

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Arus dan Komposisi Lalu Lintas

Arus lalu lintas (Q) merupakan komposisi lalu lintas, dimana menyebutkan arus lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp). Dalam arti berbagai jenis kendaraan yang telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan memakai Ekivalen Mobil Penumpang (emp). Ekivalen Mobil Penumpang (emp) sendiri merupakan sebuah faktor yang dapat mengkonversi berbagai macam kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya. Adapun penjelasan dilihat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 3.1 Nilai Ekivalen Mobil Penumpang (emp)

Jenis Kendaraan	emp untuk pendekat:	
	Terlindung	Terlawan
Kedaraan Rigan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

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

Nilai pada Tabel digunakan dalam menghitung perbandingan belok kiri (P_{LT}) dan perbandingan belok kanan (P_{RT}) melalui perhitungan yang menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{LT} = \frac{LT (smp/jam)}{Total (smp/jam)} \quad (3.1)$$

Dimana:

P_{LT} = Rasio kendaraan belok kiri

Q_{LT} = Arus lalu lintas belok kiri

Q_{total} = Arus lalu lintas total

$$P_{RT} = \frac{RT \text{ (smp/jam)}}{Total \text{ (smp/jam)}} \quad (3.2)$$

Dimana:

P_{RT} = Rasio kendaraan belok kanan

Q_{RT} = Arus lalu lintas belok kanan

Q_{total} = Arus lalu lintas total

Sedangkan dalam menentukan rasio kendaraan tak bermotor dapat dihitung dengan membagi arus kendaraan tak bermotor (Q_{UM}) dengan arus kendaraan bermotor (Q_{UV}), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{UV}} \quad (3.3)$$

3.2 Karakteristik Sinyal Lalu Lintas

Sinyal lalu lintas yang memakai lampu tiga warna (hijau, kuning, dan merah) yang diterapkan supaya dapat memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan yang saling bertentangan dalam dimensi waktu.

3.2.1 Fase Sinyal

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) dalam menerapkan fase sinyal yang dibagi menjadi 2 arus yaitu terlindung dan terlawan. Dimana arus terlindung merupakan arus belok kanan yang dipisahkan fasenya dengan arus lurus atau arus belok kanan tidak diijinkan. Sedangkan arus terlawan

sendiri merupakan arus lalu lintas belok kanan atau arus lalu lintas belok kanan dan kiri lawan arah pada satu kaki berada pada fase yang sama.

Pemilihan fase pergerakan bergantung pada jumlah konflik utama, yaitu konflik yang disebabkan ketika volume kendaraan yang cukup besar. Menurut MKJI (1997), jika fase sinyal tidak diketahui, maka pengaturan dua fase yang sebaiknya digunakan sebagai kasus dasar. Pemisahan gerakan-gerakan belok kanan biasanya dilakukan melalui pertimbangan kapasitas ketika gerakan membelok melebihi 200 smp/jam.

3.2.2 Waktu Antar Hijau

Waktu antar hijau merupakan periode kuning dan merah semua yang berada diantara dua fase yang beruntun, arti dari keduanya sebagai berikut ini:

1. menurut MKJI (1997), lamanya waktu kuning untuk sinyal lalu lintas pada perkotaan di Indonesia sebesar 3,0 detik,
2. waktu merah semua pendekat adalah waktu dimana semua sinyal pada suatu simpang menyala bersamaan dalam semua pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal yang berurutan.

Waktu hilang (*lost time*) merupakan semua jumlah periode antar hijau yang terdapat pada siklus yang lengkap. Waktu hilang sendiri dapat diperoleh dengan menghitung perbedaan antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase.

$$LTI = \Sigma (\text{semua merah} + \text{kuning}) \quad (3.4)$$

Sumber : MKJI, 1997 (Hal : 2 – 44)

Ketentuan waktu antar hijau menurut MKJI (1997) berdasarkan ukuran simpang dapat di lihat dengan Tabel 3.2 Waktu Antar Hijau.

Tabel 3.2 Waktu Antar Hijau

Ukuran	Lebar Jalan	Nilai Normal Waktu
Simpang	Rata-rata	Antar Hijau
Kecil	6 – 9 m	4 detik/fase
Sedang	10 – 14 m	5 detik/fase
Besar	>15 m	> 6 detik/fase

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) (hal: 2 – 43)

3.2.3 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus adalah urutan lengkap untuk indikasi sinyal (antara dua saat permulaan hijau yang berurutan didalam pendekatan yang sama). Waktu siklus yang paling kecil akan mengakibatkan kesulitan untuk pejalan kaki yang akan menyebrang, sedangkan waktu siklus yang besar mengakibatkan panjangnya antrian kendaraan sehingga bertambahnya tundaan, hal ini dapat mengakibatkan penurunan kapasitas keseluruhan simpang.

1. Waktu siklus sebelum penyesuaian

$$Cua = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR) \quad (3.5)$$

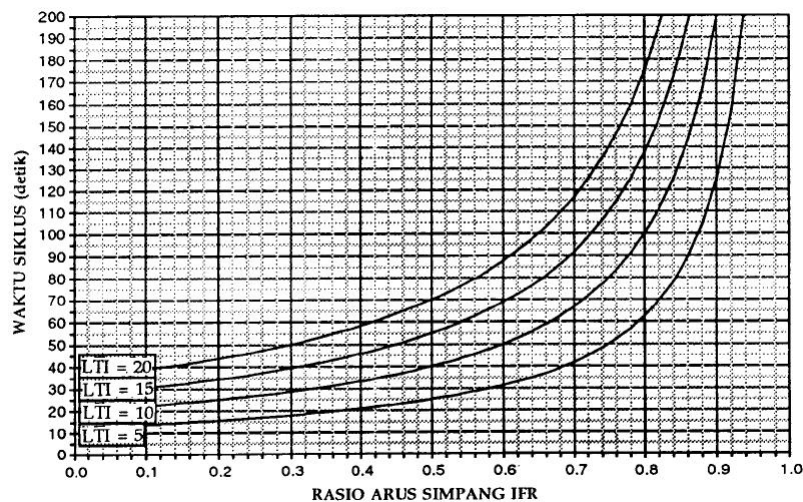
dimana:

Cua = waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)

LTI = waktu hilang total per siklus (det)

IFR = rasio arus simpang $\sum (FRCRIT)$

Waktu siklus sebelum penyesuaian juga dapat diperoleh dari Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian
Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

Apabila alternatif rencana fase sinyal dievaluasi, maka yang menghasilkan nilai terendah dari $(IFR + LTI/c)$ merupakan hasil yang paling efisien. Pada Tabel 3.3 di bawah ini memberikan waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia.

Tabel 3.3 Waktu Siklus yang disarankan

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

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), apabila nilai waktu siklus lebih rendah dari yang disarankan pada Tabel 3.3 akan menyebabkan

kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyebrang jalan. Sedangkan untuk waktu siklus yang melebihi 130 detik harus dihindari, kecuali untuk sebuah kasus yang sangat khusus (simpang sangat besar). Karena hal ini dapat mengakibatkan kerugian bagi kapasitas keseluruhan.

3.2.4 Waktu Hijau

Perhitung waktu hijau (g_i) untuk tiap fase:

$$g_i = (Cua - LTI) \times PR_i \quad (3.6)$$

Dengan:

g_i = tampilan waktu hijau pada fase i (det)

PR_i = Rasio fase $FR / \sum FR$

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) menyarankan untuk waktu hijau lebih pendek dari 10 detik harus dihindari. karena dapat mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan.

3.2.5 Waktu Siklus yang disesuaikan

Hitungan waktu siklus yang disesuaikan (c):

$$c = \sum g + LTI \text{ (detik)} \quad (3.7)$$

Sumber : MKJI, 1997 (Hal : 2 – 60)

3.3 Arus Jenuh Dasar (So)

Arus jenuh dasar merupakan jumlah antrian keberangkatan di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau). Dalam menentukan arus berangkat terlindung atau tipe pendekat P, maka arus jenuh dasar dirumuskan sebagai berikut:

$$S_o = 600 \times W_e \quad (3.8)$$

Dimana:

S_o = Arus jenuh dasar

W_e = Lebar efektif pendekat

3.4 **Faktor Penyesuaian**

Faktor koreksi dalam nilai arus lalu lintas jenuh dasar yang digunakan dalam kedua tipe pendekat yaitu tipe P dan O pada simpang adalah sebagai berikut:

3.4.1 **Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{cs})**

Faktor penyesuaian ukuran kota ditentukan dengan menggunakan Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{cs})

Jumlah Penduduk (Juta jiwa)	Faktor Koreksi 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, (MKJI, 1997)

3.4.2 **Faktor Penyesuaian hambatan samping (F_{sf})**

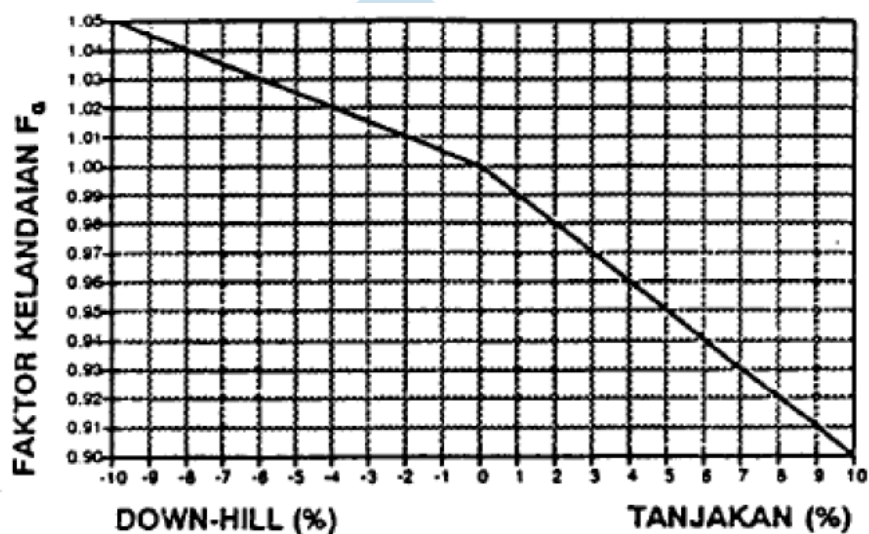
Faktor penyesuaian hambatan samping dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.5 di bawah, sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan.

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

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor (F_{SF})					
			0,00	0,05	0,10	0,16	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	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 (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas	Tinggi/ Sedang/ Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

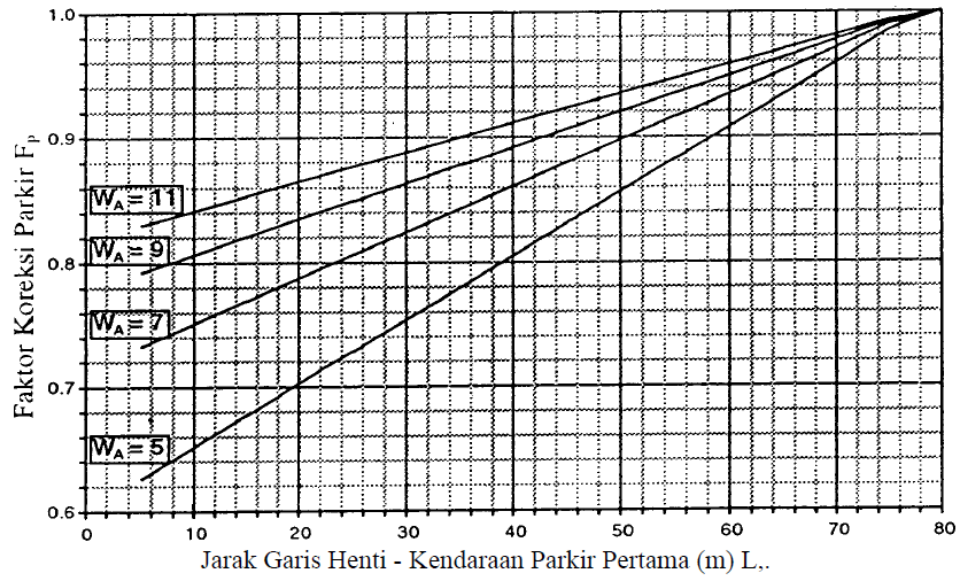
Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI, 1997)

3.4.3 Faktor Penyesuaian Untuk Kelandaian (F_G)

Gambar 3.2 Faktor Penyesuaian untuk Kelandaian (F_G)

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

3.4.4 Faktor Penyesuaian parkir (F_p)



Gambar 3.3 Faktor Koreksi Parkir (F_p)
Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI, 1997)

Selain menggunakan grafik di atas, faktor koreksi parkir (F_p) juga dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_p = [L_p/3 - (W_A - 2) \times (L_p/3 - g)/W_A] / g \quad (3.9)$$

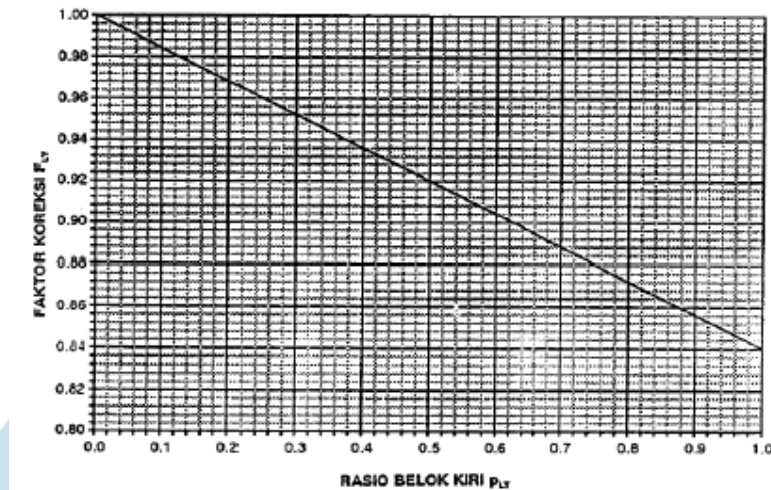
Dimana:

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

3.4.5 Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{LT})



Gambar 3.4 Koreksi Belok Kiri (F_{LT})
Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, (MKJI, 1997)

Selain menggunakan grafik di atas F_{LT} juga dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{LT} = Q_{LT} / Q_{TOT} \quad (3.10)$$

Keterangan :

P_{LT} = persentase belok kiri

Q_{RT} = jumlah arus yang belok kiri pada tiap pendekat (smp/jam)

Q_{TOT} = jumlah total arus pada tiap pendekat (smp/jam)

Setelah diketahui P_{LT} , besarnya (F_{LT}) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

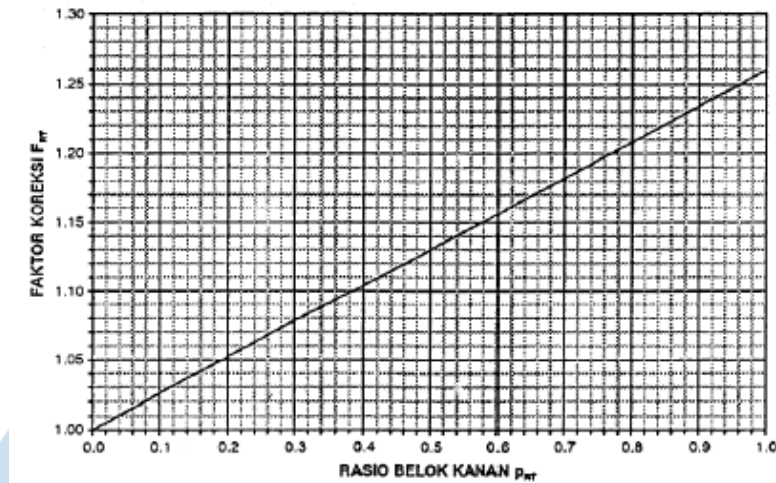
$$F_{LT} = 1,0 - (P_{LT} \times 0,16) \quad (3.11)$$

Dimana:

F_{LT} = faktor penyesuaian belok kiri

P_{LT} = rasio belok kanan

3.4.6 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT})



Gambar 3.5 Koreksi Belok Kanan (F_{RT})

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

Selain menggunakan grafik di atas F_{RT} juga dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{RT} = Q_{RT} / Q_{TOT} \quad (3.12)$$

Dimana:

P_{RT} = persentase belok kanan

Q_{RT} = jumlah arus yang belok kanan pada tiap pendekat (smp/jam)

Q_{TOT} = jumlah total arus pada tiap pendekat (smp/jam)

Setelah diketahui P_{RT} , kemudian F_{RT} dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$F_{RT} = 1 + (P_{RT} \times 0,26) \quad (3.13)$$

Dimana:

F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

3.5 Nilai Arus Jenuh (S)

Nilai arus jenuh dinyatakan sebagai arus jenuh disaat keadaan lalu lintas standar. Dimana nilai arus jenuh merupakan nilai hasil dari perkalian dari arus jenuh dasar (S_0) dengan faktor penyesuaian dari kondisi yang sebenarnya. Nilai arus jenuh (S) dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \quad (3.14)$$

Sumber: MKJI, 1997 (Hal: 2 – 56)

Dimana:

- S_0 = Arus jenuh dasar
- F_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota
- F_{SF} = Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan,
- F_G = Faktor penyesuaian untuk kelandaian
- F_P = Faktor penyesuaian parkir
- F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan
- F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri

3.6 Perbandingan Arus Lalu Lintas (Q) Dengan Arus Jenuh (S)

Perbandingan atau rasio arus jenuh yang terjadi pada setiap pendekatan dengan fase yang sama, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$FR = Q / S \quad (3.15)$$

Dimana:

- FR = Rasio arus jenuh
- Q = Jumlah arus jenuh lalu-lintas (smp/jam)
- S = Arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam hijau)

Apabila terdapat jumlah *flow ratio* yang terjadi dalam satu fase lebih dari satu, maka perlu diambil nilai yang kritis. Untuk harga rasio arus jenuh tertinggi disetiap fase disebut rasio arus jenuh (FR_{CRIT}), sedangkan penjumlahan pada FR_{CRIT} untuk keseluruhan fase pada satu siklus dinamakan arus simpang (IFR).

$$IFR = \sum (FR_{CRIT}) \quad (3.16)$$

Rasio fase (PR) untuk masing – masing fase dihitung dengan rumus berikut ini :

$$PR = FR_{CRIT} / IFR \quad (3.17)$$

3.7 **Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DS)**

Kapasitas persimpangan didasarkan dengan konsep dan angka aliran jenuh (*Saturation Flow*). Kapasitas ialah kemampuan suatu jalan dalam menampung kendaraan yang melintasi titik di suatu jalan simpang. Sedangkan angka *Saturation Flow* diartikan sebagai angka maksimum arus yang dapat melewati pendektan pertemuan jalan, mengikuti kontrol lalu lintas yang berlaku dan kondisi jalan. *Saturation Flow* dinyatakan dalam unit kendaraan per jam saat waktu lampu hijau. Dimana nilai kapasitas (C) dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kapasitas (C)} = S \times g/c \quad (3.18)$$

Dimana:

- C = Kapasitas (smp/jam)
- S = Arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam hijau)
- g = Waktu hijau (det)
- c = Waktu siklus disesuaikan (det)

Setelah nilai kapasitas (C) jalan sudah didapatkan, maka baru dapat menghitung nilai derajat kejenuhan (DS) suatu simpang jalan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kapasitas } DS = Q / C \quad (3.19)$$

Dimana:

Q = Arus lalu-lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

3.8 Perilaku Lalu Lintas

Perilaku lalu lintas merupakan ukuran perilaku lalu lintas yang ditentukan berdasarkan arus lalu lintas, derajat kejenuhan, dan waktu sinyal. Perilaku lalu lintas dipengaruhi dengan panjang antrian, angka henti, dan tundaan, hal ini akan dijelaskan di bawah ini.

3.8.1 Jumlah Antrian (NQ) dan Panjang Antrian (QL)

Jumlah antrian merupakan jumlah antrian yang terdapat pada waktu awal sinyal hijau ($NQ1$) ditambah dengan sisa pada fase hijau sebelumnya ($NQ2$) maka dirumuskan sebagai berikut:

$$NQ = NQ1 + NQ2 \quad (3.20)$$

Dalam menentukan jumlah antrian smp ($NQ1$) yang tersisa pada fase hijau dapat menggunakan rumus berikut:

$$NQ1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \quad (3.21)$$

Jika $DS \geq 0,5$ selain dari itu $NQ1 = 0$

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 ($S \times GR$)

Dalam menentukan besar jumlah antrian smp yang tersisa pada fase hijau sebelumnya ($NQ2$), dapat menggunakan rumus berikut:

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (3.22)$$

Dimana:

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau

c = Waktu siklus disesuaikan (det)

Q_{masuk} = Arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/det)

Menurut MKJI (1997), panjang antrian QL didapat dengan perkalian NQ dengan luas rata-rata yang digunakan per-smp (20 m^2) dan pembagian dengan lebar masuk seperti yang dirumuskan di bawah ini:

$$QL = \frac{NQ_{max} \times 20}{W_{masuk}} \quad (3.23)$$

Dimana:

QL = Panjang antrian

DS = Jumlah antrian

GR = Lebar masuk

3.8.2 Kendaraan Henti

Menurut MKJI (1997), kendaraan henti merupakan kendaraan yang berhenti pada saat pendekat akibat penerapan sinyal. Angka henti (NS) merupakan rata-rata jumlah kendaraan yang berhenti pada suatu pendekat. Untuk menghitung angka henti dapat menggunakan rumus berikut:

$$NS = 0,9 \times NQ / Q \times c \times 3600 \quad (3.24)$$

Dimana:

NS = Angka henti

NQ = Jumlah kendaraan yang antri pada suatu pendekat

c = Waktu siklus disesuaikan

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Setelah mendapatkan nilai angka henti, selanjutnya dilakukan penjumlahan nilai kendaraan terhenti (N_{SV}) pada setiap pendekatan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_{SV} = Q \times NS \quad (3.25)$$

Dimana:

N_{SV} = Jumlah kendaraan terhenti

Q = Arus lalu-lintas (smp/jam)

NS = Angka henti

Dengan nilai N_{SV} setiap lengan yang sudah didapatkan, maka selanjutnya menjumlahkan nilai N_{SV} yang dibagi dengan arus simpang total (Q) menjadi NS_{total} yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$NS_{Total} = \sum N_{SV} / Q_{TOT} \quad (3.26)$$

Dimana:

NS_{Total} = Angka henti total

$\sum N_{SV}$ = Jumlah kendaraan terhenti

Q_{Total} = Arus lalu-lintas (smp/jam)

3.8.3 Tundaan

Menurut MKJI (1997), tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang dibutuhkan saat melewati simpang. Faktor yang menyebabkan dibagi menjadi dua yaitu:

1. tundaan lalu lintas

Tundaan lalu lintas terjadi karena adanya akibat dari interaksi dan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Melalui hal tersebut, maka tundaan lalu lintas dirumuskan sebagai berikut:

$$DT = c \times d \times ((NQ_I \times 3600) / C) \quad (3.27)$$

Dimana:

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

c = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

d = $0,5 \times (1 - GR)^2 / (1 - GR \times DS)$

GR = Rasio hijau = (g/c)

DS = Derajat kejenuhan

NQ_I = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = Kapasitas (smp/jam)

2. tundaan geometri

Suatu tundaan yang terjadi karena perlambatan dan percepatan gerak kendaraan yang membelok pada simpang. Tundaan geometri rerata (DG) pada tiap pendekatan dirumuskan sebagai berikut:

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 \times (P_{SV} \times 4) \quad (3.28)$$

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

Tundaan rerata pada tiap pendekat (D) dihitung dengan menjumlahkan tundaan lalu lintas dan tundaan geometri disetiap pendekat, dirumuskan sebagai berikut:

$$D = DT + DG \quad (3.29)$$

$$DG_{TOT} = D \times Q \quad (3.30)$$

3.9 Metode Koordinasi Sinyal Pada Jalan Dua Arah

Penggunaan metode koordinasi sinyal pada jalan dua arah digunakan karena untuk menyesuaikan kasus persimpangan yang ditinjau. Metode ini harus memperhatikan *Green Bandwidth* dan *Offset*.

3.9.1 Metode Maksimasi *Green Bandwidth*

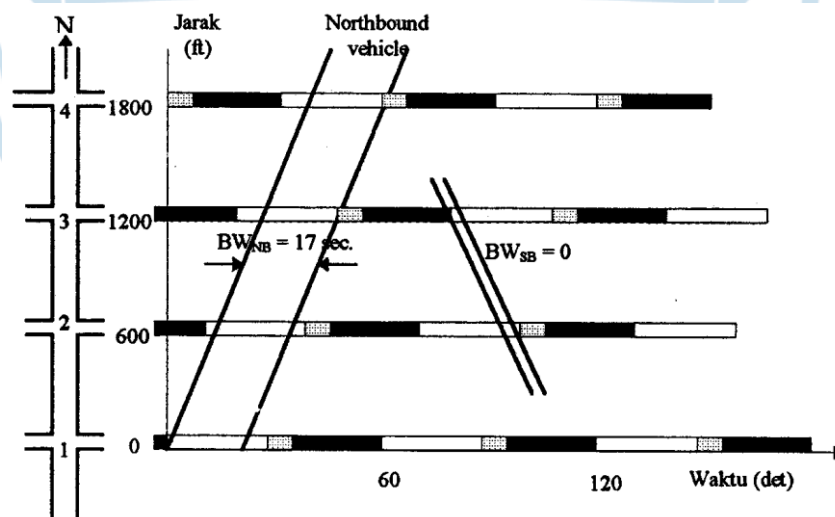
Metode maksimasi *Green Bandwidth* merupakan metode yang umum digunakan untuk mengkoordinasi sinyal persimpangan pada jalan dua arah. Penggunaan metode ini *offset* diatur hingga mendapatkan suatu jalur hijau (*Green Bandwidth*) pada jalur *inbound* dan *outbound*. Asumsi yang digunakan dalam metode ini ialah:

1. kendaraan bergerak dalam *pleton* yang bersamaan,

2. tidak ada *disperse pleton*,
3. volume lalu lintas yang rendah (*undersaturated*),
4. tidak ada atau sedikit kendaraan yang masuk jalan arteri dari jalan samping.

Keadaan ini diasumsikan pada Gambar 3.6 jarang ditemukan, akan tetapi konsep pendekatan ini sering dipakai karena *green bandwidth* mudah dilihat secara visual dan hasil yang baik dapat diperoleh secara manual menggunakan cara coba-coba (McShane and Roess, 1990). Ukuran efisiensi metode ini didefinisikan untuk perbandingan *bandwidth* terhadap panjang suatu siklus, yang dinyatakan dengan persentase:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{bandwidth}}{\text{panjang siklus}} \times 100\% \quad (3.31)$$



Gambar 3.6 *Bandwidth* pada Diagram *Time-space*
Sumber: McShane and Roess (1990)

Menurut McShane (1990), koordinasi sinyal dikatakan baik ketika efisiensi berkisar 40-50%. Nilai efisiensi besar dapat memberikan volume kendaraan yang

dapat lewat tanpa henti yang besar pula. Untuk besar volume yang melewati simpang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nonstop volume} = \frac{3600 \times (BW) \times (L)}{h \times c} \quad (3.32)$$

Dimana:

- Bw = *bandwidth* yang ada (sec)
- L = jumlah lajur lalu lintas yang ditinjau
- h = *headway* dalam pergerakan pleton (sec/veh)
- C = panjang siklus (sec)

3.9.2 Metode Minimasi Perbedaan *Offset* aktual dengan *Offset* Ideal

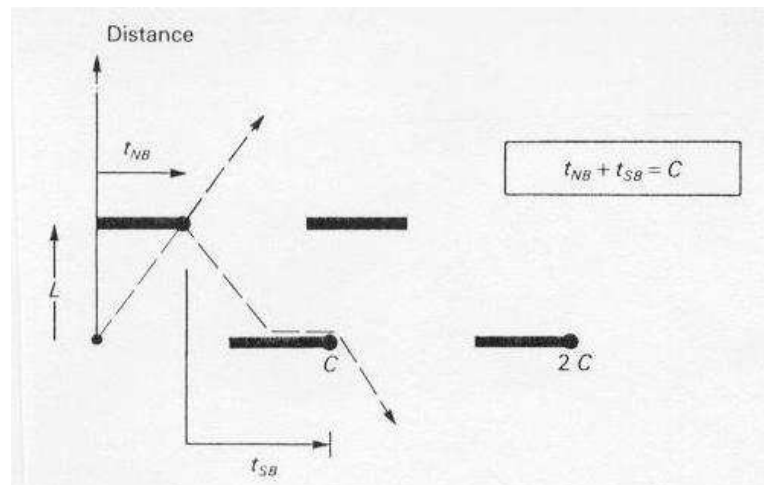
Metode minimasi perbedaan *offset* aktual dengan *offset* ideal bertujuan untuk mencari perbedaan *offset* aktual dengan *offset* ideal, sehingga mendapatkan hasil yang minimal. Metode ini memiliki kemiripan dengan metode maksimasi *green bandwidth*, perbedaannya terdapat pada perhitungannya. Tujuannya ialah mendapatkan jalur hijau maksimum pada kedua arah.

Offset aktual merupakan *offset* mana yang jumlah *offset inbound* dan *outbound* pada satu ruas sama dengan bilangan bulat. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan 3.8. Hubungan antara antara *offset* aktual arah *inbound* dengan *offset* aktual arah *outbound* adalah sebagai berikut:

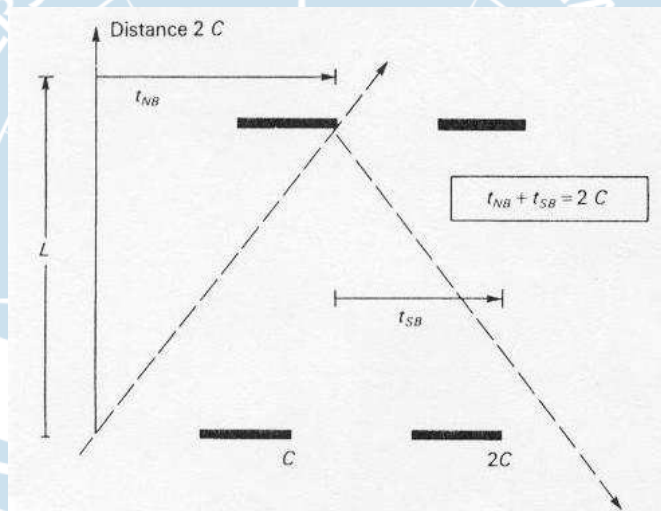
$$t_{NB} + t_{SB} = nC \quad (3.33)$$

dimana:

- t_{NB} = *offset* aktual arah *north bound (inbound)*
- t_{SB} = *offset* aktual arah *south bound (outbound)*
- n = bilangan bulat
- C = panjang siklus



Gambar 3.7 Waktu *Offset* untuk Satu Siklus



Gambar 3.8 Waktu *Offset* untuk Dua Siklus

Prinsip metode koordinasi ini mengatur *offset* sinyal sedemikian sehingga *pleton* melintasi persimpangan bersinyal dengan tundaan total yang kecil. Kajian ini memasukan data yang diasumsikan sudah diketahui yaitu:

1. waktu hijau tiap simpang,
2. *saturation flow rate* di tiap simpang,
3. kecepatan rata-rata lalu lintas pada kedua arah,
4. besar arus lalu lintas.

Apabila jumlah kendaraan belok kanan cukup besar, maka perlu diberikan fasilitas *late start* dengan menunda beberapa detik waktu hijau dari arah berlawanan untuk memberikan kesempatan kendaraan belok kanan. Terdapatnya fasilitas *late start* membuat sinyal hijau pada pergerakan kedua simpang berbeda. Maka diperlukan analisis persimpangan untuk mendapatkan waktu optimum yang berdasarkan data geometrik dan arus lalu lintas. Kemudian diambil panjang siklus koordinasi yaitu panjang siklus optimum terbesar di kedua simpang. Selanjutnya dihitung ulang alokasi waktu hijau berdasarkan panjang siklus koordinasi untuk kedua simpang.

3.10 Tingkat Pelayanan (Level of Service)

Menurut MKJI (1997), tingkat pelayanan merupakan suatu pengukuran kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional di arus lalu lintas, serta pandangan pengemudi atau penumpang. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 tingkat pelayanan untuk persimpangan dibagi menjadi 6, yaitu:

1. tingkat pelayanan A, dengan kondisi tundaan kurang dari 5 detik perkendaraan,
2. tingkat pelayanan B, dengan kondisi tundaan lebih dari 5 detik sampai 15 detik perkendaraan,
3. tingkat pelayanan C, dengan kondisi tundaan lebih dari 15 detik sampai 25 detik perkendaraan,
4. tingkat pelayanan D, dengan kondisi tundaan lebih dari 25 detik sampai 40 detik perkendaraan,

5. tingkat pelayanan E, dengan kondisi tundaan lebih dari 40 detik sampai 60 detik berkendara,
6. tingkat pelayanan F, dengan kondisi tundaan lebih dari 60 detik berkendara.

Pada kondisi operasional yang paling baik dari suatu fasilitas dinyatakan dengan tingkat pelayanan A, sedangkan untuk kondisi yang paling jelek dinyatakan dengan tingkat pelayanan F. Hubungan antara besarnya tundaan henti kendaraan (detik) dengan tingkat pelayanan dapat kita lihat pada tabel berikut :

Tabel 3.6 Kriteria Tingkat Pelayanan pada Persimpangan Bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan Henti Tiap Kendaraan (det)
A	0-5
B	5,1-15
C	15,1-25
D	25,1-40
E	40,1-60
F	<60