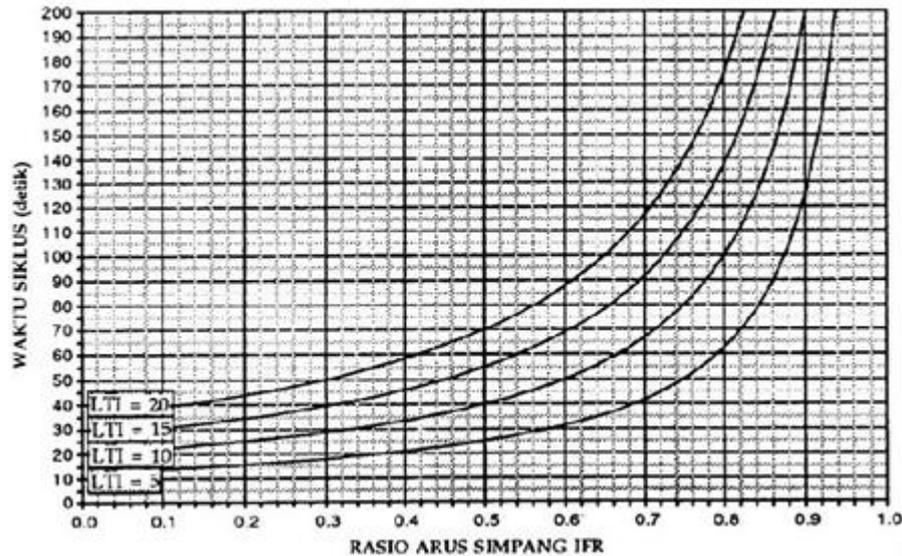
$$C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (I - IFR) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

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

LTI = Waktu hilang total per siklus (det)

IFR = Rasio arus simpang $\sum (FR_{crit})$



Gambar 2. 14 Penetapan waktu siklus sebelum penyesuaian.

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

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

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

g_i = tampilan waktu hijau pada fase i (det)

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

LTI = Waktu total hilang per siklus

PR_i = Rasio fase $FR_{crit} / \sum FR_{crit}$

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.

- 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 2.22 sebagai berikut :

$$c = \Sigma g + LTI \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

c = Waktu siklus

LTI = waktu hilang

g = waktu hijau

2.3.2 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 pendekat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C = S \times g / c \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

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

S = nilai arus jenuh

c = waktu siklus

g = waktu hijau

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

$$DS = Q / C \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

DS = derajat kejenuhan

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

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.

2.3.3 Panjang Antrian

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

Untuk DS > 0,5

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \dots\dots\dots(2.19)$$

Untuk DS < 0,5 ; NQ₁ = 0

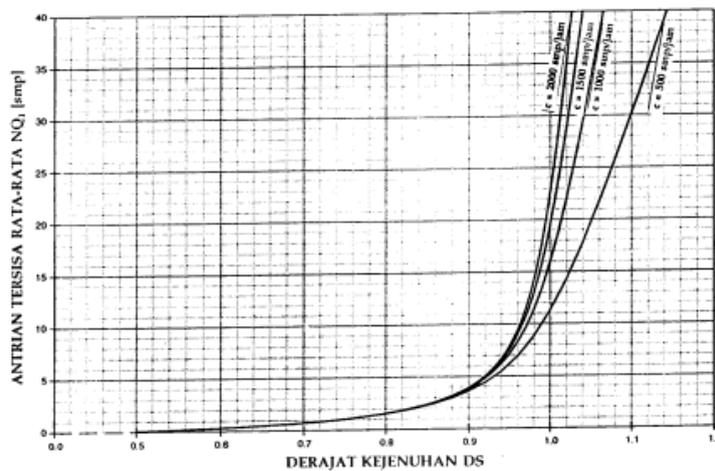
Dimana :

NQ₁ = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS= derajat kejenuhan

GR= rasio hijau

C= kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau (SxGR)



Gambar 2. 15 Jumlah kendaraan antri (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ₁).

Jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ₂) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

NQ_2 = jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio Hijau

c = Waktu siklus (det)

Q_{masuk} = Arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)

Penjumlahan kendaraan antri dapat dihitung dengan menjumlahkan

NQ_1 dan NQ_2 dengan persamaan :

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots(2.21)$$

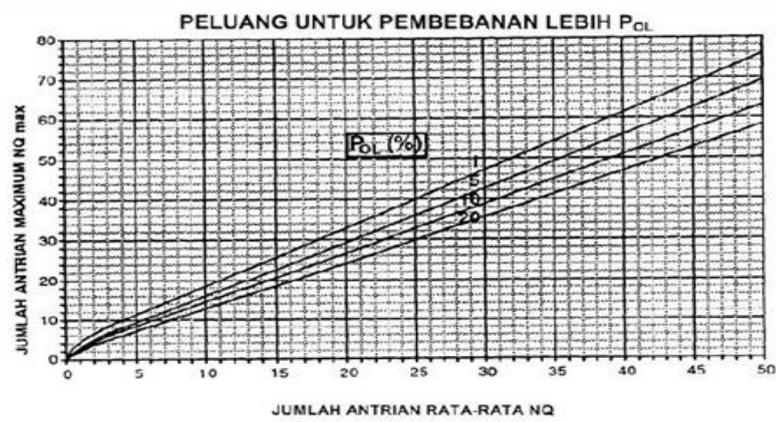
Dimana:

NQ = jumlah kendaraan antri

NQ_1 = 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 P_{OL} (%) dan didapat NQ_{MAX} . Untuk perancangan dan perencanaan disarankan $P_{OL} \leq 5\%$, untuk operasi suatu nilai $P_{OL} = 5-10\%$ mungkin dapat diterima. Nilai NQ_{MAX} diperoleh berdasarkan grafik pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 16 Perhitungan jumlah Antrian (NQ_{MAX}) dalam smp.

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

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

QL = panjang antrian (m)

NQ_{MAX} = jumlah kendaraan antri

W_{MASUK} = jumlah kendaraan antri

2.3.4 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 :

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

NS = laju henti

c = waktu siklus (det)

NQ = jumlah kendaraan antri

Q = arus lalu lintas (smp/jam)

Menghitung angka henti seluruh simpang dengan cara membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/ jam.

$$NS_{TOR} = \frac{\sum N_{sv}}{Q_{TOR}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

N_{TOR} = laju henti rata - rata

N_{sv} = jumlah kendaraan terhenti s

Q = arus lalu lintas (smp/ jam)

2.3.5 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 :

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

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

c = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

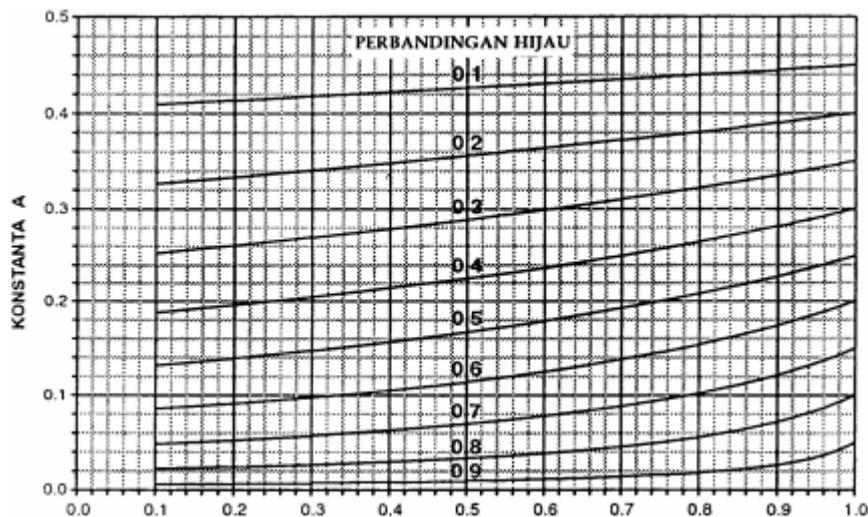
$$A = \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1- GR \times DS)}$$

GR = rasio hijau (g/c)

DS = derajat Kejenuhan

C = kapasitas (smp/jam)

NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya



Gambar 2. 17 Penetapan Tundaan lalu lintas rata-rata (DT).

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 :

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4) \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

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

P_{SV} = rasio kendaraan terhenti pada pendekat = 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 :

$$D = DT + DG \dots \dots \dots (2.28)$$

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 :

$$\text{TundaanTotal} = D \times Q \dots \dots \dots (2.29)$$

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 (Q_{TOT}) perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut

$$(DI) = \frac{D_{\text{total}}}{Q_{\text{total}}} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dimana :

D_I = tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (det/smp)

D = tundaan rata – rata

Q = arus lalu lintas (smp/ jam)

Tundaan rata- rata dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan dari masing – masing pendekat demikian juga dari suatu simpang secara keseluruhan.

2.4 Tingkat Pelayanan (Level Of Service)

Tingkat pelayanan (*LoS-level of Service*) merupakan ukuran kualitas sebagai rangkaian dan beberapa faktor yang mencakup kecepatan kendaraan dan

waktu perjalanan, interupsi lalu lintas, kebebasan untuk manuver, keamanan, kenyamanan pengemudi dan ongkos operasi (*operation cost*), sehingga LoS sebagai tolak ukur kualitas suatu kondisi lalu lintas maka volume pelayanan harus $<$ kapasitas jalan itu sendiri. LoS yang tinggi didapatkan apabila *cycle time*-nya pendek, sebab *cycle time* yang pendek akan menghasilkan *delay* yang kecil.

Faktor yang mempengaruhi Level of Service (LoS) adalah :

1. Kecepatan dan waktu perjalanan.
2. Hambatan-hambatan lalu lintas.
3. Kebebasan kendaraan bergerak.
4. Kemudahan dan kenyamanan pengemudi
5. Biaya operasional kendaraan.
6. Keamanan.

Dalam klasifikasi pelayanannya LoS dibagi menjadi 6 tingkatan yaitu:

1. Tingkat pelayanan (LoS) A
 - a. Kendaraan arus bebas (free flow).
 - b. Volume traffic rendah.
 - c. Kecepatan mobil tinggi.
 - d. Kepadatan lalu lintas rendah.
 - e. Kecepatan ditentukan oleh pengemudi sehingga adanya batas kecepatan dan kondisi fisik jalan.
2. Tingkat pelayanan (LoS) B
 - a. Kondisi arus stabil.
 - b. Kecepatan operasional mulai terbatas oleh kondisi traffic.
 - c. Pengemudi masih bebas memilih kecepatan yang dikehendaki pada batas-batas yang wajar.
 - d. Batas-batas terendah kecepatan pada tingkat ini biasanya dipakai untuk perjalanan "Jalan diluar kota".
3. Tingkat pelayanan (LoS) C
 - a. Masih didalam arus stabil, tetapi karena volumenya mulai tinggi maka kecepatan dan pergerakannya mulai terbatas (dalam batas yang masih memuaskan).
 - b. Tingkat ini sesuai untuk "Perencanaan jalan dalam kota".

4. Tingkat pelayanan (LoS) D
 - a. Mulai memasuki arus tidak stabil.
 - b. Kecepatan cenderung bertoleransi pada batas-batas wajar (kecepatan terbatas dapat dipertahankan).
 - c. Kebebasan pengemudi untuk bergerak terbatas, tingkat kemudahan dan kenyamanan rendah sekali.
5. Tingkat pelayanan (LoS) E
 - a. Kecepatan sangat rendah.
 - b. Volume traffic tinggi
 - c. Sering terjadi kemacetan mendadak
6. Tingkat pelayanan (LoS) F
 - a. Keadaan yang menunjukkan arus tertahan/ dipaksakan (*forced flow*).
 - b. Kecepatan rendah.
 - c. Volume dibawah kapasitas (kecepatan dan volume nol).
 - d. Sering terjadi kemacetan total.

Secara ringkas tingkat pelayanan tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.6 ini.

Tabel 2. 6 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.

Tabel 2. 7 Tingkat pelayanan dan karakteristik operasi jalan arteri sekunder dan jalan kolektor sekunder.

No	Tingkat Pelayanan	Karakteristik Operasi Terkait
1.	A	- Arus Bebas
		- Kecepatan perjalanan rata-rata ≥ 80 km/jam
		- V/C Ratio $\leq 0,6$

		- Load factor pada simpang = 0
2.	B	- Arus Stabil
		- Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 40 km/jam
		- V/C Ratio $\leq 0,7$
		- Load factor pada simpang $\leq 0,1$
3.	C	- Arus Stabil
		- Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 30 km/jam
		- V/C Ratio $\leq 0,8$
		- Load factor pada simpang $\leq 0,3$
4.	D	- Arus Mendekati Tidak Stabil
		- Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 25 km/jam
		- V/C Ratio $\leq 0,9$
		- Load factor pada simpang $\leq 0,7$
5.	E	- Kondisi Tidak Stabil, terhambat, dengan tundaan yang tidak dapat ditolerir
		- Kecepatan perjalanan rata-rata sekitar 25 km/jam
		- V/C Ratio $\leq 1,0$
		- Load factor pada simpang ≤ 1
6.	F	- Arus tertahan, macet
		- Kecepatan perjalanan rata-rata < 15 km/jam
		- V/C Ratio permintaan melebihi 1,0
		- Simpang Jenuh

Sumber: MKJI, 1997.

2.5 Tingkat Pelayanan Fasilitas Pejalan Kaki

Pejalan kaki adalah istilah dalam transportasi yang digunakan untuk menjelaskan orang yang berjalan di jalur pejalan kaki baik di pinggir jalan, trotoar, lintasan khusus bagi pejalan kaki ataupun menyebrang jalan untuk melindungi pejalan kaki dalam berlalu lintas. Pejalan kaki wajib berjalan pada bagian jalan dan menyebrang pada tempat penyebrangan yang telah disediakan bagi pejalan kaki, Istilah pejalan kaki atau pedestrian berasal dari Bahasa Latin yaitu pedester/pedestris yaitu orang yang berjalan kaki atau pejalan kaki .

Fasilitas Pejalan kaki memiliki peran sebagai perantara yang penting sebagai penghubung manusia untuk beraktivitas dari satu tempat ke tempat kegiatan lainnya, antara lain juga melindungi pedestrian dari ruang jalan

kendaraan berkarakter cepat. Bagi jalur pedestrian sebagai penghubung antar bangunan, yang berkarakter pedestrian-oriented (benar-benar ditujukan bagi manusia). Pejalan kaki membutuhkan sebuah ruang pada jalan yang dibentuk secara fisik agar dapat melakukan aktivitas pedestrian.

Saat ini Indonesia belum memiliki standar tingkat pelayanan fasilitas pejalan kaki yang cukup lengkap. Untuk itu digunakan angka-angka tingkat pelayanan fasilitas pejalan kaki dari Amerika Serikat yang dikutip dari *Transportation Research Board* (1985) dengan penyesuaian seperlunya agar lebih relevan dengan kasus Indonesia seperti pada Tabel.2.8

Tabel 2. 8 Tingkat Pelayanan Fasilitas Pejalan Kaki.

Tingkat Pelayanan	Modul Pejalan Kaki (m ² /Orang)	Arus dan kecepatan yang diharapkan		
		Kecepatan, S (m/menit)	Arus, v (orang/menit/m)	Rasio Arus terhadap kapasitas
A	≥ 12,1	≥ 79,2	≤ 7	≤ 0,08
B	≥ 3,7	≥ 76,2	≤ 23	≤ 0,28
C	≥ 2,2	≥ 73,2	≤ 33	≤ 0,40
D	≥ 1,4	≥ 68,6	≤ 49	≤ 0,60
E	≥ 0,6	≥ 45,7	≤ 82	≤ 1,00
F	< 0,6	< 45,7	Bervariasi	Bervariasi

Sumber: MKJI, 1997.

Tabel 2. 9 Tingkat Karakteristik Pelayanan Fasilitas Pejalan Kaki.

Tingkat Pelayanan Pejalan Kaki	Karakteristik Pejalan Kaki
A	Pejalan kaki bebas bergerak pada jalur yang diinginkan. Tidak terjadi konflik antara pejalan kaki
B	Pejalan kaki bebas bergerak, tetapi mulai menghadapi kehadiran pejalan kaki lain
C	Pejalan kaki mengalami konflik kecil, kecepatan menurun dan volume bertambah
D	Aliran pejalan kaki masih stabil, tetapi mudah terjadi friksi dan interaksi antar pejalan kaki
E	Volume pejalan kaki mendekati kapasitas jalur berjalan kaki, menimbulkan kemacetan dan gangguan aliran
F	Aliran pejalan kaki tidak stabil, arus gerakan pejalan kaki sangat lambat dan menyerupai antrian

Sumber: MKJI, 1997.

Terdapat perbedaan rentang kecepatan pejalan kaki antara kelompok usia yang berbeda (anak-anak, dewasa, manula). Untuk rentang kecepatan pejalan kaki dewasa paling lebar (0,7 m/detik hingga 2,7 m/detik) bila dibandingkan dengan kecepatan pejalan kaki manula dan anak-anak, Artinya kecepatan pejalan kaki dewasa cenderung bervariasi karena rentang usia kelompok dewasa juga relatif paling lebar. Seorang manula memiliki rentang kecepatan paling sempit (0,7 m/detik hingga 1,7 m/detik), artinya kecepatan berjalan kaki manula relatif seragam. Anak-anak memiliki rentang kecepatan antara (1 m/detik hingga 2,7 m/detik). Hal ini menunjukkan bahwa kelompok anak-anak yang paling lambat memiliki kecepatan berjalan kaki lebih tinggi dari pada kelompok orang dewasa dan manula.

Fenomena rentang kecepatan pejalan kaki pada berbagai kelompok usia ini dapat digunakan untuk memberikan pelayanan yang lebih fokus kepada kelompok usia mayoritas yang menggunakan fasilitas tertentu. Misalnya apabila ingin mengatur panjang waktu hijau pada fasilitas penyebrangan pejalan kaki pada kaki simpang tentu harus memperhatikan kecepatan rata-rata pejalan kaki dan jumlah pejalan kaki yang menyebrang pada kaki simpang tersebut.