

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposisi Lalu Lintas

Di dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, nilai arus lalu lintas mencerminkan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan arus lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp) yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan berikut:

- a. Kendaraan ringan (LV) termasuk mobil penumpang, minibus, pik-up, truk kecil dan jeep.
- b. Kendaraan berat (HV) termasuk truk dan bus.
- c. Sepeda Motor (MC).
- d. Kendaraan tidak bermotor (UM) termasuk sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong.

Ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk masing-masing tipe kendaraan tergantung pada tipe jalan dan arus lalu lintas total yang dinyatakan dalam kend/jam. Semua nilai emp untuk kendaraan yang berbeda ditunjukkan dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 2.1.** Nilai emp untuk jalan perkotaanterbagi dan satu arah

Tipe jalan: Jalan satu arah dan Jalan terbagi	Arus lalu-lintas per lajur (kend/jam)	Emp	
		HV	MC
Dua Lajur satu arah (2/1) dan Empat lajur terbagi (4/2D)	0	1,3	0,4
Tiga lajur satu arah (3/1) dan Enam lajur erbagi (4/2D)	$\geq 1050$	1,2	0,25
	0	1,3	0,4
	$\geq 1100$	1,2	0,25

Sumber: MKJI (1997)

Dalam MKJI (1997) kendaraan lambat/tidak bermotor (UM) dianggap sebagai hambatan samping dengan bobot 0,4 kali jumlah kendaraan lambat perjam.

## 2.2 Persimpangan

Simpang adalah simpul pada jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan kendaraan berpotongan. Lalu lintas pada masing-masing lengan simpang menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersamaan dengan lalu lintas lainnya.

Persimpangan jalan terdiri dari dua kategori utama, yaitu: (Edward K. Morlock, 1995:763)

### a) Persimpangan Sebidang (At Grade)

Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk ke persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalur yang dapat berlawanan dengan lalu lintas lainnya, seperti persimpangan pada jalan-jalan.

Sesuai dengan kondisi lalu lintasnya, dimana terdapat pertemuan jalan dengan arah pergerakan yang berbeda, maka simpang sebidang merupakan lokasi yang potensial untuk menjadi:

- Titik pusat konflik lalu lintas yang bertemu
- Penyebab kemacetan/*congestion*, akibat perubahan kapasitas
- Tempat sering terjadinya kecelakaan
- Konsentrasi penyebrang jalan/*pedestrian*

### b) Persimpangan Tak Sebidang

Persimpang tak sebidang adalah memisah-misahkan lalu lintas pada jalur yang berbeda-beda sedemikian rupa sehingga persimpangan jalur dari kendaraan-kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan-kendaraan memisah dari atau bergabung menjadi satu pada jalur gerak yang sama (Alik Ansyori Alamsyah, 2008).

## 2.3 Macam-macam Simpang

Pada dasarnya ada dua tipe simpang yang kita ketahui, yaitu:

### a) Simpang Bersinyal

Simpang-simpang bersinyal merupakan bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai. Simpang bersinyal biasanya memerlukan metode dan perangkat lunak khusus dalam analisisnya. Pengaturan kesempatan secara bergiliran ini adalah untuk menjaga kebebasan arus secepat mungkin tanpa mengganggu keselamatan para pengguna kendaraan.

Kapasitas simpang dapat ditingkatkan dengan menerapkan aturan prioritas sehingga simpang dapat digunakan secara bergantian. Pada jam-jam sibuk hambatan

yang tinggi dapat terjadi, untuk mengatasi hal itu pengendalian dapat dibantu oleh petugas lalu-lintas namun bila volume lalu lintas meningkat sepanjang waktu diperlukan sistem pengendalian untuk seluruh waktu (*full time*) yang dapat bekerja secara otomatis. Pengendalian tersebut dapat digunakan alat pemberi isyarat lalu lintas (*traffic signal*) atau sinyal lalu lintas.

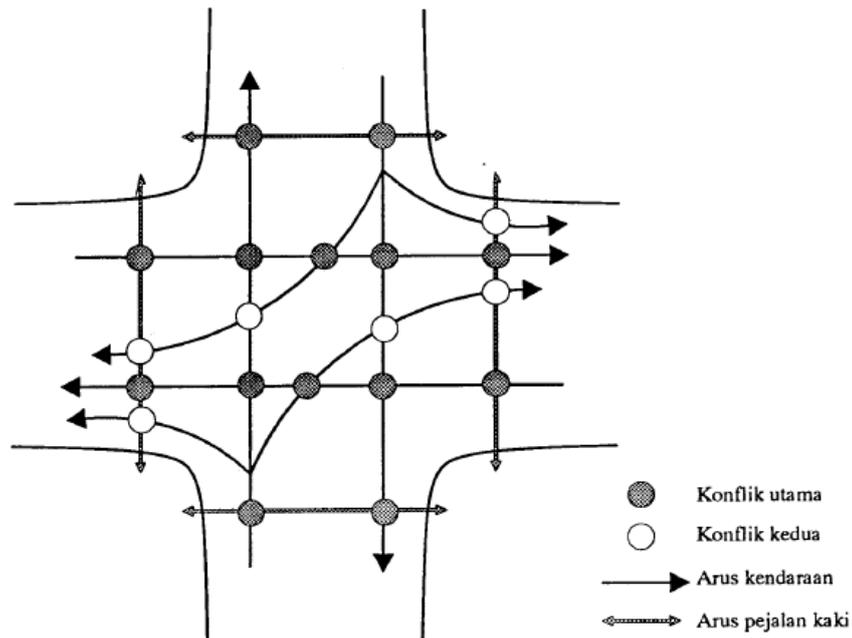
Simpang-simpang bersinyal yang merupakan bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai atau “sinyal aktuasi kendaraan” terisolir, biasanya memerlukan metode dan perangkat lunak khusus dalam analisisnya (MKJI, 1997:2-2).

Pada umumnya sinyal lalu lintas dipergunakan atas dasar, antara lain:

- 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.
- Untuk memberi kesempatan pada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama.
- Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang berlawanan.

Dengan penggunaan sinyal, perencanaan dapat mendistribusikan kapasitas pada berbagai pendekat melalui pengalokasian waktu hijau pada masing-masing pendekat. Oleh karena itu, untuk menghitung kapasitas dan perilaku lalu lintas, pertama-tama perlu ditentukan fase dan waktu sinyal yang paling sesuai untuk kondisi yang ditinjau.

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



**Gambar 2.1** Konflik-konflik utama dan kedua pada simpang bersinyal empat lengan (MKJI, 1997:2-3)

Kondisi simpang bersinyal dibagi menjadi dua tipe yaitu:

- Tipe O (Arus berangkat terlawan)  
Keberangkatan dengan konflik antara gerak belok kanan dan gerak lurus/belok kiri dari bagian pendekat dengan lampu hijau pada fase yang sama.
- Tipe P (Arus berangkat terlindung)  
Keberangkatan tanpa konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan dan lurus.

#### b) Simpang Tak Bersinyal

Simpang tak bersinyal merupakan simpang yang secara formal dikendalikan oleh aturan dasar lalu lintas dasar Indonesia yaitu memberi jalan pada kendaraan dari kiri. Metode ini menganggap bahwa simpang jalan berpotongan tegak lurus dan terletak pada *alinyemen* datar dan berlaku derajat kejenuhan kurang dari 0,8-0,9. Pada kebutuhan lalu lintas yang lebih tinggi perilaku lalu lintas menjadi lebih agresif dan ada resiko tinggi bahwa simpang tersebut akan terhalang oleh para pengemudi yang berebut ruang terbatas pada daerah konflik.

Ukuran-ukuran kinerja berikut dapat diperkirakan untuk kondisi tertentu sehubungan dengan geometri, lingkungan dan lalu lintas dengan metode yang ada anatara lain:

- Kapasitas
- Derajat kejenuhan
- Tundaan
- Peluang antrian

#### 2.4 Pengaturan Pergerakan Lalu Lintas Persimpangan

Simpang merupakan yang rawan terhadap kecelakaan karena terjadinya konflik antara kendaraan dengan kendaraan yang lainnya atau kendaraan dengan pejalan kaki, aspek yang penting dalam pengendalian lalu lintas pada persimpangan adalah:

- a) Volume dan kapasitas, yang secara langsung mempengaruhi hambatan.
- b) Desain geometrik dan kebebasan pandang.
- c) Kecelakaan dan keselamatan jalan, kecepatan dan lampu jalan.
- d) Parkir, akses dan pembangunan yang sifatnya umum.
- e) Pejalan kaki.
- f) Jarak antar persimpangan.

Sasaran yang harus dicapai pada pengendalian persimpangan adalah:

- a) Mengurangi maupun menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan yang disebabkan adanya titik-titik konflik.
- b) Menjaga kapasitas persimpangan agar operasinya dapat optimal sesuai dengan rencana.
- c) Harus memberikan petunjuk yang jelas dan pasti serta sederhana dalam mengarahkan arus lalu lintas yang menggunakan persimpangan.

#### 2.5 Persimpangan Bersinyal

Persimpangan 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:

- a. Menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas kendaraan dari masing-masing lengan.

- b. Memberi kesempatan kepada kendaraan/dan pejalan kaki yang berasal dari jalan kecil untuk memotong ke jalan utama.
- c. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang bertentangan.

Kinerja suatu persimpangan dapat dilihat dari beberapa parameter pada persimpangan. Salah satu parameter ini adalah tundaan per mobil yang dialami oleh arus yang melalui simpang. Tundaan terdiri atas tundaan geometri (*geometric delay*) dan tundaan lalu lintas. Parameter persimpangan yang lain adalah angka henti dan rasio kendaraan terhenti pada suatu sinyal. Nilai angka henti merupakan jumlah berhenti kendaraan rata-rata akibat adanya hambatan samping, juga termasuk kendaraan berhenti berulang-ulang dalam suatu antrian. Sedangkan rasio kendaraan yang terhenti menggambarkan rasio dari arus lalu lintas yang terpaksa terhenti sebelum mencapai garis henti. Kendaraan yang berhenti ini akibat adanya pengendalian sinyal. Hal lain yang perlu juga mendapat perhatian adalah besarnya panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekatan. Parameter-parameter ini yang mampu menggambarkan hambatan-hambatan yang terjadi pada suatu persimpangan.

Penggunaan sinyal dengan lampu tiga warna pada *traffic light* (merah,kuning,hijau) dilakukan untuk dapat memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu yang terjadi bersamaan. Konflik-konflik gerakan lalu lintas di persimpangan bersinyal dapat dibagi menjadi dua, yaitu konflik-konflik utama dan konflik-konflik kedua.

Pada dasarnya jumlah potensial terjadinya titik-titik konflik di persimpangan tergantung pada beberapa faktor, seperti jumlah kaki persimpangan yang ada, jumlah lajur pada setiap kaki persimpangan, jumlah pergerakan yang ada dan sistem pengaturan yang ada.

## **2.6 Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal**

### **2.6.1 Kapasitas**

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur (MKJI,1997).

Nilai kapasitas telah diamati melalui pengumpulan data lapangan selama memungkinkan. Karena lokasi yang mempunyai arus mendekati kapasitas segmen jalan sedikit (sebagaimana terlihat dari kapasitas simpang sepanjang jalan), kapasitas juga telah diperkirakan dari analisa kondisi iringan lalu-lintas dan secara teoritis dengan mengasumsikan hubungan matematik antara kerapatan, kecepatan dan arus. Kapasitas (C) dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \quad (2-1)$$

dengan :

C = kapasitas sesungguhnya (smp/jam)

$C_o$  = kapasitas dasar (ideal) untuk kondisi (ideal) tertentu (smp/jam)

$FC_w$  = penyesuaian lebar jalan

$FC_{sp}$  = faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)

$FC_{sf}$  = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan/kereb

$FC_{cs}$  = faktor penyesuaian ukuran kota

#### a. Kapasitas Dasar $C_o$

Kapasitas dasar  $C_o$  ditentukan berdasarkan tipe jalan sesuai dengan yang tertera pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Kapasitas Dasar  $C_o$

Tipe jalan	Kapasitas dasar (smp/jam)	Catatan
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	1650	Per lajur
Empat lajur tak terbagi	1500	Per lajur
Dua lajur tak terbagi	2900	Total dua arah

Sumber: MKJI (1997)

Kapasitas dasar jalan yang lebih dari 4 lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan kapasitas per lajur pada Tabel 2.2 meskipun mempunyai lebar jalan yang tidak standar.

**Tabel 2.3** Faktor Penyesuaian Kapasitas  $FC_w$  untuk Lebar Jalur

Tipe jalan	Lebar jalur efektif (m)	$FC_w$
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
Dua lajur tak terbagi	Dua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
11	1,34	

Sumber: MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan lebih dari empat lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai per lajur yang diberikan untuk jalan empat lajur.

#### **b. Faktor Penyesuaian Kapasitas $FC_{sp}$ untuk Pemisah Arah**

Penentuan Faktor penyesuaian  $FC_{sp}$  ini didasarkan pada kondisi arus lalu-lintas dari kedua arah atau untuk jalan tak terbagi. Untuk jalan terbagi faktor penyesuaian untuk pemisah arah adalah 1,0.

### c. Faktor Penyesuaian Kapasitas $FC_{sf}$ untuk Hambatan Samping

Faktor penyesuaian untuk ruas jalan yang mempunyai bahu jalan didasarkan pada lebar bahu jalan efektif  $W_s$  dan tingkat hambatan samping yang penentuan klasifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.3. Faktor penyesuaian akibat hambatan samping untuk jalan yang mempunyai bahu jalan dapat di lihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Klasifikasi Hambatan Samping

Kelas hambatan samping	Jumlah hambatan per 200 meter per jam (2 arah)	Kondisi tipikal
Sangat rendah VL	< 100	Permukiman
Rendah L	100-299	Permukiman, beberapa transportasi umum
Sedang M	300-499	Daerah industri dengan beberapa toko di pinggir jalan
Tinggi H	500-899	Daerah komersial, aktivitas pinggir jalan tinggi
Sangat tinggi VH	>900	Daerah komersial dengan aktivitas perbelanjaan pinggir jalan

Sumber: MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas  $F_{sf}$  untuk hambatan samping pada ruas jalan yang mempunyai kereb dapat dilihat pada Tabel 2.5 yang didasarkan pada jarak kereb dan hambatan pada sisi jalan ( $W_k$ ) dan tingkat hambatan samping.

**Tabel 2.5** Faktor Penyesuaian Kapasitas  $F_{sf}$  untuk Hambatan Samping dari Jalan yang Mempunyai Kereb

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

Sumber: MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 6 lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 4 lajur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{6,sf} = 1 - 0,8x(1 - F_{4,sf}) \quad (2-2)$$

dengan :

$F_{6,sf}$  = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 6 lajur

$F_{4,sf}$  = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 4 lajur

#### d. Faktor Penyesuaian Kapasitas $F_{cs}$ untuk Ukuran Kota

Faktor penyesuaian  $F_{cs}$  dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan faktor penyesuaian tersebut merupakan fungsi dari jumlah penduduk kota.

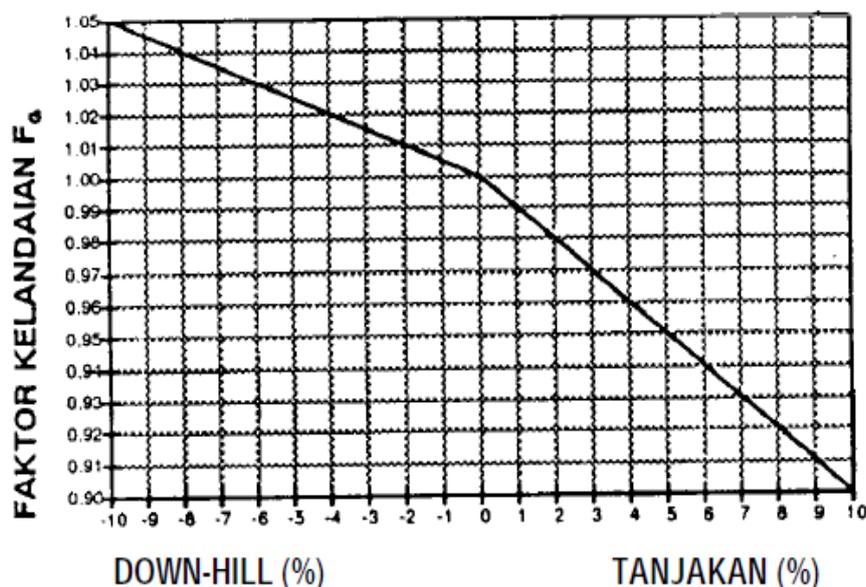
**Tabel 2.6** Faktor Penyesuaian Kapasitas  $F_{cs}$  untuk Ukuran Kota

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: MKJI (1997)

e. **Faktor penyesuaian kelandaian ( $f_G$ )**

Ditentukan dari Gambar 2.2 sebagai fungsi dari kelandaian (GRAD) yang tercatat pada formulir SIG-I, dan hasilnya dimasukkan pada kolom 13 pada fomulir SIG-IV



**Gambar 2.2** Faktor penyesuaian untuk kelandaian  $f_G$

f. **Faktor penyesuaian parkir  $f_P$**

Ditentukan dari Gambar 2.3 sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama (Kolom 7 pada Fomulir SIG-I) dan lebar pendekat ( $W_A$ , Kolom 9 pada fomulir SIG-IV). Hasilnya dimasukkan ke dalam kolom 14. Faktor ini dapat juga ini dapat juga diterapkan untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas.

$f_P$ , dapat juga dihitung dari rumus berikut, yang mencakup pengaruh panjang waktu hijau :

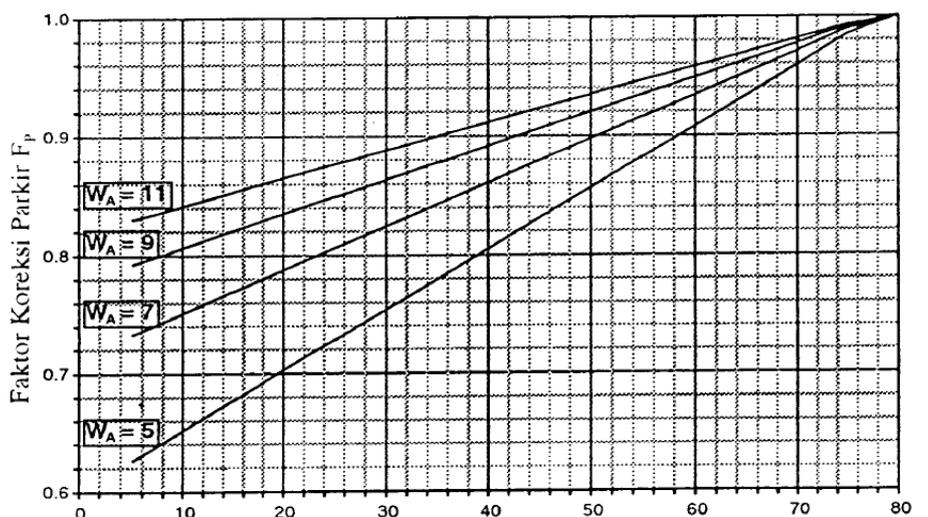
$$f_P = \left( L_P/3 - (W_A - 2) \times \left( L_P/3 - g \right) / W_A/g \right) \quad (2-3)$$

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 detik)



**Gambar 2.3** Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir dan lajur belok kiri yang pendekat  $f_p$

### 2.6.2 Tundaan

Tundaan adalah perbedaan antara waktu perjalanan tak terputus dengan waktu perjalanan terputus selama melewati persimpangan. Tundaan pada simpang terjadi karena dua sebab:

1. Tundaan lalu lintas (DT) karena interaksi lalu-lintas dengan gerakan lainnya pada suatu simpang.
2. Tundaan Geometrik (DG) karena perlambatan dan percepatan saat membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti karena lampu merah.

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekatan  $j$  dihitung sebagai:

$$D_j = DT_j + DG_j \tag{2-4}$$

Dimana :

$D_j$  = Tundaan rata-rata untuk pendekat  $j$  (dt/simp)

$DT_j$  = Tundaan lalu-lintas rata-rata untuk pendekat  $j$  (det/simp)

$DG_j$  = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat  $j$  (det/simp)

Tundaan lalu-lintas rata-rata pada suatu pendekat  $j$  dapat ditentukan dari rumus berikut (didasarkan pada akcelik 1988).

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{c} \tag{2-5}$$



Dimana :

$DT_j$  = Tundaan lalu-lintas rata-rata untuk pendekat j (det/simp)

GR = Rasio hijau (g/c)

DS = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (simp/jam)

$NQ_1$  = Jumlah simpang yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

Perhatikan bahwa hasil perhitungan tidak berlaku jika kapasitas simpang dipengaruhi oleh faktor-faktor “luar” seperti terhalangnya jalan keluar akibat kemacetan pada bagian hilir, pengaturan polisi secara manual dan sebagainya.

Tundaan geometri rata-rata pada suatu pendekat j dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$DG_j = (1 - p_{sv}) \times p_T \times 6 + (p_{sv} \times 4) \quad (2-6)$$

Dimana :

$DG_j$  = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/simp)

$p_{sv}$  = Rasio kendaraan berhenti pada suatu pendekat

$p_T$  = Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat

### 2.6.3 Panjang Antrian

Jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (N) pada permulaan waktu hijau. Jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (N) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$N_0 = q \times r + N_0 \quad (2-7)$$

Dimana :

q = Jumlah kendaraan yang datang perdetik

r = Waktu Merah efektif (detik) = c – g

$N_0$  = Antrian lebih rata-rata

Panjang antrian maksimum ( $N_m$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

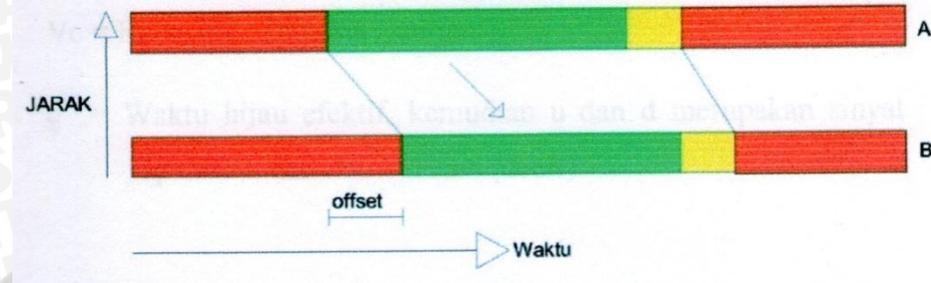
$$N_m = \frac{N}{1-y} \quad (2-8)$$

Keterangan :

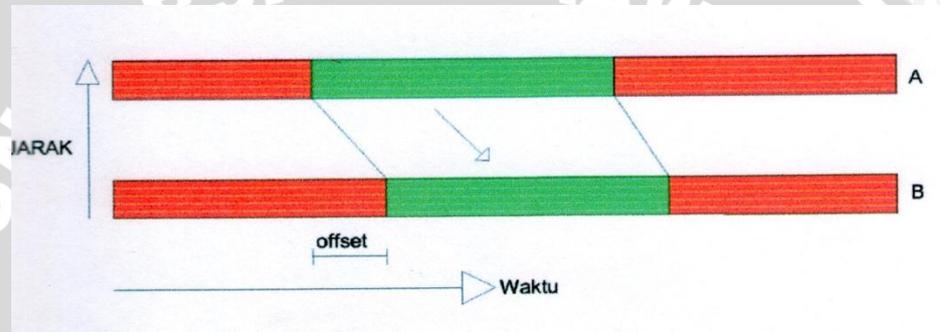
Y = Rasio rasio

### 2.6.4 Offset

Hal lain yang juga sangat penting pada koordinasi sinyal adalah *offset*. *Offset* adalah perbedaan antara waktu awal periode waktu hijau pada dua atau lebih persimpangan yang berurutan.



**Gambar 2.4** Time-space diagram dengan waktu kuning



**Gambar 2.5** Time-space diagram tanpa waktu kuning

Pada gambar diatas kemiringan garis diagonal menyatakan kecepatan gerak yang dipilih dan fase hijau pada persimpangan-persimpangan berikutnya sepanjang jalan yang dilihat dari segi waktunya.

Nilai *offset* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{ud} = tc + \frac{(g_u - g_d)}{2} \quad (2-9)$$

Dimana :

$Q_{ud}$  = *Offset* perjalanan dari u ke d

$tc$  = *Average cruising time* yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$tc = 3,6 \times \frac{I_c}{V_c} \quad (2-10)$$

Dimana :

$I_c$  = Jarak antara persimpangan (m)

$V_c$  = Kecepatan rata-rata (km/jam)

$G$  = Waktu hijau efektif, kemudian u dan d merupakan sinyal *upstream* dan *Downstream*

## 2.7 Arus Jenuh

Kapasitas sebuah pendekatan pada simpang bersinyal dihitung berdasarkan

$$C = S * g/c \quad (2-11)$$

dengan:

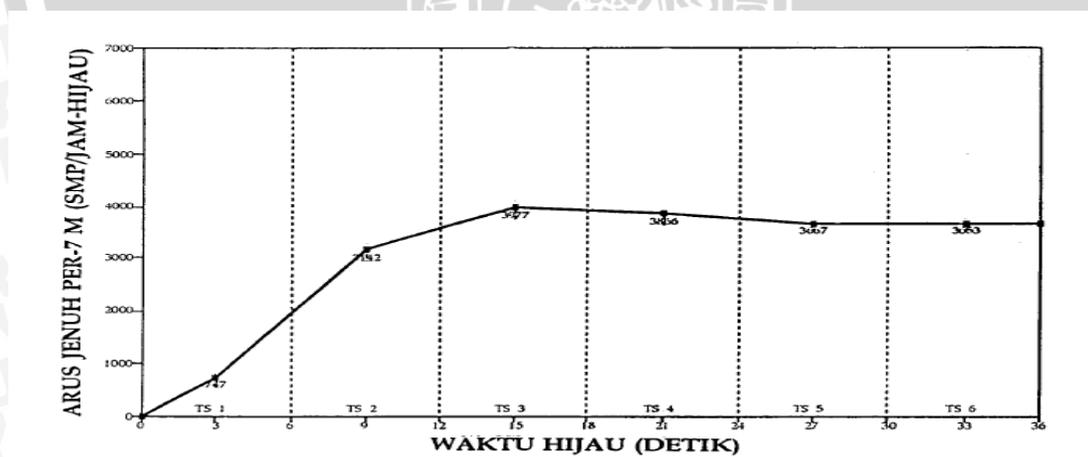
$C$  = kapasitas (smp/jam ),

$S$  = arus jenuh (smp/jam-hijau),

$g$  = waktu hijau aktual (detik),

$c$  = waktu siklus (detik).

Berdasarkan rumus di atas maka penentuan perwaktuan sinyal (*signal timing*) suatu simpang dapat dipergunakan untuk menghitung kapasitas dan pengukuran kinerja lalu lintas. Berdasarkan Rumus 2-11 di atas arus jenuh ( $S$ ) diasumsikan bahwa selalu konstan sepanjang waktu hijau, walaupun dalam kenyataannya tingkat aliran arus lalu lintas mulai dari nol pada permulaan hijau dan mencapai puncak setelah antara 10–15 detik kemudian. Selanjutnya tingkat aliran lalu lintas akan turun secara drastis setelah berakhirnya hijau. Biasanya aliran arus lalu lintas masih berlanjut selama waktu kuning dan waktu semua merah hingga turun sama dengan nol, yang biasanya memakan waktu 5–10 detik setelah permulaan sinyal merah. Ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.4 yang menyatakan hubungan waktu hijau dan arus jenuh dalam setiap pias pengamatan.



**Gambar 2.6** Arus jenuh hasil pengamatan dalam setiap pias pengamatan tertentu

Permulaan aliran arus lalu lintas dapat digambarkan sebagai waktu yang hilang (*start loss time*), aliran pada akhir hijau menghasilkan keuntungan akhir (*end gain*). Ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5. Hasil waktu hijau efektif total

yang merupakan waktu hijau selama aliran lalu lintas yang terjadi dengan tingkat konstanta  $s$  dapat dihitung dengan Rumus:

$$g = G - tls + teg \quad (2-12)$$

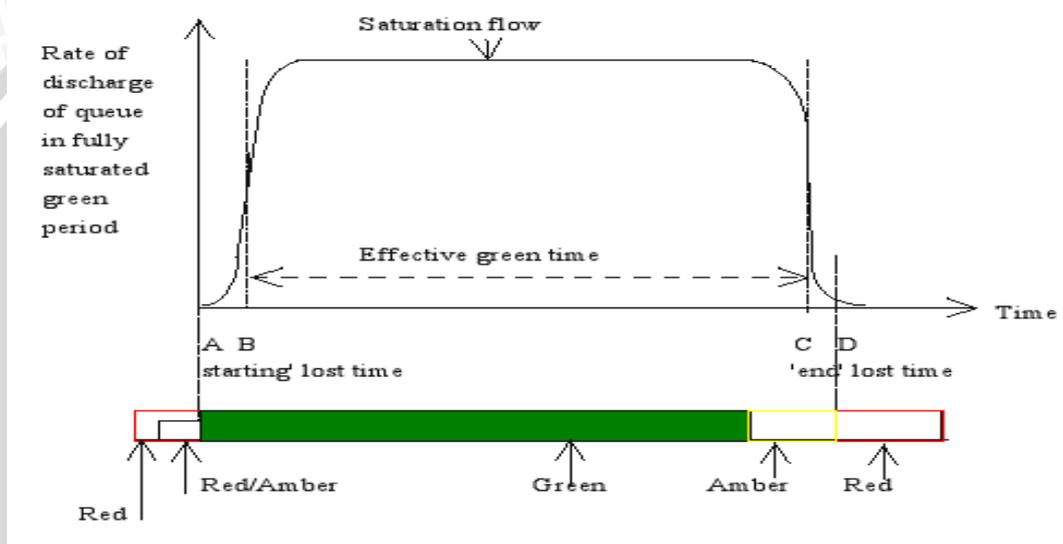
dengan

$g$  = waktu hijau efektif (detik)

$G$  = waktu hijau aktual (detik),

$tls$  = waktu yang hilang di awal hijau (detik),

$teg$  = waktu untung setelah akhir waktu hijau nyala.



**Gambar 2.7** Model dasar arus jenuh (Akcelik, 1989)

Arus jenuh ( $S$ ) dapat dinyatakan sebagai pembuatan jastifikasi terhadap arus jenuh dasar ( $S_0$ ) di mana jastifikasi tersebut tergantung kepada kondisi aktual lapangan. Perumusan arus jenuh dihitung berdasarkan Rumus 2-13, sedangkan arus jenuh dasar dapat ditentukan berdasarkan Rumus 2-14.

$$S = S_0 \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times \dots \times F_n \quad (2-13)$$

dengan:

$S$  = Arus jenuh (smp/jam-hijau),

$S_0$  = Arus jenuh dasar (smp/jam-hijau),

$F_n$  = Faktor penyesuaian yang tergantung pada kondisi lapangan,

$We$  = Lebar efektif jalan (m).

Cara menghitung nilai arus jenuh  $S$  yang di sesuaikan ialah

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}$$

dengan:

$S$  = Arus jenis (smp/jam-hijau),

$S_o$  = Arus jenuh dasar (smp/jam-hijau),

$F_{CS}$  = Faktor penyesuaian ukuran kota,

$F_{SF}$  = Faktor penyesuaian hambatan samping,

$F_G$  = Faktor penyesuaian kelandaian,

$F_P$  = Faktor penyesuaian parkir,

$F_{RT}$  = Faktor penyesuaian belok kanan (hanya untuk tipe p),

$F_{LT}$  = Faktor penyesuaian belok kiri (hanya untuk tipe p),

Besarnya arus jenuh dasar ( $S_o$ ) untuk kondisi lalu lintas di Indonesia berdasarkan IHCM (1997), dibedakan menjadi:

1. Mulut persimpangan tipe P untuk arus yang dilindungi:

$$S_o = 600 \times W_e \quad (2-14)$$

Dimana :  $W_e$  = lebar kaki persimpangan (meter)

2. Mulut persimpangan tipe O untuk arus yang terlawan dari arus depannya dibedakan dengan kriteria:

- Tanpa lajur belok kanan
- Dengan lajur belok kanan

Besarnya arus jenuh dasar ( $S_o$ ) tipe O dihitung dengan menggunakan grafik yang terdapat pada lampiran, tetapi untuk lebar kaki persimpangan dengan angka yang tidak bulat (desimal) maka digunakan interpolasi dari grafik. Untuk volume gerakan belok kanan lebih besar dari 250 smp/jam, dapat digunakan perhitungan berikut:

- a. Tanpa lajur belok kanan

1. Jika  $Q_{rto} > 250$  smp/jam :

-  $Q_{rt} < 250$  smp/jam, tentukan  $S_{prov}$  pada  $Q_{rto} = 250$  (smp/jam)

$$S_o = S_{prov} - \{(Q_{rto} - 250) \times 8\} \text{ smp/jam}$$

-  $Q_{rt} > 250$  smp/jam, tentukan  $S_{prov}$  pada  $Q_{rto}$  dan  $Q_{rt} = 250$  (smp/jam)

$$S_o = S_{prov} - \{(Q_{rto} + Q_{rt} - 500) \times 2\} \text{ smp/jam}$$

2. Jika  $Q_{rto} < 250$  smp/jam dan  $Q_{rt} > 250$  smp/jam, tentukan  $S_o$  seperti pada  $Q_{rt} = 250$  smp/jam

- b. Dengan lajur belok kanan

1. Jika  $Q_{rto} > 250$  smp/jam :

-  $Q_{rt} < 250$  smp/jam, tentukan  $S_o$  dari grafik dengan extrapolasi pada

lampiran.

- $Q_{rt} > 250$  smp/jam, tentukan  $S_{prov}$  pada  $Q_{rto}$  dan  $Q_{rt} = 250$  (smp/jam)
- 2. Jika  $Q_{rto} < 250$  smp/jam dan  $Q_{rt} > 250$  smp/jam, tentukan  $S_o$  dari grafik dengan extrapolasi pada lamiran

Dimana :

$S_o$  = Arus jenuh dasar (smp/jam)

$Q_{rt}$  = Volume gerakan belok kanan (smp/jam)

$Q_{rto}$  = Volume gerakan belok kanan arah lawan (smp/jam)

$S_{prov}$  = Arus jenuh dasar pada grafik

Jasifikasi kondisi lapangan didasarkan pada ukuran kota, friksi samping, gradien atau tanjakan jalan, parkir, serta pergerakan belokan kendaraan. Arus jenuh dasar ditentukan berdasarkan fungsi lebar pendekat efektif ( $W_e$ ).

Metode Webster menggunakan pengamatan lapangan yang ekstensif dan simulasi komputer untuk menghasilkan prosedur yang sangat baik dalam mendesain lampu lalu lintas. Asumsi dasar dalam pekerjaan Webster adalah bahwa kedatangan kendaraan terjadi secara acak. Webster mengembangkan persamaan klasik untuk menghitung penundaan rata-rata per kendaraan ketika mendekati persimpangan, dan juga menurunkan sebuah persamaan untuk memperoleh waktu siklus optimum yang menghasilkan penundaan kendaraan minimum.

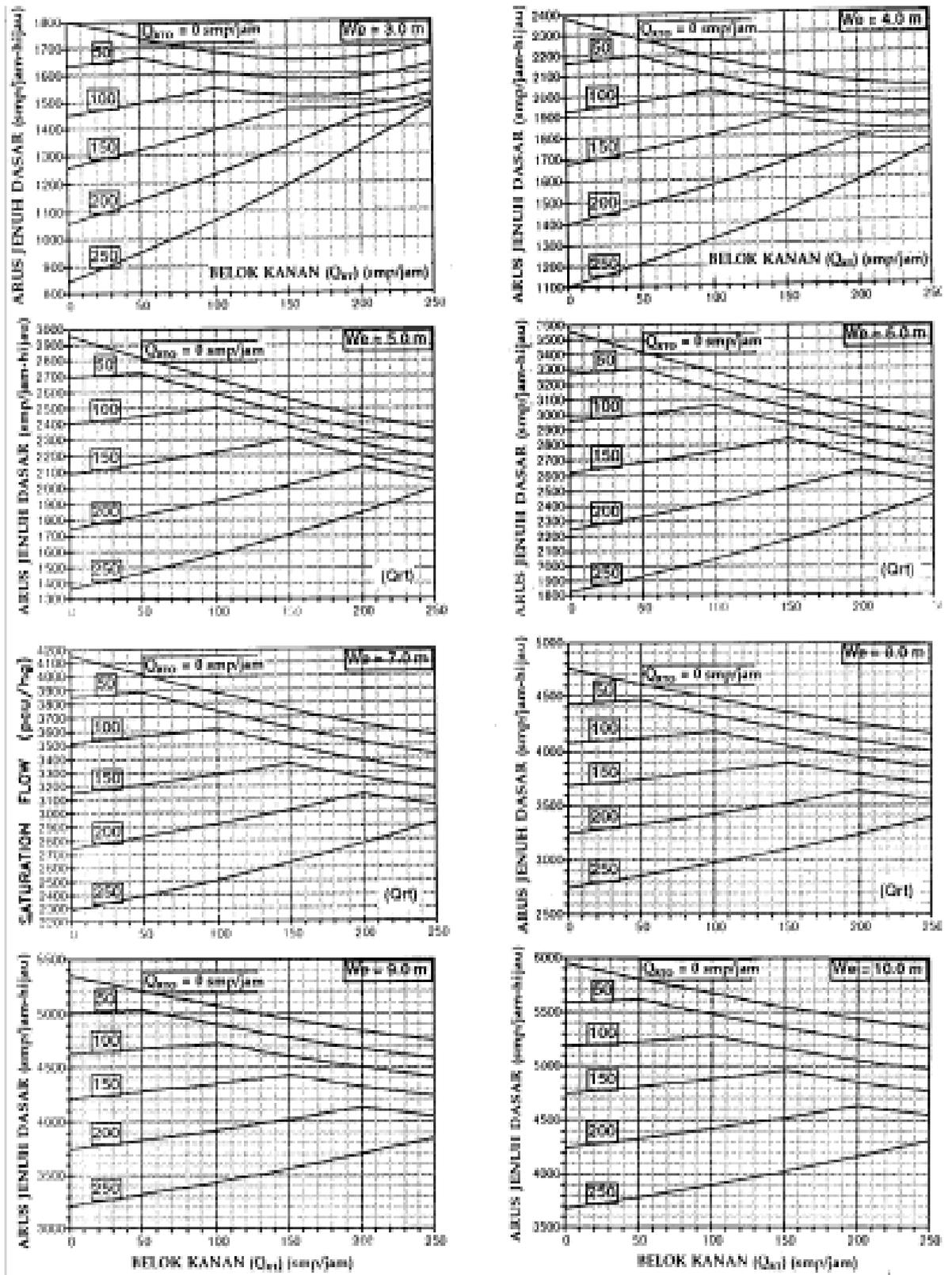
Webster menggunakan terminologi yang membutuhkan sedikit penjelasan, sehingga kita memulai bagian ini dengan mendefinisikan beberapa istilah, seperti “ arus jenuh” (*saturation flow*) dan “waktu yang hilang” (*loss time*). Ini diikuti oleh uraian tentang penundaan rata-rata dan waktu siklus optimum.

Arus jenuh,  $q_s$ , dan waktu hilang sebuah studi tentang Bergeraknya kendaraan melewati garis berhenti di sebuah persimpangan menunjukkan bahwa ketika lampu hijau mulai menyala, kendaraan membutuhkan waktu beberapa saat untuk memulai bergerak dan melakukan percepatan menuju kecepatan normal, tetapi setelah beberapa detik, antrian kendaraan mulai bergerak pada kecepatan yang relatif konstan, disebut arus jenuh (lihat Gambar 2.3). Arus jenuh adalah arus yang akan diperoleh seandainya terdapat antrian kendaraan yang kontinyu dan seandainya kendaraan diberi waktu hijau 100%. Arus jenuh biasanya dinyatakan dalam kendaraan per jam waktu hijau. Dari gambar dapat dilihat bahwa tingkat arus rata-rata lebih rendah selama beberapa detik pertama (ketika kendaraan mempercepat menuju kecepatan normal) dan juga selama

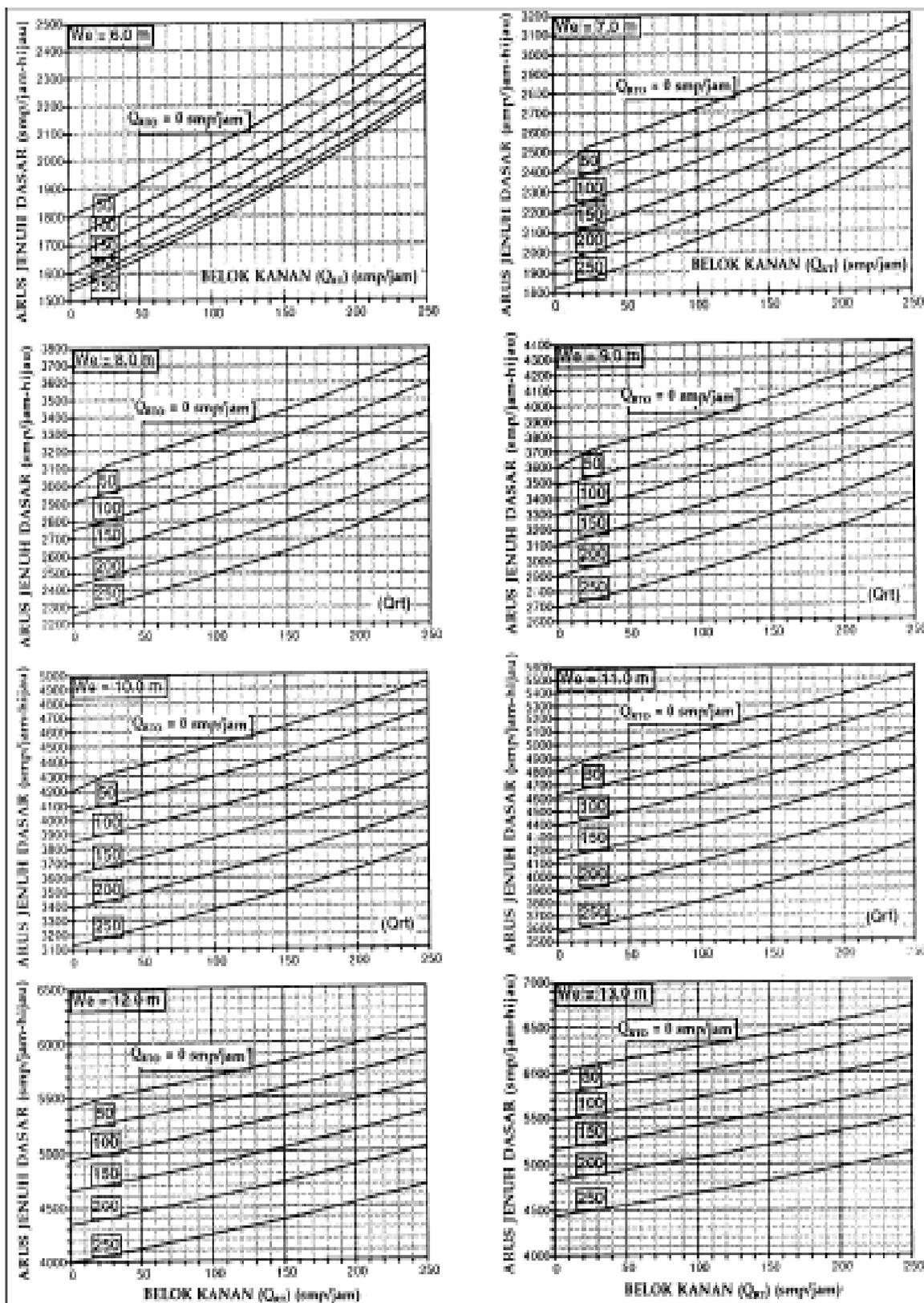
lampu kuning menyala (ketika beberapa kendaraan memutuskan untuk berhenti sementara lainnya terus bergerak). Akan lebih mudah apabila kita mengganti periode hijau dan kuning dengan periode “hijau efektif”, selama arus diasumsikan terjadi pada tingkat kejenuhan, digabungkan dengan waktu yang “hilang” dimana selama periode ini diasumsikan jenuh. Konsep ini berguna karena kapasitas akan berbanding lurus dengan waktu hijau efektif. Secara grafis, ini menggantikan kurva di dalam gambar dengan sebuah persegi panjang luasnya sama, di mana tinggi persegi panjang sama dengan harus jenuh rata-rata dan alasnya adalah waktu hijau efektif. Selisih antara waktu hijau efektif dengan periode gabungan hijau dan kuning disebut waktu-yang-hilang.

Arus jenuh dan waktu-yang-hilang dapat diukur di jalan secara langsung, dan sebuah metode untuk melakukan hal ini adalah sebagai berikut: Amatilah suatu lajur atau keseluruhan cabang persimpangan, sebisa mungkin, dengan menggunakan pencatat waktu (*stopwatch*) untuk mengukur jumlah kendaraan yang melintas tanda berhenti mulai dari awal fase lampu hijau sampai bumper depan dari kendaraan ke- $n$  melintas garis-berhenti selama setiap interval 0,1 menit, secara berurutan, dari lampu hijau dan kuning.

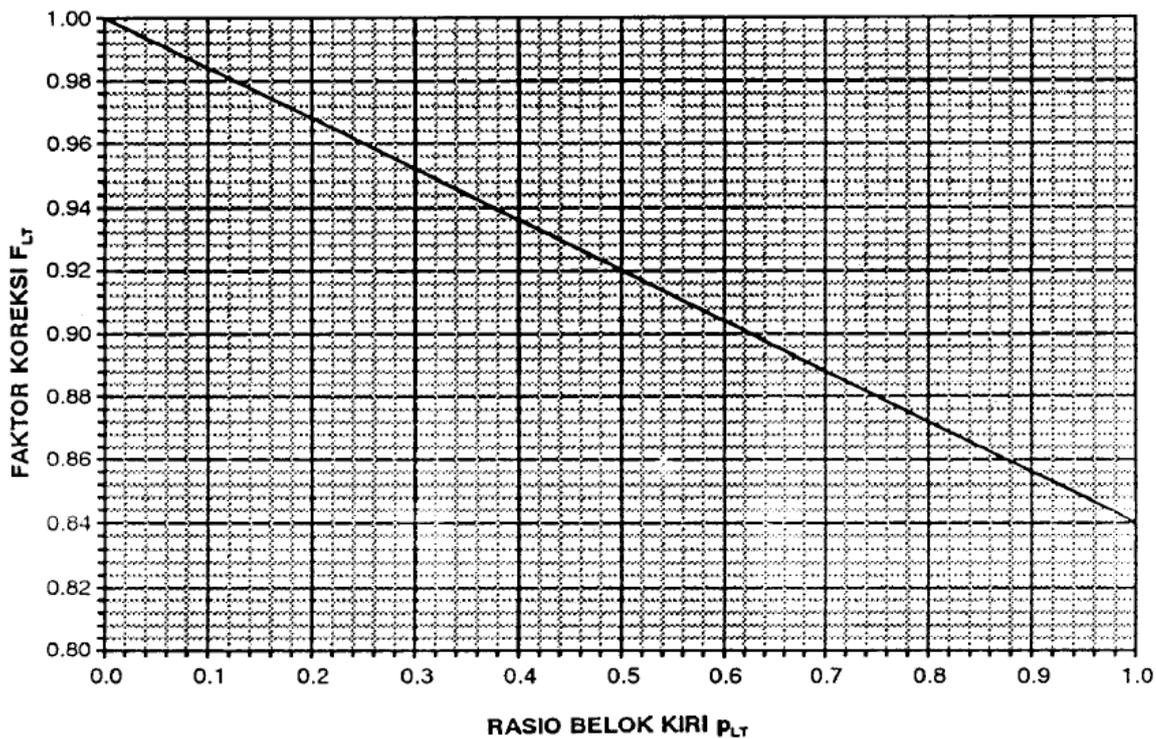




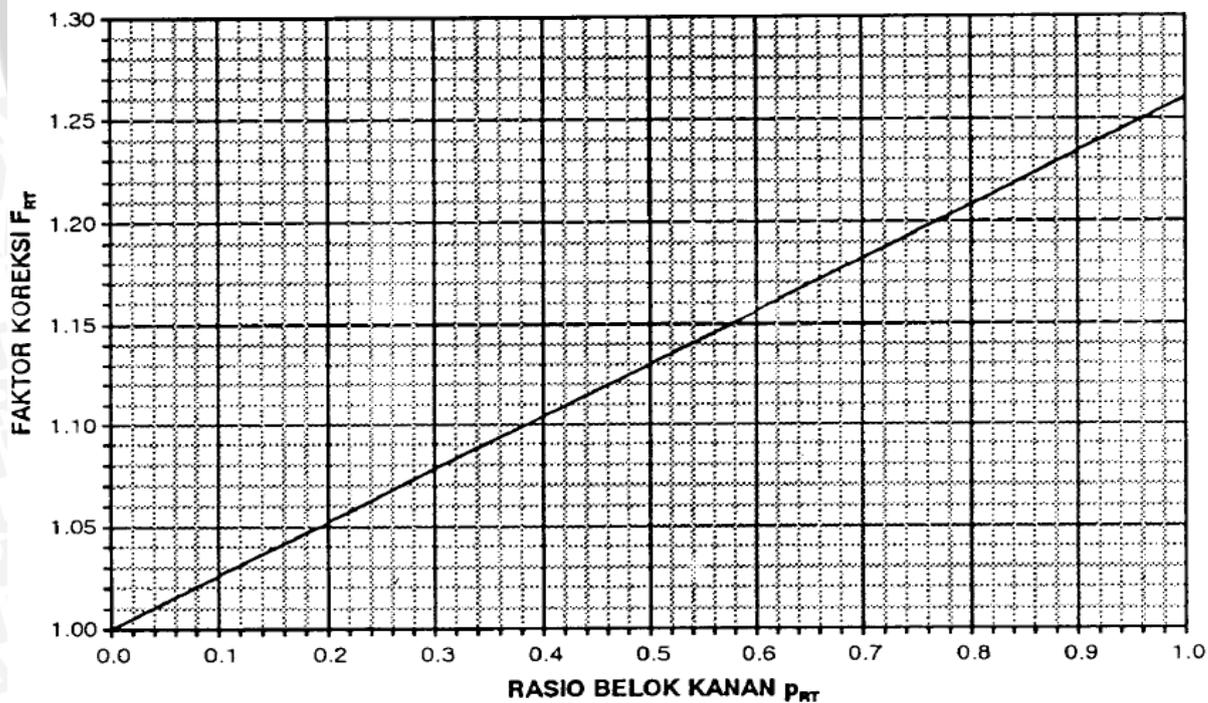
Gambar 2.8 Untuk pendekat tipe O tanpa lajur jalan terpisah



Gambar 2.9 Untuk pendekat tipe O dengan lajur jalan terpisah



**Gambar 2.10** Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri  $F_{LT}$  (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P tanpa belok kiri langsung)



**Gambar 2.11** Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kanan  $F_{RT}$  (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P tanpa belok kiri langsung)

## 2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

Pada hasil penelitian terdahulu karya Elisabeth Talakua, yang berjudul “Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Dua Persimpangan Jl. Sutoyo-Jl. Kaliurang dan Jl. Sutoyo-Jl. Sarangan Kota Malang” yang membahas tentang simpang bersinyal di persimpangan Jl. Sutoyo – Jl. Kaliurang dan Jl. Sutoyo – Jl. Sarangan dengan menggunakan manual kapasitas jalan Indonesia (ICHM’ 97) dan menentukan mekanisme kontrol lalu lintas yang lebih baik, sehingga permasalahan pada kawasan tertib lalu lintas Jl. Sutoyo – Jl. Kaliurang dan Jl. Sutoyo – Jl. Sarangan dapat diatasi dengan pengaturan lampu lalu lintas dengan cara di koordinasikan.

Dari hasil analisis kondisi awal kedua persimpangan tersebut, maka diketahui hasilnya sebagai berikut :

### 1. Persimpangan Jl. Letjen Sutoyo – Jl. Sarangan

<b>Komponen analisa</b>	<b>Utara ST Jl. Letjen Sutoyo</b>	<b>Barat Rt Jl. Sarangan</b>	<b>Selatan Jl. Letjen Sutoyo</b>
Analisa arus lalu lintas (smp/jam)	1394,4	610,06	1402,44
Kapasitas (smp/jam)	1843,47	1843,47	1843,47
Derajat kejenuhan	0,756	0,331	0,760
Tundaan lalu lintas (det/smp)	54,95	54,95	54,78
Tundaan rata-rata (det/smp)	57,71	57,45	57,71
Panjang antrian (meter)	100	45	195

### 2. Persimpangan Jl. Letjen Sutoyo – Jl. Kaliurang

<b>Komponen analisa</b>	<b>Utara</b>	<b>Selatan</b>	<b>Barat</b>	<b>Timur</b>
Analisa lalu lintas (smp/jam)	1761,58	1799,76	2564,32	748,82
Kapasitas (smp/jam)	2773,95	2773,95	2773,95	2773,95
Derajat kejenuhan	0,635	0,649	0,924	0,269
Tundaan lalu lintas (det/smp)	7,84	0,52	2,69	2,22
Tundaan rata-rata (det/smp)	26,14	28,82	30,99	30,52
Panjang antrian (meter)	155	155	155	100

Dan dalam menentukan mekanisme kontrol lalu lintas yang lebih baik yaitu dengan dikoordinasikan kedua lalu lintas pada kedua persimpangan tersebut dengan menggunakan sistem simultan maka dapat diketahui kecepatan yang ditempuh suatu kendaraan adalah 14 m/dt.

Evaluasi dan perencanaan yang dilakukan pada setiap persimpangan menggunakan volume lalu lintas jam tersebut dalam pengaturan waktu tetap ini bekerja dengan dasar panjang siklus dan fase yang ditentukan dari volume lalu lintas yang kadang banyak dan sedikit melewati persimpangan, dalam hal ini perlu adanya alat bantu pengaturan waktu siklus yang dapat menanggapi data volume lalu lintas aktual, sehingga lampu lalu lintas dihitung kembali dari data arus lalu lintas yang baru diterima detektor, hal ini diharapkan meningkatkan kinerja persimpangan dan dapat memberikan pelayanan yang baik bagi pengguna jalan.

Pada skripsi Saudara Ikhsan yang berjudul “Analisa Kinerja Lampu Lalu Lintas Pada Persimpangan Jl. Borobudur – Jl. Achmad Yani Kota Malang”. Pengolahan data menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 97) untuk kondisi simpang bersinyal dan kondisi simpang tidak bersinyal dengan formulir-formulirnya. Data yang diperlukan dalam analisa ini adalah data arus lalu lintas, data geometrik simpang, dan data lampu lalu lintas yang diperoleh dari hasil survai yang dilakukan pada kondisi jam puncak.

Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan kapasitas simpang jalan Borobudur – Jalan Achmad Yani yaitu 2693,93 smp/jam, derajat kejenuhan untuk masing-masing pendekat yaitu, pendekat barat sebesar 2,04, pendekat utara sebesar 0,58, pendekat selatan 1,31. Untuk pendekat barat dan selatan derajat kejenuhannya lebih besar dari 0,85 dan tundaan rata-ratanya sebesar 54,17 smo/det, berarti tingkat pelayanannya adalah E (buruk). Pada kondisi pengaturan belok kanan langsung, derajat kejenuhan pada kaki simpang Jalan Achmad Yani sebesar 0,67 dan tundaan sebesar 11,18 smp/det, berarti tingkat pelayanan adalah baik. Pada kaki simpang Jalan Borobudur dengan belok kanan langsung, derajat kejenuhannya sebesar 0,34 dan tundaannya sebesar 7,80 smp/det, berarti tingkat pelayanannya adalah baik. Pengaturan simpang dengan lampu lalu lintas ternyata tidak menambah tingkat pelayanan simpang, hal ini terbukti dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan pada kondisi pengaturan simpang dengan lampu lalu lintas dan pengaturan belok kanan langsung pada pendekat utara (Jalan Achmad Yani Utara). Pengaturan dengan lampu lalu lintas yang dilakukan ternyata hanya mengurangi konflik yang terjadi pada persimpangan tersebut.

Pada skripsi karya Yulianto yang berjudul “Studi Perencanaan Lampu Lalu Lintas dengan *Indonsian Highway Capacity Manual* (IHCM) Pada Persimpangan Jalan Rajawali – Jalan Tanjung Perak Surabaya”. Tujuan studi ini untuk mengetahui perbedaan kinerja persimpangan dengan pengaturan menggunakan putaran (*U-turn*) dibandingkan terhadap pengaturan persimpangan menggunakan sistem lampu lalu lintas ditinjau dari aspek teknis.

Studi ini menggunakan IHCM (*Indonesian Highway Capacity Manual, 1997*). Modifikasi desain meliputi pengaturan fase, arah pergerakan dan perubahan geometrik persimpangan dalam 7 (tujuh) alternatif, pada tahap awal modifikasi yang dilakukan tanpa menambah lebar jalur persimpangan dan selanjutnya dilakukan penambahan lajur serta perubahan lebar lajur dan geometrik jalan. Parameter yang menjadi perbandingan adalah tundaan, kapasitas dan tingkat pelayanan.

Pada kondisi modifikasi alternatif didapatkan tundaan (*delay*) pergerakan dari Jl. Ikan Kakap ke arah Jl. Rajawali sebesar 7,38 detik, terjadi penurunan sebesar 92,53% dibandingkan dengan tundaan akibat gerakan memutar (*U-turn*) sebesar 85,46 detik. Tundaan rata-rata persimpangan (*intersection delay*) sebesar 17,89 detik/smp, pada kondisi awal sebesar 62,12 detik/smp, menurun sebesar 71,20 %. Kapasitas persimpangan meningkat sebesar 4,04 % dari kondisi semula, sehingga kapasitas persimpangan menjadi 7064 smp/jam. Sedangkan tingkat pelayanan persimpangan meningkat dari tingkat pelayanan F pada kondisi awal menjadi tingkat pelayanan C.

