

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Transportasi

Menurut Morlok (1995), transportasi adalah untuk menggerakkan atau memindahkan orang dan/atau barang dari satu tempat ke tempat lain dengan menggunakan sistem tertentu untuk tujuan tertentu. Menurut Tamin (1997), transportasi adalah suatu sistem yang terdiri dari sarana/prasarana dan sistem yang memungkinkan adanya pergerakan keseluruhan wilayah sehingga terakomodasi mobilitas penduduk, dimungkinkan adanya pergerakan barang, dan dimungkinkannya akses ke semua wilayah.

Menurut Tamin (1997), prasarana transportasi mempunyai dua peran utama, yaitu sebagai alat bantu untuk mengarahkan pembangunan di daerah perkotaan; dan sebagai prasarana bagi pergerakan manusia dan/atau barang yang timbul akibat adanya kegiatan di daerah perkotaan tersebut, dengan melihat dua peran yang di sampaikan di atas, peran pertama sering digunakan oleh perencana pengembang wilayah untuk dapat mengembangkan wilayahnya sesuai dengan rencana. Misalnya saja akan dikembangkan suatu wilayah baru dimana pada wilayah tersebut tidak akan pernah ada peminatnya bila wilayah tersebut tidak disediakan sistem prasarana transportasi, sehingga pada kondisi tersebut, prasarana transportasi akan menjadi penting untuk aksesibilitas menuju wilayah tersebut dan akan berdampak pada tingginya minat masyarakat untuk menjalankan kegiatan ekonomi, hal ini merupakan penjelasan peran prasarana transportasi yang kedua, yaitu untuk mendukung pergerakan manusia dan barang.

Transportasi manusia atau barang adalah kebutuhan turunan (*derived demand*) yang timbul akibat adanya kebutuhan untuk memenuhi komoditas atau jasa lainnya, dengan demikian permintaan transportasi baru akan ada apabila terdapat faktor-faktor pendorongnya. Permintaan jasa transportasi tidak berdiri sendiri, melainkan tersembunyi dibalik kepentingan yang lain. (Morlok: 1995).

Permasalahan transportasi menurut Tamin (1997) tidak hanya terbatas pada terbatasnya prasarana transportasi yang ada, namun sudah merambah kepada aspek-aspek lainnya, seperti pendapatan rendah, urbanisasi yang cepat, terbatasnya sumber daya, khususnya dana, kualitas dan kuantitas data yang

berkaitan dengan transportasi, kualitas sumber daya manusia, disiplin yang rendah, dan lemahnya perencanaan dan pengendalian, sehingga aspek-aspek tersebut memperparah masalah transportasi.

B. Simpang (Intersection)

Simpang adalah bagian yang tidak terpisahkan dari jaringan jalan yang merupakan tempat titik konflik dan tempat kemacetan karena bertemunya dua ruas jalan atau lebih, karena merupakan tempat terjadinya konflik dan kemacetan untuk itu maka perlu dilakukan pengaturan dan pemodelan pada daerah simpang ini guna menghindari dan meminimalisir terjadinya konflik dan beberapa permasalahan yang mungkin timbul di persimpangan, di daerah perkotaan biasanya banyak memiliki simpang, dimana pengemudi harus memutuskan untuk berjalan lurus atau berbelok dan pindah jalan untuk mencapai satu tujuan.

Secara umum terdapat 3 (tiga) jenis persimpangan, yaitu: (1) simpang sebidang, (2) pembagian jalur jalan tanpa *ramp*, dan (3) *interchange* (simpang susun). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) simpang sebidang (*intersection at grade*) adalah simpang dimana dua jalan atau lebih bergabung dengan tiap jalan mengarah keluar dari sebuah simpang dan membentuk bagian darinya, jalan-jalan ini disebut kaki simpang/lengan simpang atau pendekat dalam perancangan persimpangan sebidang, perlu mempertimbangkan elemen dasar yaitu:

- a. Faktor manusia, seperti kebiasaan mengemudi, waktu pengambilan keputusan, dan waktu reaksi.
- b. Pertimbangan lalu lintas, seperti kapasitas, pergerakan berbelok, kecepatan kendaraan, ukuran kendaraan dan penyebaran kendaraan.
- c. Elemen fisik, seperti jarak pandang, dan fitur-fitur geometrik.
- d. Faktor ekonomi, seperti konsumsi bahan bakar, dan nilai waktu.

C. Simpang Bersinyal (Signalized Intersection)

Simpang bersinyal (*signalized intersection*) yaitu pemakai jalan dapat melewati simpang sesuai dengan pengoperasian sinyal lalu lintas, beberapa definisi umum yang perlu diketahui dalam kaitannya dengan permasalahan simpang bersinyal diantaranya adalah:

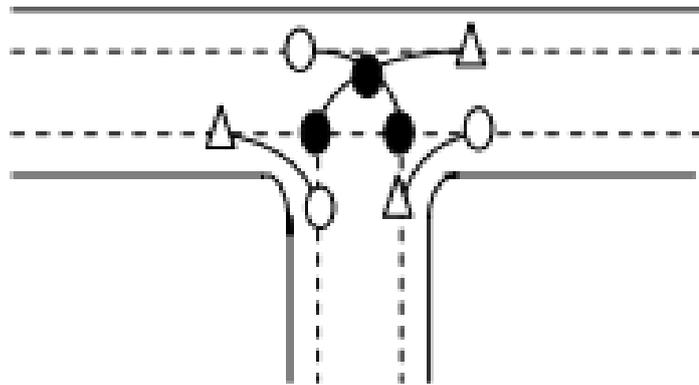
1. Tundaan (*delay*) adalah waktu tempuh tambahan untuk melewati simpang bila dibandingkan dengan situasi tanpa simpang. Tundaan terdiri dari:
 - a. Tundaan Lalulintas (DT), yakni waktu menunggu akibat interaksi lalu lintas dengan lalu lintas yang berkonflik.
 - b. Tundaan Geometri (DG), yakni akibat perlambatan dan percepatan kendaraan terganggu dan tak terganggu.
2. Panjang antrian (*queue length*) adalah panjang antrian kendaraan pada suatu pendekat (meter).
3. Antrian (*queue*) adalah jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat (kendaraan/smp).
4. Fase (*phase stage*) adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas.
5. Waktu siklus (*cycle time*) adalah waktu untuk urutan lengkap dari indikasi sinyal (detik).
6. Waktu hijau (*green time*) adalah waktu nyala lampu hijau dalam suatu pendekat (detik).
7. Rasio hijau (*green ratio*) adalah perbandingan waktu hijau dengan waktu siklus dalam suatu pendekat.
8. Waktu merah semua (*all red*) adalah waktu sinyal merah menyala secara bersamaan pada semua pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal yang berurutan (detik).
9. Waktu antar hijau (*inter green time*) adalah jumlah antara periode kuning dengan waktu merah semua antara dua fase sinyal yang berurutan (detik).
10. Waktu hilang (*lost time*) adalah jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap atau beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang berurutan (detik).
11. Derajat kejenuhan (*degree of saturation*) adalah rasio dari arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat.
12. Arus jenuh (*saturation flow*) adalah besarnya keberangkatan antrian didalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan (smp/jam hijau).
13. *Oversaturated* adalah suatu kondisi dimana volume kendaraan yang melewati suatu pendekat melebihi kapasitasnya.

Sedangkan berdasarkan Oglesby dan Hick (1982), simpang bersinyal adalah simpang yang dikendalikan oleh sinyal lalu lintas. Sinyal lalu lintas adalah semua peralatan pengatur lalu lintas yang menggunakan: tenaga listrik, rambu, dan marka jalan, untuk mengarahkan atau memperingatkan pengendara kendaraan bermotor, pengendara sepeda, dan pejalan kaki.

D. Konflik Persimpangan

Pada umumnya pengaturan lalu lintas dengan menggunakan sinyal digunakan untuk beberapa tujuan, yang antara lain adalah:

1. Menghindari terjadinya kemacetan pada simpang yang disebabkan oleh adanya konflik arus lalu lintas yang dapat dilakukan menjaga kapasitas yang tertentu selama kondisi lalu lintas puncak.
2. Memberi kesempatan kepada kendaraan lain dan atau pejalan kaki dari jalan simpang yang lebih kecil untuk memotong jalan utama.
3. Mengurangi terjadinya kecelakaan lalu lintas akibat pertemuan kendaraan yang berlawanan arah atau konflik. Perbandingan antara jumlah konflik yang terjadi pada simpang dengan lampu lalu lintas adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Konflik Lalu Lintas pada Simpang 3 Lengan
(Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

E. Ukuran Perilaku Lalu-lintas

1. Perilaku Lalu-lintas

Ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional fasilitas lalu-lintas seperti yang dinilai oleh pembina jalan (Pada umumnya di

nyatakan dalam kapasitas, derajat kejenuhan, kecepatan rata-rata, waktu tempuh, tundaan, peluang antrian, panjang antrian atau rasio kendaraan terhenti).

2. Kapasitas

Arus lalu-lintas maksimum yang dapat di pertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu (misalnya: rencana geometrik, lingkungan, komposisi lalu-lintas dan sebagainya. Catatan: Biasanya di nyatakan dalam kend/jam atau smp/jam). Kapasitas harian sebaiknya tidak digunakan sebagai ukuran karena akan bervariasi sesuai dengan faktor-k.

3. Tundaan

MKJI (2014) memuat bahwa tundaan ialah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang. Ada dua macam tundaan, yakni:

1. Tundaan geometrik ialah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di simpang dan/atau yang terhenti oleh lampu merah.
2. Tundaan lalu Lintas adalah waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang berlawanan.

4. Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan adalah rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat, derajat Kejenuhan yang dianjurkan yakni $\leq 0,85$ tetapi umumnya juga lebih tinggi dari 0,85. Ini berarti bahwa arus lalu lintas pada simpang tersebut mendekati arus jenuhnya dan akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak (PKJI: 2014).

5. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

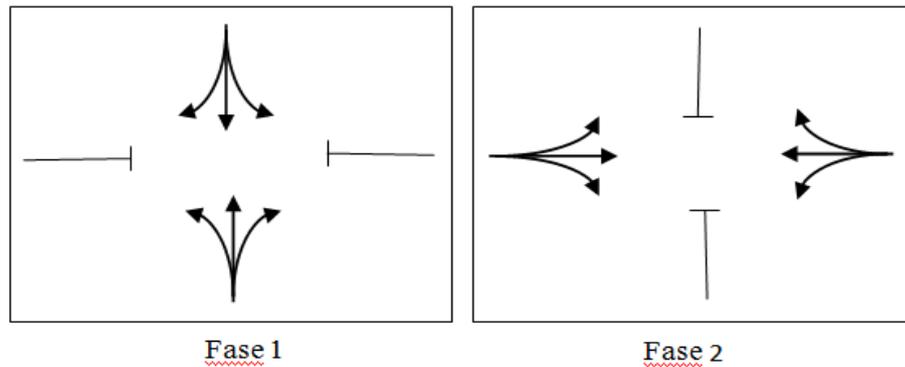
Munawar (2009) menjelaskan waktu siklus (*cycle time*) adalah waktu satu periode lampu lalu lintas misalnya pada saat suatu arus diruas jalan mulai hijau, hingga pada ruas jalan tersebut mulai hijau lagi.

Waktu hijau merupakan waktu isyarat hijau sebagai izin berjalan bagi kendaraan pada setiap lengan simpang yang ditinjau.

6. Fase

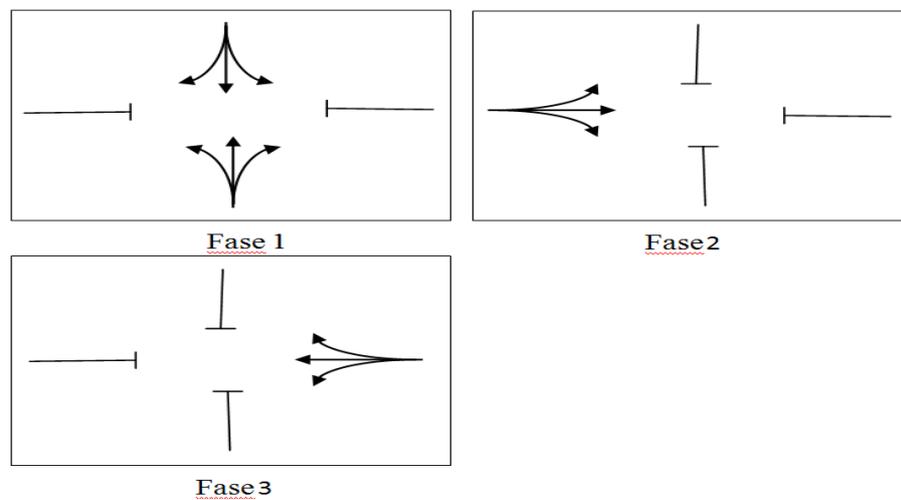
Fase adalah suatu rangkaian dari kondisi yang diberlakukan untuk suatu arus atau beberapa arus, yang mendapat identifikasi lampu lalu-lintas yang sama. Contoh:

1. Persimpangan dengan 2 Fase



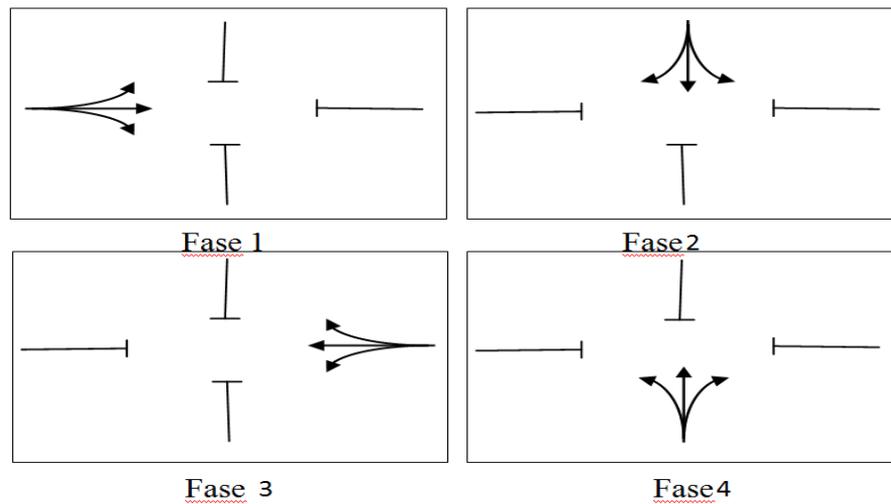
Gambar 3.2 Simpang dengan 2 Fase
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

2. Suatu persimpangan dengan 3 Fase



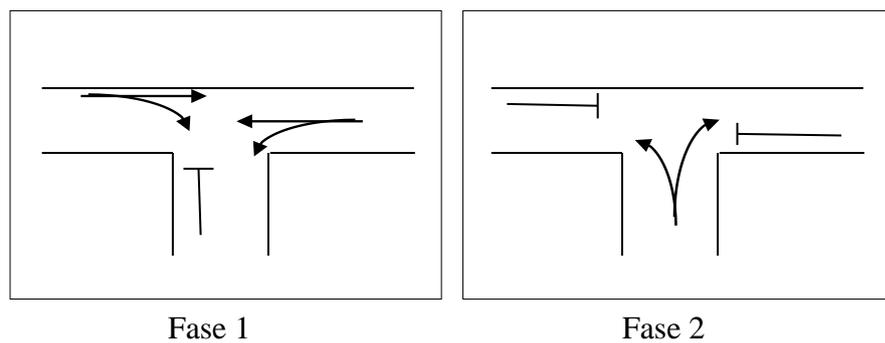
Gambar 3.3 Simpang dengan 3 Fase
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

3. Suatu persimpangan dengan 4 Fase



Gambar 3.4 Simpang dengan 4 Fase
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

4. Suatu persimpangan dengan 2 Fase



Gambar 3.5 Simpang dengan 3 Fase
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

7. Tingkat Pelayanan

Kinerja suatu simpang dapat ditentukan dengan memperhatikan panjang antrian dan tundaan yang terjadi dan juga derajat kejenuhan $\leq 0,85$. Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015 memuat beberapa indikator yang harus terpenuhi dalam tingkat pelayanan, meliputi rasio antara volume dan kapasitas jalan, kecepatan yang merupakan kecepatan batas atas dan batas bawah yang ditetapkan berdasarkan kondisi daerah, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, ketertiban, kelancaran, serta penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas. Adapun tingkat pelayanan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Tingkat Pelayanan pada Persimpangan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)
A	$\leq 5,0$
B	5,10 - 15,0
C	15,1 - 25,0
D	25,1 - 40,0
E	40,1 - 60,0
F	>60

(Sumber: Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015)

F. Bangkitan Perjalanan

Bangkitan lalu lintas adalah tahapan pemodelan yang memperkirakan jumlah pergerakan yang berasal dari suatu zona atau tata guna lahan dan jumlah pergerakan yang tertarik kesuatu tata guna lahan atau zona. Pergerakan lalu lintas merupakan fungsi tata guna lahan yang menghasilkan pergerakan lalu lintas. Bangkitan lalu lintas ini mencakup lalu lintas yang meninggalkan suatu lokasi dan lalu lintas yang menuju atau tiba kesuatu lokasi. Hasil keluaran dari perhitungan bangkitan dan tarikan lalu lintas berupa jumlah kendaraan, orang, atau angkutan barang per satuan waktu, misalnya kendaraan/jam. (Tamin: 1997).

Sedangkan menurut Warpani (1990) bangkitan lalu lintas adalah banyaknya lalu lintas yang ditimbulkan oleh suatu zona atau daerah per satuan waktu. Jumlah lalu lintas bergantung pada kegiatan kota, karena penyebab lalu lintas ialah adanya kebutuhan manusia untuk melakukan kegiatan dan mengangkut barang kebutuhannya.

Kota Yogyakarta sebagai salah satu kunjungan wisata yang sangat potensial dan sebagai kota pendidikan yang terkemuka akan menjadi daya tarik bagi warga masyarakat di luar daerah untuk datang berkunjung. Kondisi ini pada akhirnya membawa konsekuensi terhadap tingginya permintaan akan hunian serta fasilitas lainnya. (Muchlisin: 2016).

G. Tarikan Perjalanan

Dalam buku “Perencanaan dan Pemodelan Transportasi” karangan Ofyar Z.Tamin pada tahun 2010 dituliskan bahwa tarikan pergerakan adalah jumlah pergerakan yang tertarik menuju ke suatu zona atau tata guna lahan dan jumlah pergerakan yang tertarik.

H. Analisis Dampak Lalu-Lintas (ANDALALIN)

Menurut Tamin (2000), analisis dampak lalu lintas pada dasarnya merupakan analisis pengaruh pengembangan tata guna lahan terhadap sistem pergerakan arus lalu-lintas disekitarnya yang diakibatkan oleh bangkitan lalu-lintas yang baru, lalu lintas yang beralih, dan oleh kendaraan keluar masuk dari / ke lahan tersebut.

1. Fenomena Dampak Lalu-Lintas

Menurut Murwono (2003), fenomena dampak lalu-lintas diakibatkan oleh adanya pembangunan dan pengoperasian pusat kegiatan yang menimbulkan bangkitan lalu lintas yang cukup besar, seperti pusat perkantoran pusat perbelanjaan, terminal, dan lain-lain. Lebih lanjut dikatakan bahwa dampak lalu lintas terjadi pada 2 (dua) tahap, yaitu:

- a. Tahap konstruksi/ pembangunan. Pada tahap ini akan terjadi bangkitan lalu lintas akibat angkutan material dan mobilisasi alat berat yang membebani ruas jalan pada rute material;
- b. Tahap pasca konstruksi / saat beroperasi. Pada tahap ini akan terjadi bangkitan lalu-lintas dari pengunjung, pegawai dan penjual jasa transportasi yang akan membebani ruas-ruas jalan tertentu, serta timbulnya bangkitan parkir kendaraan.

Tamin (2000) mengatakan bahwa setiap ruang kegiatan akan "membangkitkan" pergerakan dan "menarik" pergerakan yang intensitasnya tergantung pada jenis tata guna lahannya. Bila terdapat pembangunan dan pengembangan kawasan baru seperti pusat perbelanjaan, superblok dan lain-lain tentu akan menimbulkan tambahan bangkitan dan tarikan lalu lintas baru akibat kegiatan tambahan di dalam dan sekitar kawasan tersebut. Karena

itulah, pembangunan kawasan baru dan pengembangannya akan memberikan pengaruh langsung terhadap sistem jaringan jalan di sekitarnya.

Dikun (1993) menyatakan bahwa analisis dampak lalu-lintas harus merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari keseluruhan proses perencanaan, evaluasi rancang bangun dan pemberian ijin. Untuk itu diperlukan dasar peraturan formal yang mewajibkan pemilik melakukan analisis dampak lalu lintas sebelum pembangunan dimulai didalam analisis dampak lalu lintas perkiraan banyaknya lalu-lintas yang dibangkitkan oleh fasilitas tersebut, merupakan hal yang mutlak penting untuk dilakukan termasuk dalam proses analisis dampak lalu lintas adalah dilakukannya pendekatan manajemen lalu lintas yang dirancang untuk menghadapi dampak dari perjalanan terbangkitkan terhadap jaringan jalan yang ada.

Djamal (1993) mengemukakan 5 (Lima) faktor / elemen penting yang akan menimbulkan dampak apabila sistem guna lahan berinteraksi dengan lalu lintas. Kelima elemen tersebut adalah:

- a. Elemen bangkitan / tarikan perjalanan, yang dipengaruhi oleh faktor tipe dan kelas peruntukan, intensitas serta lokasi bangkitan
- b. Elemen kinerja jaringan ruas jalan, yang mencakup kinerja ruas jalan dan persimpangan
- c. Elemen akses, berkenaan dengan jumlah dan lokasi akses
- d. Elemen ruang parkir
- e. Elemen lingkungan, khususnya berkenaan dengan dampak polusi dan kebisingan.

Lebih lanjut, *The Institution of Highways and Transportation* (1994) menyatakan bahwa besar-kecilnya dampak kegiatan terhadap lalu lintas dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut:

- a. Bangkitan / tarikan perjalanan,
- b. Menarik tidaknya suatu pusat kegiatan,
- c. Tingkat kelancaran lalu lintas pada jaringan jalan yang ada,
- d. Prasarana jalan di sekitar pusat kegiatan,
- e. Jenis tarikan perjalanan oleh pusat kegiatan,
- f. Kompetisi beberapa pusat kegiatan yang berdekatan.

2. Kondisi Lingkungan

Beberapa faktor lingkungan yang cukup mempengaruhi menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 adalah:

a. Ukuran Kota

Ukuran kota adalah jumlah penduduk dalam suatu daerah perkotaan. Kota yang lebih kecil menunjukkan perilaku pengemudi yang kurang gesit dan kendaraan yang kurang modern, sehingga menyebabkan kapasitas dan kecepatan jadi lebih rendah pada arus tertentu jika dibandingkan dengan kota yang lebih besar.

b. Hambatan Samping

Hambatan samping adalah dampak dari perilaku lalu lintas dan aktifitas pada suatu pendekatan akibat gerakan pejalan kaki, kendaraan parkir dan berhenti, kendaraan lambat (becak, delman, gerobak, dll), kendaraan masuk dan keluar dari lahan samping jalan. Hambatan samping dapat dinyatakan dalam tingkatan rendah, sedang dan tinggi, untuk lebih jelasnya kondisi lingkungan dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Penentuan Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping (Sfc)	Kode	Jumlah Berbobot Kejadian	Kondisi Khusus
		per 200m/jam (dua sisi)	
Sangat rendah	VL	<100	Daerah pemukiman: Jalan samping tersedia
Rendah	L	100-299	Daerah pemukiman: Beberapa angkutan umum
Sedang	M	300-499	Daerah industri: Beberapa toko sisi jalan
Tinggi	H	500-899	Daerah komersial: Aktivitas sisi jalan tinggi
Sangat tinggi	VH	>900	Daerah komersial: aktivitas pasar sisi jalan

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

c. Kondisi lingkungan jalan

Lingkungan jalan dapat dibedakan menjadi tiga bagian utama yang penentuannya berdasarkan pengamatan visual yaitu:

- 1) Komersial (*Commercial*) yaitu tata guna komersial seperti toko, *mall*, restoran, kantor dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
- 2) Pemukiman (*Residential*) yaitu tata guna lahan tempat tinggal
- 3) Akses terbatas yaitu jalan masuk langsung terbatas atau tidak sama sekali.

3. Analisis Menggunakan MKJI 1997

Pada tahapan analisis ini, hasil data pengamatan dikumpulkan yang selanjutnya akan dilakukan proses perhitungan menggunakan peraturan Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI) 1997.

a. Kondisi Geometri dan Lingkungan

Kondisi geometri digambarkan dalam bentuk sketsa yang memberikan informasi lebar jalan, lebar bahu, dan lebar median serta petunjuk arah untuk tiap lengan simpang lebar pendekat untuk tiap lengan diukur kurang lebih sepuluh meter dari garis henti. Kondisi lingkungan jalan menggambarkan tipe lingkungan jalan yang dibagi dalam tiga tipe, yaitu: tipe komersial, pemukiman dan akses terbatas.

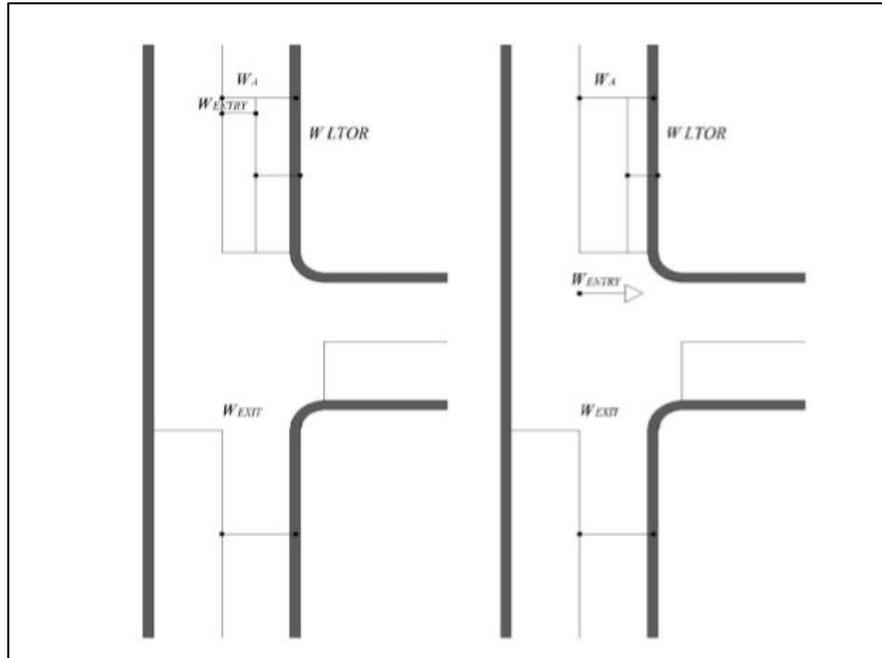
1) Lebar Efektif

Perhitungan lebar efektif (W_e) pada tiap pendekat didasarkan pada informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{Masuk}) dan lebar keluar (W_{Keluar})

2) Untuk *Approach* Tanpa Belok Kiri Langsung (LTOR)

Periksa W_{Keluar} , jika $W_{Keluar} < W_E \times (1 - \rho_{RT} - \rho_{LTOR})$, W_E sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{Keluar} dan analisis penentuan waktu sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk lalu lintas lurus saja, untuk menghitungnya digunakan $Q = Q_{ST}$.

3) Untuk *approach* dengan belok kiri langsung (LTOR) W_E dapat dihitung untuk pendekat dengan atau tanpa pulau lalu lintas, seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Penentuan Lebar Efektif
(Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

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

- a) Arus lalu lintas belok kiri langsung Q_{LTOR} dikeluarkan dari perhitungan selanjutnya, yaitu $Q = Q_{ST} + Q_{RT}$

Penentuan lebar pendekat efektif dengan perhitungan:

$$W_e = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} W_a - W_{ltor} \\ W_{keluar} \end{array} \right\}$$

- b) Periksa W_{keluar} (Hanya untuk pendekat tipe P) Jika $W_{keluar} < W_e \times (1 - \rho_{RT} - \rho_{LTOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan nilai W_{keluar} dan analisis penentuan waktu sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk lalulintas baru saja, yaitu $Q = Q_{ST}$
- 5) $W_{LTOR} < 2$ m dengan anggapan bahwa kendaraan LTOR tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal merah.
- a) Dengan cara memasukan persamaan Q_{LTOR} dalam perhitungan selanjutnya

$$W_E = \min \left\{ \begin{array}{l} W_A \\ W_{EXIT} + W_{L TOR} \\ W_A \times (1 + \rho_{L TOR}) - W_{L TOR} \end{array} \right.$$

b) Periksa W_{keluar} (hanya untuk pendekat tipe P)

Jika $W_{keluar} < W_E \times (1 - \rho_{RT} - \rho_{L TOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{keluar} dan analisis penentuan waktu sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk lalulintas lurus saja, yaitu $Q = Q_{ST}$

b. Kondisi Arus Lalu Lintas

Data lalu lintas dibagi dalam tipe kendaraan yaitu: kendaraan tidak bermotor (UM), sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV). Menurut manual kapasitas jalan Indonesia (MKJI: 1997) kendaraan tidak bermotor dikategorikan sebagai hambatan samping.

Untuk perhitungan arus lalu lintas digunakan satuan smp/jam yang dibagi dalam dua tipe yaitu; arus terlindung (*protected traffic flow*), dan arus berlawanan arah (*opposed traffic flow*), yang tergantung pada fase sinyal dan gerakan belok kanan. Nilai konversi ini diterangkan dalam Tabel 3.3

Tabel 3.3 Nilai Konversi smp

Tipe Kendaraan	Nilai smp	
	Terlindung	Terlawan
LV	1,0	1,0
HV	1,3	1,3
MC	0,2	0,4

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

1) Perhitungan Penilaian Arus Jenuh (S)

Arus jenuh adalah hasil perkalian dari arus jenuh dasar (S_0) untuk keadaan ideal dengan faktor penyesuaian untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya dalam satuan smp/jam hijau. Perhitungan ini dapat menggunakan rumus:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ (Smp/jam hijau)} \quad (3.1)$$

dimana:

S_o = Arus jenuh dasar

F_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota

F_{SF} = Faktor penyesuaian gangguan samping

F_G = Faktor penyesuaian kelandaian

F_P = Faktor penyesuaian parkir

F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri

a) Arus Jenuh Dasar (S_o)

Arus jenuh dasar (S_o) dibagi menjadi 2 tipe yaitu:

i. Tipe pendekat O (arus terlawan)

Untuk tipe pendekat O Arus jenuh dasar didapat dari grafik yang terdapat dalam MKJI 1997 (untuk pendekat tanpa garis pemisah belok kanan) dan (untuk pendekat dengan garis pemisah belok kanan), S_o sebagai fungsi dari lebar efektif (W_e) dan lalu lintas belok kanan (Q_{RTO}). Cara menggunakan gambar adalah dengan mencari nilai arus dengan lebar pendekat yang lebih besar dan lebih kecil dari W_e aktual dan kemudian diinterpolasi.

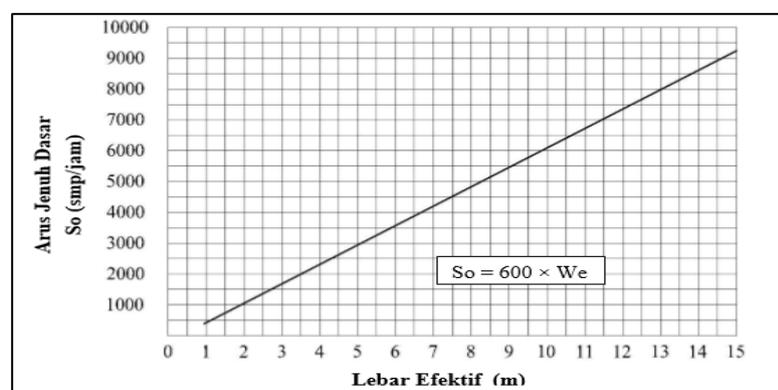
ii. Tipe pendekat P (arus terlindung).

$$S_o = 600 \times W_e \text{ (smp/jam hijau)} \quad (3.2)$$

dimana:

S_o = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

W_e = Lebar efektif



Gambar 3.7 Arus Jenuh Dasar untuk Tipe Pendekat P
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

- b) Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{CS}) ditentukan pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Penduduk kota (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: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

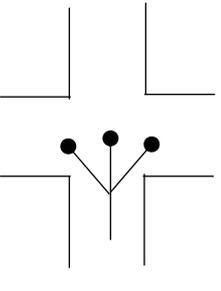
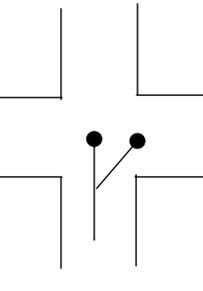
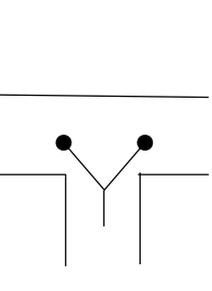
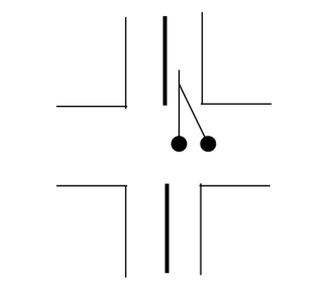
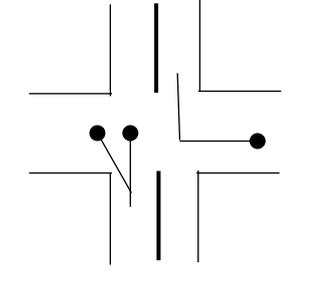
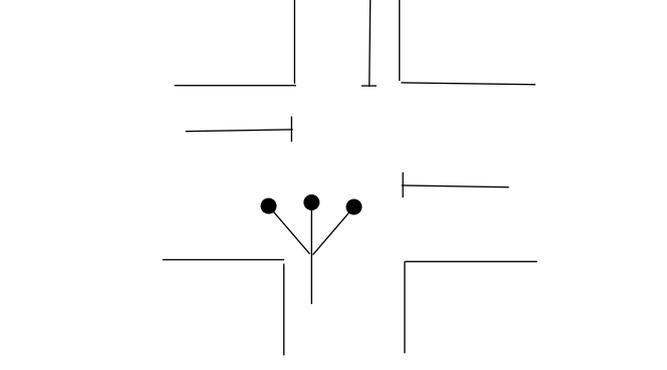
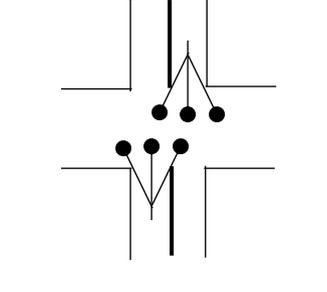
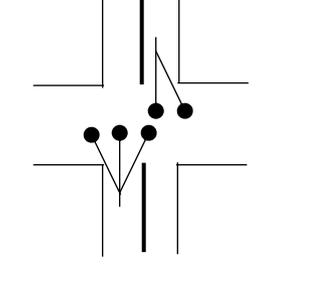
- c) Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{SF})
- a) Faktor koreksi hambatan samping (F_{SF}) merupakan fungsi dari tipe lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor.
 - b) Jika gangguan samping tidak diketahui dapat diasumsikan nilai yang tinggi agar tidak terjadi *over estimate* untuk kapasitas. Faktor ini dapat ditentukan berdasar tabel 3.5.
 - c) Penentuan tipe pendekat dengan tipe terlindung (P) atau terlawan (O) didasarkan pada teori pada gambar 3.6.

Tabel 3.5 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan (O)	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung (P)	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan (O)	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung (P)	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan (O)	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung (P)	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan (O)	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung (P)	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan (O)	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung (P)	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan (O)	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung (P)	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	T/S/R	Terlawan (O)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung (P)	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

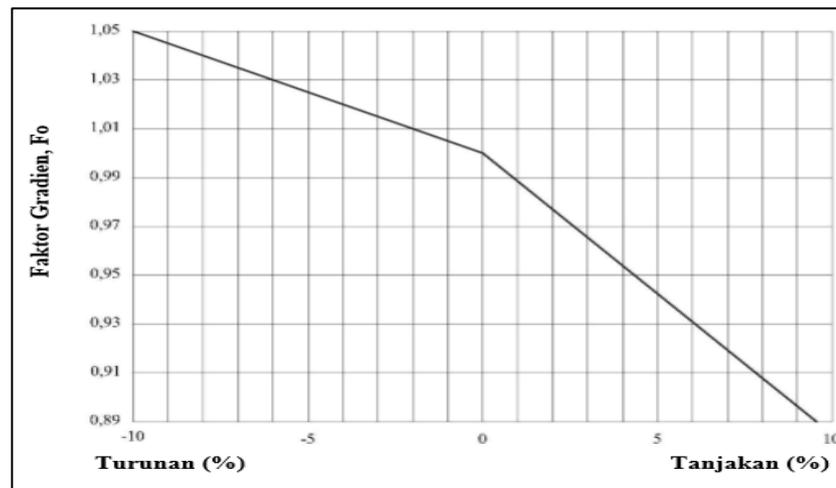
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 3.6 Penentuan Tipe Pendekat

Tipe Pendekat	Keterangan	Contoh Konfigurasi Pendekat		
Terlindung (P)	Tanpa Konflik lalu lintas dari arah berlawanan	1 – jalur	1 – jalur	T – <i>junction</i>
				
		2 – jalur pembatasan belok kanan		
				
		2 – jalur dengan pembatasan fase sinyal tiap arah		
				
Berlawanan(O)	Terjadi konflik lalu lintas dari arah berlawanan	2 – jalur lalu-lintas berlawanan pada fase yang sama, tidak ada pembatas belok kanan		
				

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

- d) Faktor penyesuaian gradien (F_G) adalah fungsi dari kelandaian lengan



Gambar 3.8 Penentuan Koreksi Gradien F_G
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

- e) Faktor Penyesuaian Parkir (F_P)

Faktor penyesuaian parkir (F_P) adalah jarak dari garis henti kendaraan yang parkir pertama dan lebar pendekat ditentukan dari formula di bawah ini atau dipelihatkan dalam gambar 3.9.

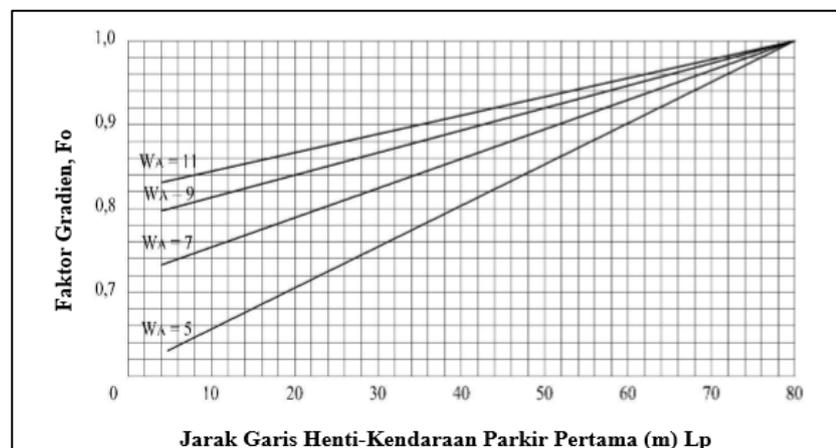
$$F_P = (L_p / 3 - (W_A - 2) \times (L_p / 3 - g) / W_A) / g \quad (3.3)$$

dimana:

L_P = Jarak antar garis henti dan kendaraan yang parkir pertama

W_A = Lebar pendekat (m)

g = Waktu hijau pendekat yang bersangkutan (detik)



Gambar 3.9 Faktor Koreksi Parkir
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

f) Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT})

Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT}) ditentukan sebagai fungsi perbandingan kendaraan yang belok kanan (P_{RT}), faktor ini hanya untuk tipe pendekatan P, jalan dua lajur dan diperlihatkan pada gambar 3.6. Untuk jalan dua lajur tanpa median, kendaraan yang belok kanan terlindung dengan tipe pendekatan P cenderung untuk melewati garis tengah sebelum garis henti ketika mengakhiri belokannya. Kasus ini akan menambah arus jenuh dengan perbandingan yang tinggi pada lalu lintas belok kanan. Setiap pendekatan harus dihitung perbandingan belok kanan (P_{RT}), yang diformulasikan dibawah ini:

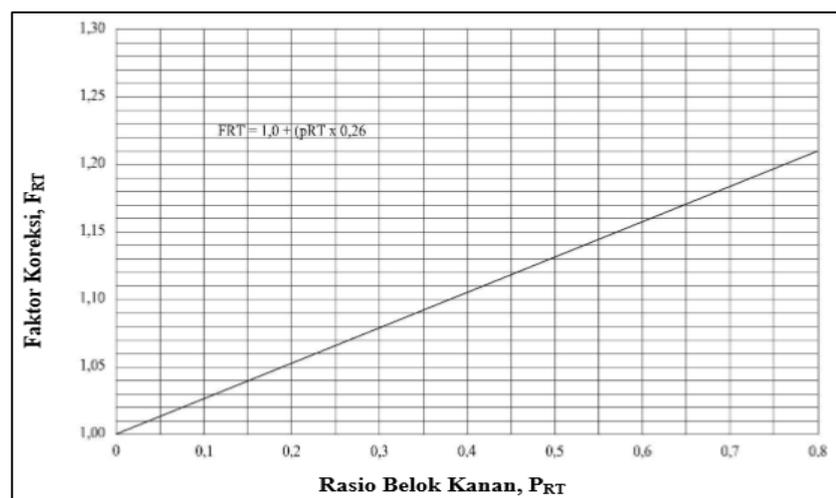
$$F_{RT} = 1 + (P_{RT} \times 0,26) \quad (3.4)$$

$$P_{RT} = \frac{RT \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (3.5)$$

dimana:

RT = Arus lalu lintas belok kanan

Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) ditentukan sebagai fungsi perbandingan belok kanan (P_{RT}), Faktor ini hanya untuk tipe pendekatan tanpa LTOR.



Gambar 3.10 Faktor Koreksi Belok Kanan
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

g) Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Faktor penyesuaian belok kiri diketahui melalui rasio kendaraan belok kiri Formulir SIG II (lampiran) contoh perhitungan untuk F_{LT} pada jam 16.00 - 17.00 WIB dengan menggunakan Persamaan 3.6.

Dalam pendekat yang terlindung, tanpa perlengkapan untuk LTOR, kendaraan yang belok kiri cenderung menurun pelan dan dapat mengurangi arus jenuh pada pendekat. Pada umumnya lebih pelan pada lalu lintas dalam pendekat tipe O dan tidak ada koreksi yang dimasukkan pada perbandingan untuk belok kiri.

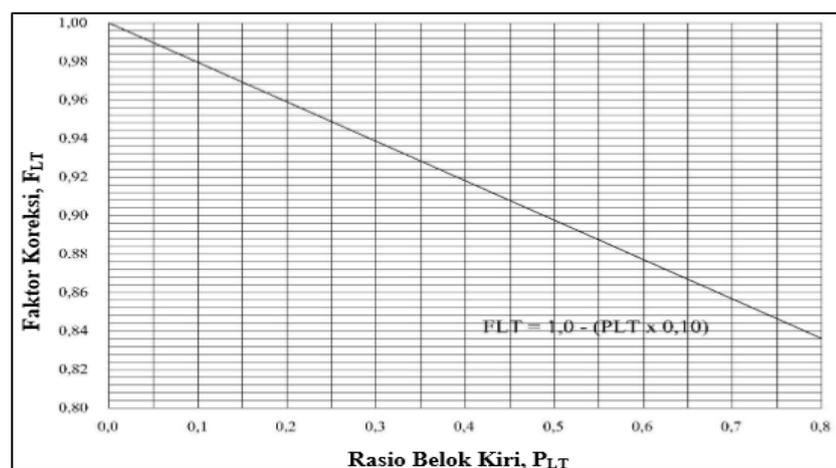
Gerakan belok kiri pada saat lampu merah (*left turn on red*, LTOR) diijinkan jika mempunyai lebar pendekat yang cukup sehingga dapat melintasi antrian pada kendaraan yang lurus dan belok kanan. Setiap pendekat harus dihitung perbandingan belok kiri (P_{LT}), yang diformulasikan dibawah ini:

$$F_{LT} = 1 - (P_{LT} \times 0,16) \quad (3.6)$$

$$P_{LT} = \frac{LT \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (3.7)$$

dimana:

LT = Arus lalu lintas belok kiri



Gambar 3.11 Faktor Koreksi Belok Kiri
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

2) Kapasitas (C)

Kapasitas untuk tiap lengan simpang dihitung dengan formula dibawah ini:

$$C = S \times g/c \quad (3. 8)$$

dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus jenuh (smp/jam)

g = Waktu hijau (detik)

c = Waktu siklus yang ditentukan (detik)

3) Derajat Kejenuhan

Dari perhitungan kapasitas dapat dicari nilai derajat kejenuhan dengan rumus dibawah ini:

$$DS = Q/C \quad (3. 9)$$

dimana:

DS = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalulintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

4) Waktu Siklus dan Waktu Hijau

a) Waktu siklus sebelum penyesuaian (Cua)

Waktu siklus untuk fase dapat dihitung dengan rumus atau gambar di bawah ini:

$$Cua = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - IFR)} \quad (3. 10)$$

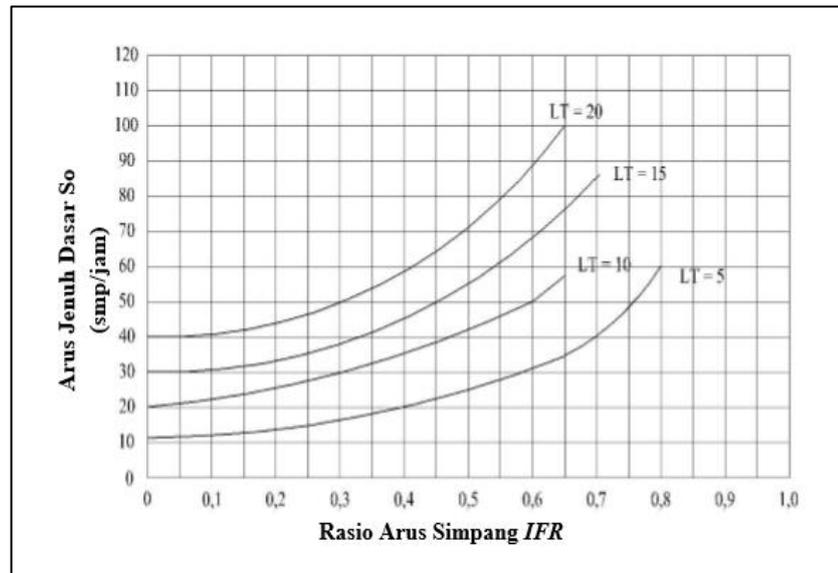
dimana:

Cua = Waktu siklus sinyal (detik)

LTI = Total waktu hilang persiklus (detik)

IFR = Perbandingan arus simpang $\sum (FR_{CRIT})$

Jika alternatif sinyal yang direncanakan dievaluasi, menghasilkan nilai yang rendah untuk (IFR = LT/c), maka hasil ini akan lebih efisien



Gambar 3.12 Penentuan Waktu Siklus
(Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

Waktu siklus yang dihasilkan diharapkan sesuai batas yang disarankan oleh Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), sebagai pertimbangan teknik lalu lintas, yang diterangkan dalam tabel 3.7 berikut ini:

Tabel 3.7 Waktu Siklus yang disarankan

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

(Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

Waktu siklus yang rendah biasanya pada simpang dengan lebar lebih kecil dari 10 m, sedangkan pada simpang yang lebarnya lebih dari 10 m, biasanya mempunyai waktu siklus yang lebih besar pula. Waktu siklus yang lebih rendah dari yang disarankan akan menyebabkan lebih sulit bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan, hal ini dapat menjadi pertimbangan, sedangkan waktu siklus yang lebih besar dari 130 detik harus dihindarkan, kecuali untuk kasus yang sangat khusus,

waktu siklus ini menghasilkan kapasitas simpang yang cukup besar.

b) Waktu hijau (g_i)

Perhitungan waktu hijau untuk tiap fase dijelaskan dengan rumus di bawah ini:

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR \quad (3.11)$$

dimana:

g_i = Waktu hijau dalam fase – i (detik)

C_{ua} = Waktu siklus yang ditentukan (detik)

LTI = Total waktu hilang persiklus

PR = Perbandingan fase $FR_{CRIT} \div \sum (FR_{CRIT})$

Waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindarkan, hal ini mungkin menghasilkan terlalu banyak pengemudi yang berlawanan setelah lampu merah dan kesulitan bagi pejalan kaki ketika menyebrang jalan

c) Waktu siklus yang disesuaikan (c)

Waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasarkan pada pembulatan waktu hijau yang diperoleh dan waktu hilang (LTI)

$$C = \sum g + LTI \quad (3.12)$$

d) Perbandingan arus dengan arus jenuh

Perhitungan perbandingan arus (Q) dengan arus jenuh (S) untuk tiap pendekatan menggunakan persamaan berikut:

$$FR = Q / S \quad (3.13)$$

Perbandingan arus kritis (FR_{CRIT}) yaitu nilai perbandingan arus tertinggi dalam tiap fase jika nilai perbandingan arus kritis untuk tiap fase dijumlahkan akan didapat perbandingan arus simpang.

$$IFR = \sum (FR_{CRIT}) \quad (3.14)$$

Penghitungan perbandingan fase (*phase ratio*, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara FR_{CRIT} dan IFR

$$PR = FR_{CRIT} / IFR \quad (3.15)$$

5) Tingkat Kinerja

Dari data hasil hitungan sebelumnya maka dapat diketahui tingkat performansi suatu samping, antara lain: panjang antrian kendaraan terhenti dan tundaan. Dalam perhitungan ini beberapa persiapan antara lain persiapan waktu yang semula jam diganti detik dan dihitung nilai perbandingan hijau, yang didapat dari perhitungan sebelumnya.

$$GR = g/c \quad (3.16)$$

dimana:

GR = Rasio Hijau

g = Waktu hijau

c = Waktu siklus

a) Panjang antrian

Dari nilai derajat jenuh dapat digunakan untuk menghitung jumlah antrian smp (NQ_1) yang merupakan sisa dari fase hijau terdahulu didapat formula dan gambar 3.16

Untuk $DS > 0,5$

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(ds - 1) - \sqrt{(ds - 1)^2 - \frac{8 \times (ds - 0,5)}{c}} \right] \quad (3.17)$$

Untuk $DS \leq 0,5$

$$NQ_1 = 0$$

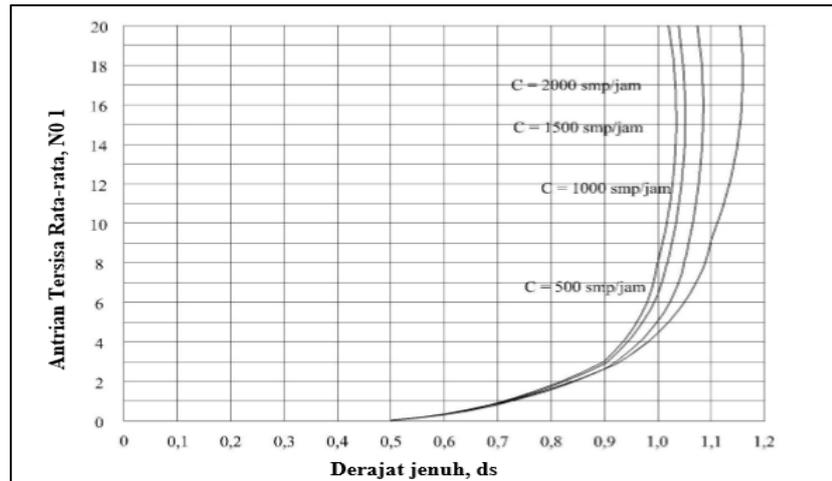
dimana:

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = Derajat jenuh

GR = Rasio hijau

C = Kapasitas (smp/jam)



Gambar 3. 13 Jumlah Antrian Kendaraan
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Kemudian dihitung jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2), dengan formula berikut:

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times ds} \times \frac{Q}{3600} \quad (3.18)$$

dimana:

Q = Volume lalu lintas yang masuk di luar LTOR (smp/detik)

C = Waktu siklus (detik)

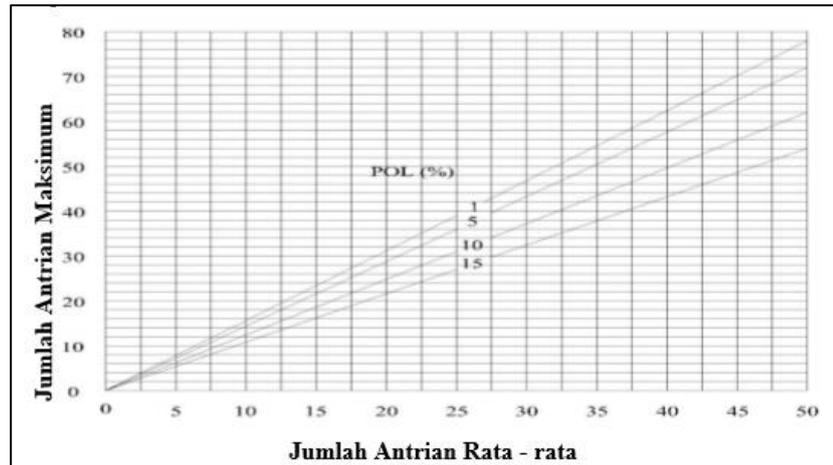
Ds = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau (detik)

Untuk menghitung jumlah antrian total dengan menjumlahkan kedua hasil diatas

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (3.19)$$

Untuk menentukan NQ_{MAX} dapat dicari dari gambar di bawah ini, dengan menghubungkan nilai NQ dan *probabilitas overloading* P_{OL} (%), untuk perencanaan dan desain nilai $P_{OL} < 5\%$ sedangkan untuk operasional $P_{OL} 5 - 10\%$



Gambar 3.14 Perhitungan Jumlah Antrian (NQ_{max}) Dalam Smp
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Perhitungan panjang antrian (QL) didapat dari perkalian antara NQ_{Max} dengan rata-rata area yang ditempati tiap smp (20 m²) dan dibagi lebar masuk (W_{masuk}) yang dirumuskan dibawah ini:

$$QL = \frac{NQ_{max} \times 20}{W_{masuk}} \quad (3.20)$$

dimana:

QL = Panjang antrian

NQ_{Max} = (formulir SIG V kolom 9)

W_{masuk} = Lebar masuk

b) Kendaraan terhenti

Angka henti (NS) adalah jumlah rata-rata berhenti per smp, termasuk berhenti berulang dalam antrian, angka henti pada masing-masing pendekatan dapat dihitung berdasar rumus berikut:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \quad (3.21)$$

dimana:

NS = Rasio kendaraan (smp/jam)

NQ = 7,2 (Jumlah antrian total, formulir SIG V kolom 8)

C = Waktu siklus (detik)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Jumlah kendaraan terhenti (N_{sv}) pada masing-masing pendekat dapat dihitung dengan rumus:

$$N_{sv} = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \quad (3.22)$$

Angka henti seluruh simpang didapatkan dengan membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam

$$N_{Stot} = \frac{\sum N_{sv}}{Q_{tot}} \quad (3.23)$$

c) Tundaan

Tundaan lalu lintas rata-rata tiap pendekat ditentukan dengan formula berikut:

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \quad (3.24)$$

dimana:

DT = Tundaan lalulintas rata-rata (det/smp)

C = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

$$A = \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times ds)} \quad (3.25)$$

dimana:

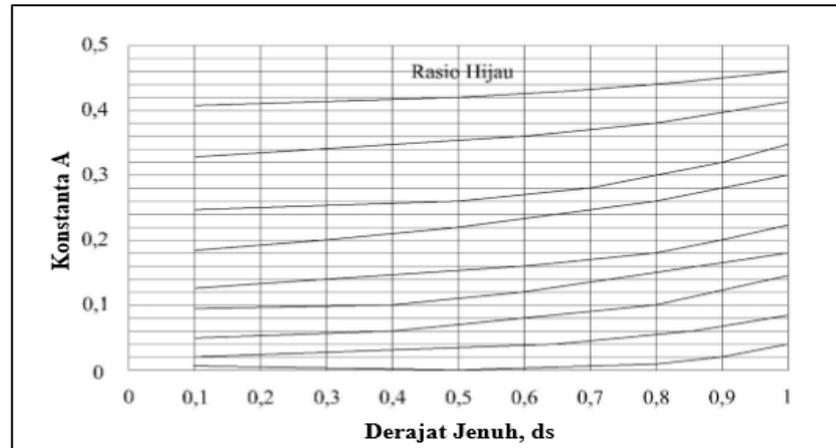
GR = Rasio hijau (g/c)

DS = Derajat jenuh

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = Kapasitas (smp/jam)

Nilai A merupakan fungsi dari perbandingan hijau (GR) dan derajat jenuh (DS) yang diperoleh dari gambar 3.15 yaitu dengan memasukkan nilai derajat jenuh (DS) pada sumbu horizontal dan memilih rasio hijau (GR) yang sesuai, kemudian tarik garis mendatar maka didapat nilai A pada sumbu vertikal.



Gambar 3.15 Penentuan Nilai A dalam Formula Tundaan
(Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997*)

Tundaan geometri rata-rata masing-masing *approach* (DG) akibat perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang dan atau dihentikan oleh lampu lalu lintas dihitung berdasarkan formula berikut:

$$DG = (1 - \rho_{sv}) \times \rho_T \times 6 + (\rho_{sv} \times 4) \quad (3.26)$$

dimana:

DG = Tundaan geometri rata-rata untuk *approach* (detik/smp)

ρ_{sv} = Rasio kendaraan terhenti pada *approach* = min

ρ_T = Rasio kendaraan berbelok pada *approach*

Tundaan geometri rata-rata LTOR diambil sebesar 6 detik, Tundaan rata-rata (det/smp) adalah penjumlahan dari tundaan lalu lintas rata-rata dan tundaan geometri rata-rata dihitung berdasarkan formula berikut:

$$D = DT + DG \quad (3.27)$$

Tundaan total (smp.det) adalah perkalian antara tundaan rata-rata dengan arus lalu lintas

$$\text{Tundaan total (smp.det)} = D \times Q \quad (3.28)$$

Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D_1) didapat dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total dihitung berdasarkan formula berikut:

$$D_1 = \frac{\sum(Q \times D_j)}{Q_{tot}} \quad (\text{det/smp}) \quad (3.29)$$