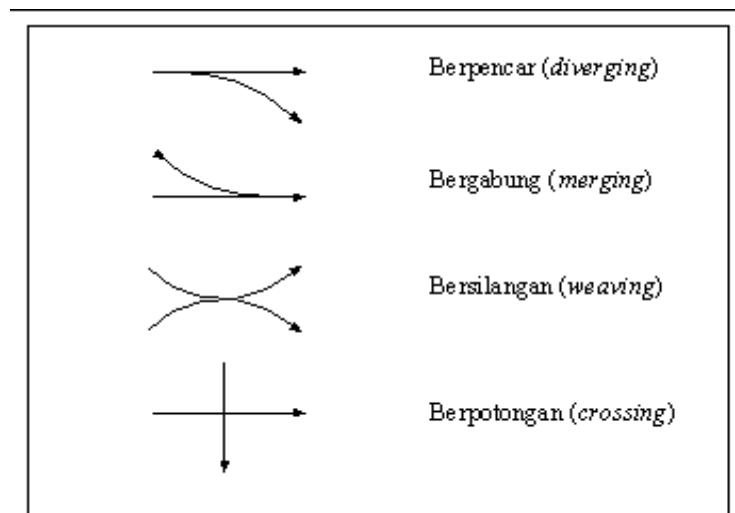


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Persimpangan

Simpang jalan merupakan simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekat, di mana arus kendaraan dari berbagai pendekat tersebut bertemu dan memencar meninggalkan simpang. Pada sistem transportasi dikenal tiga macam pertemuan jalan, yaitu pertemuan sebidang (*at grade intersection*), pertemuan tidak sebidang (*interchange*), dan persilangan jalan (*grade separation without ramps*) (Hobbs, 1995).



Gambar 1. Gambar Alih Gerak Kendaraan (Sumber: Khisty, C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

Fungsi operasional utama persimpangan adalah menyediakan ruang untuk perpindahan atau perpindahan arah perjalanan. Persimpangan merupakan bagian penting jalan raya. Oleh karena itu, efisiensi, keamanan, kecepatan,

biaya operasional dan kapasitas suatu persimpangan tergantung pada desain dari persimpangan itu sendiri.

1. Persimpangan sebidang

Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan yang masuk ke persimpangan, mengarahkan lalu-lintas masuk ke jalur yang berlawanan dengan lalu-lintas lainnya, seperti misalnya persimpangan pada jalan-jalan kota. Persimpangan ini memiliki ketinggian atau elevasi yang sama. Perencanaan persimpangan yang baik akan menghasilkan kualitas operasional yang baik seperti tingkat pelayanan, waktu tunda, panjang antrian dan kapasitas.

Secara lebih rinci, pengaturan simpang sebidang dapat dibedakan sebagai berikut ini.

a) Simpang prioritas (*priority intersection*)

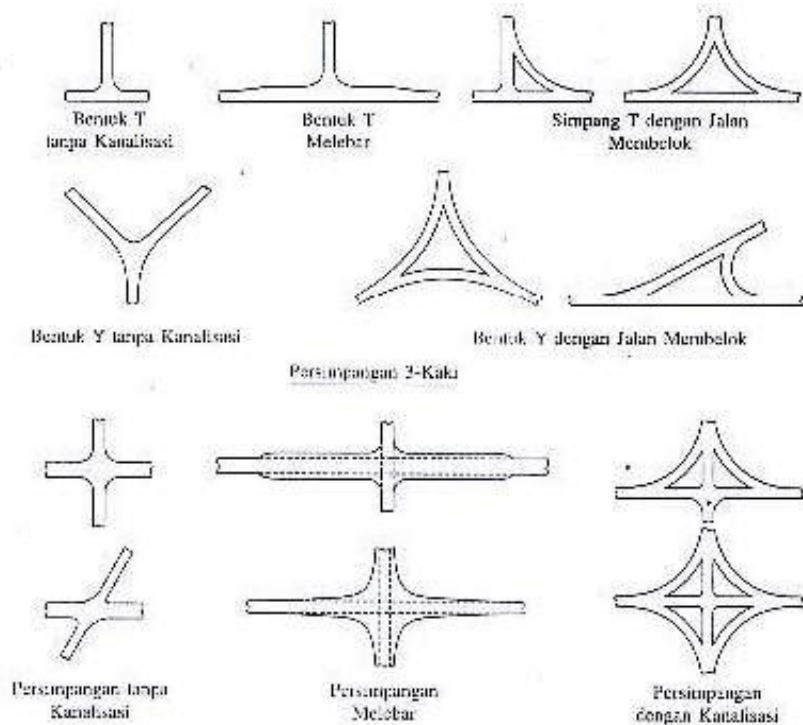
Dimana aliran arus lalu-lintas kecil, pengendalian pergerakan lalu-lintas pada simpang bisa dicapai dengan kontrol prioritas. Bentuk control prioritas adalah kendaraan pada jalan minor memberikan jalan kepada kendaraan pada jalan mayor. Aliran lalu-lintas prioritas dapat dirancang dengan memasang tanda berhenti (*stop*), memberikan jalan (*give way*), mengalah (*yield*) atau jalan pelan-pelan pada jalan minor.

b) Simpang bersinyal (*signalized intersections*)

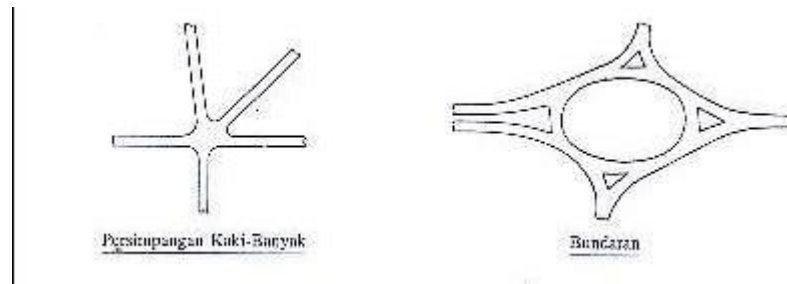
Penggunaan sinyal dengan lampu tiga warna, hijau-kuning-merah, diterapkan untuk memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu-lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu.

c) Bundaran (*rotary gyrotary intersections, roundabout*)

Bundaran atau pulau ditengah persimpangan dapat bertindak sebagai pengontrol, pembagi, pengarah bagi sistem lalu-lintas berputar satu arah. Pada cara ini gerakan penyilangan hilang dan digantikan dengan gerakan jalinan. Pengemudi yang masuk bundaran harus memberikan prioritas kepada kendaraan yang berada disisi kanannya. Tujuan utama bundaraan adalah melayani gerakan yang menerus, namun hal ini tergantung dari kapasitas dan luas daerah yang digunakan.



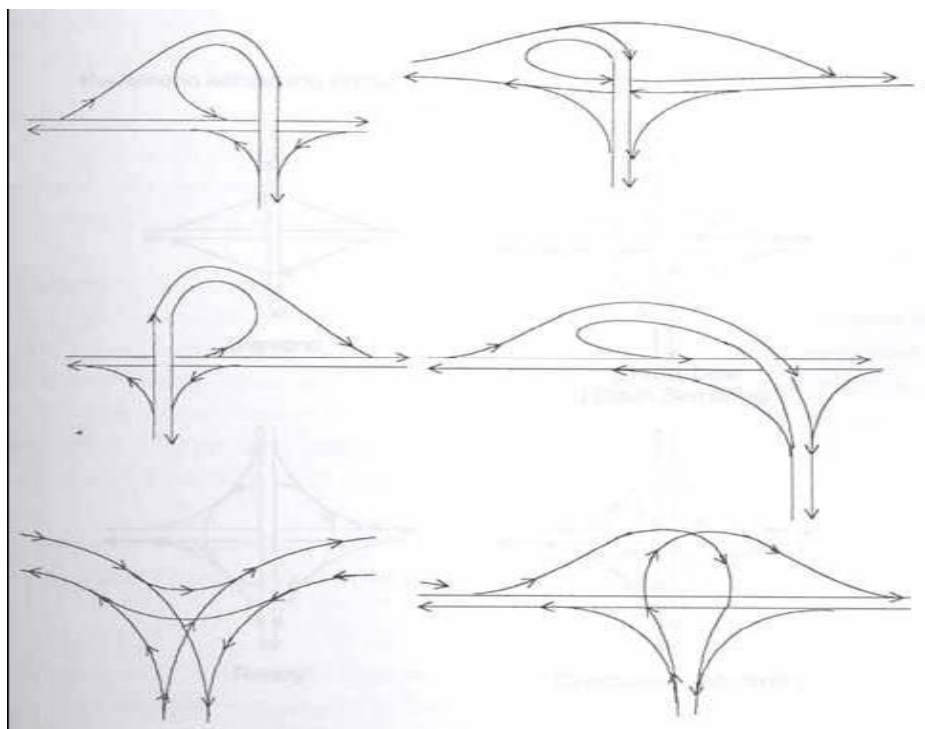
Gambar 2. Contoh-contoh Persimpangan Sebidang 3 lengan dan 4 lengan
(Sumber: Khisty,C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)



Gambar 3. Contoh-contoh Persimpangan Sebidang Kaki-Banyak dan Bundaran (Sumber: Khisty, C.J.,B.Kent Lall 1998) Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009

2. Persimpangan tidak sebidang

Persimpangan tak sebidang adalah persimpangan di mana jalan-jalan raya yang menuju ke persimpangan tersebut ditempatkan pada ketinggian yang berbeda



Gambar 4. Pertemuan tidak sebidang (Sumber: Khisty,C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

3. Persilangan jalan

Yang dimaksud dengan persilangan jalan adalah dua jalan yang saling bersilangan satu dengan lainnya, dimana kedua jalan tersebut tidak saling bertemu dalam satu bidang. Dengan demikian pada persilangan jalan, arus lalu-lintas dari jalan yang satu tidak ada kesempatan/tidak dapat berpindah atau membelok ke jalan yang lain karena memang tidak ada jalan yang menghubungkannya (*ramps*).

Persilangan jalan ini dipilih/ditetapkan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan:

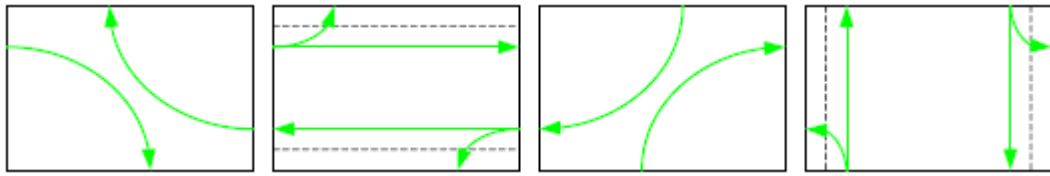
- Tidak ada kebutuhan membelok dari jalan yang satu ke jalan yang lain,
- Arus lalu-lintas pada jalan yang satu tidak boleh diganggu oleh arus lalu-lintas pada jalan yang lain (jalan yang satu merupakan *freeway*),
- Salah satu jalan hanya khusus dipakai oleh lalu lintas cepat.

4. Solusi mengatasi konflik di persimpangan

Ada beberapa cara untuk mengurangi konflik pergerakan lalu-lintas pada suatu persimpangan (Banks, 2002 dan Tamin, 2000) :

a) Solusi *Time-sharing*,

Solusi ini melibatkan pengaturan penggunaan badan jalan untuk masing-masing arah pergerakan lalu-lintas pada setiap periode tertentu. Contohnya adalah pengaturan siklus pergerakan lalu-lintas pada persimpangan dengan sinyal/*signalized intersection* (IHCM, 1997).

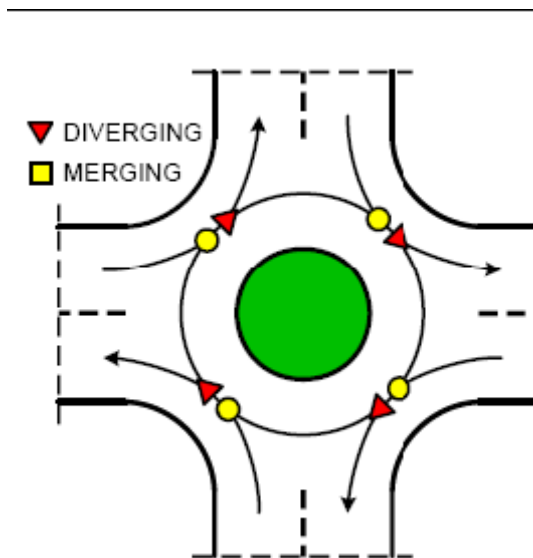


Gambar 5. Contoh Siklus Pergerakan Lalulintas Pada Persimpangan Bersinyal
(Sumber: Khisty, C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

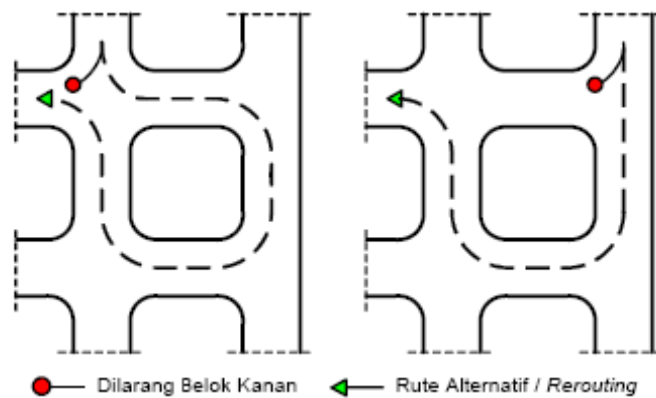
b) Solusi *Space-sharing*,

Prinsip dari solusi jenis ini adalah dengan merubah konflik pergerakan dari *crossing* menjadi jalinan atau *weaving* (kombinasi *diverging* dan *merging*). Contohnya adalah bundaran lalu-lintas (*roundabout*) seperti pada Gambar 6.

Prinsip roundabout ini juga bias diterapkan pada jaringan jalan yaitu dengan menerapkan larangan belok kanan pada persimpangan. Dengan adanya larangan belok kanan di suatu persimpangan, maka konflik di persimpangan dapat dikurangi. Untuk itu, sistem jaringan jalan harus mampu menampung kebutuhan pengendara yang hendak belok kanan, yakni dengan melewati kendaraan melalui jalan alternatif yang pada akhirnya menuju pada arah yang dikehendaki. Prinsip tersebut dinamakan *rerouting* (O'Flaherty, 1997)



Gambar 6. Bundaran lalulintas (*roundabout*) (Sumber: Khisty C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

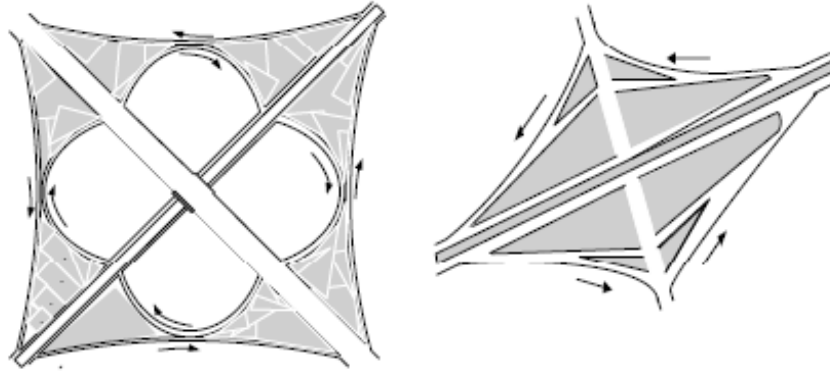


Gambar 7. Prinsip Rerouting Pada Jaringan Jalan (Sumber: Khisty, C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

c) Solusi *Grade Separation*,

Solusi jenis ini meniadakan konflik pergerakan bersilangan, yaitu dengan menempatkan arus lalu-lintas pada elevasi yang berbeda pada titik konflik. Contohnya adalah persimpangan tidak sebidang

(Gambar 8). bentuknya dapat berupa jalan layang dan jalan bawah tanah. Untuk jalan layang, dapat berbentuk *cloverleaf interchange* (contohnya Jembatan Semanggi di Jakarta) dan *diamond interchange*.



Gambar 8. Persimpangan tidak sebidang (*diamond interchange* *cloverleaf interchange*) (Sumber: Khisty, C.J., B. Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009)

B. Bundaran

Bundaran (*roundabout*) merupakan salah satu jenis pengendalian persimpangan yang umumnya dipergunakan pada daerah perkotaan dan luar kota sebagai titik pertemuan antara beberapa ruas jalan dengan tingkat arus lalu-lintas relatif lebih rendah dibandingkan jenis persimpangan bersinyal maupun persimpangan tidak bersinyal.

Salter (1995), mengatakan bahwa bundaran biasanya digunakan di daerah pusat perkotaan yang secara tradisional digunakan untuk memutuskan konflik antara pejalan kaki dengan arus lalu-lintas di daerah yang terbuka luas.

Terdapat tiga tipe dasar bundaran:

1. Bundaran normal, yaitu bundaran yang mempunyai satu sirkulasi jalan yang mengelilingi bundaran tersebut dengan diameter empat meter atau lebih dan biasanya dibagian pendekat jalannya melebar.
2. Bundaran mini, yaitu bundaran yang memiliki satu sirkulasi jalan yang mengelilingi bundaran berupa marka bundaran yang ditinggikan diameternya kurang dari empat meter dan bagian pendekat jalannya melebar atau tidak dilebarkan.
3. Bundaran ganda, yaitu persimpangan individual dengan dua buah bundaran, bundaran normal atau bundaran mini yang berdekatan.

Menurut O' Flaherty (1997) bundaran sangat efektif digunakan sebagai salah satu pengendalian persimpangan di daerah perkotaan dan luar kota yang memiliki beberapa karakteristik antara lain:

- Persentase volume lalu lintas yang belok kanan sangat banyak,
- Tidak memungkinkan membuat persimpangan dengan prioritas dari berbagai arah lengan pendekat,
- Tidak seimbangny kejadian kecelakaan yang melibatkan pergerakan bersilangan maupun menikung,
- Mengurangi tundaan jika dibandingkan penggunaan persimpangan bersinyal,
- Terjadi perubahan dari jalan dua arah menjadi satu arah.

Bundaran pada umumnya memiliki tingkat keselamatan yang lebih baik dibandingkan jenis pengendalian persimpangan yang lain, tingkat kecelakaan

lalu-lintas bundaran sekitar 0,3 kejadian per 1 juta kendaraan (tingkat kecelakaan lalu-lintas pada persimpangan bersinyal 0,43 dan simpang tak bersinyal 0,6) karena rendahnya kecepatan lalu-lintas dan kecilnya sudut pertemuan titik konflik, dan saat melewati bundaran kendaraan tidak harus berhenti pada saat volume lalulintas rendah (MKJI 1997).

Bundaran dapat bertindak sebagai pengontrol, pembagi dan pengarah bagi sistem lalu-lintas yang berputar searah. Gerakan menerus dan membelok yang besar pada seluruh kaki pertemuan jalan akan mengurangi sumber kecelakaan dan memberikan kenyamanan yang lebih pada pada kondisi pengemudi (Hobbs, 1995). Bundaran lebih disukai karena dapat mengurangi tundaan dan memungkinkan banyak kendaraan memotong simpang tanpa harus berhenti total (MKJI, 1997).

Bundaran efektif jika digunakan untuk persimpangan antara jalan-jalan yang sama ukuran dan tingkat arusnya. Oleh sebab itu bundaran adalah sangat sesuai bagi persimpangan antara jalan dua lajur dan empat lajur. Kinerja bundaran dipengaruhi oleh jari-jari bundaran. Radius pulau bundaran ditentukan oleh kendaraan yang dipilih untuk membelok di dalam jalur lalu-lintas dan jumlah lajur masuk yang diperlukan. Semakin besar jari-jari bundaran maka tundaan semakin kecil sehingga kemacetan dapat dikurangi.

Tipe bundaran dapat dilihat dari Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.1 Nilai Tipe Bundaran

Tipe Bundaran	Jari-jari bundaran (m)	Jumlah lajur masuk	Lebar lajur masuk W_t (m)	Panjang jalinan L_w (m)	Lebar jalinan W_w (m)
R10 - 11	10	1	3,5	23	7
R10 - 22	10	2	7,0	27	9
R14 - 22	14	2	7,0	31	9
R20 - 22	20	2	7,0	43	9

(Sumber: MKJI 1997)

Ukuran kinerja umum dalam analisis operasional pada bundaran yang dapat diperkirakan berdasarkan aturan Manual Kapasitas Jalan Indonesi (MKJI)1997 adalah :

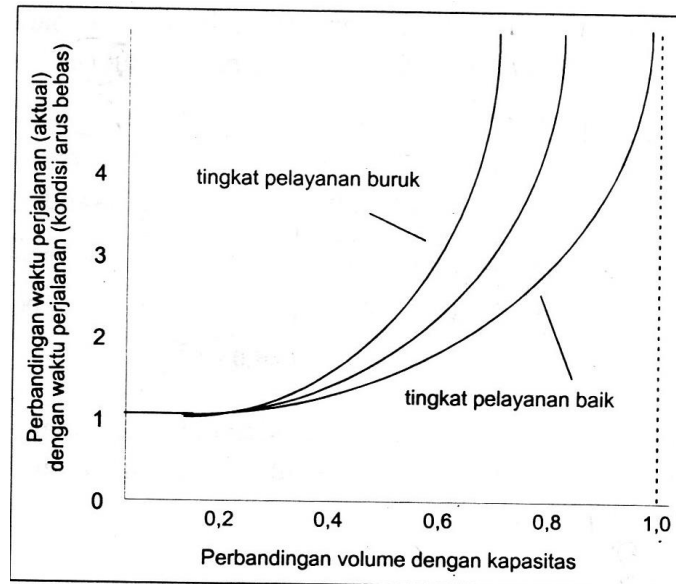
1. Kapasitas,
2. Derajat Kejenuhan,
3. Tundaan,
4. Peluang Antrian

1. Kapasitas

Kapasitas dapat didefinisikan sebagai arus lalu-lintas yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu (rencana geometrik, lingkungan, komposisi lalu-lintas dan sebagainya), dalam kendaraan/jam atau smp/jam (MKJI 1997).

Kapasitas adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu persimpangan atau ruas jalan selama waktu tertentu pada kondisi jalan dan lalu-lintas dengan tingkat kepadatan yang ditetapkan (HCM 1994). Kapasitas bundaran pada keadaan lalu-lintas lapangan (ditentukan oleh hubungan antara semua gerakan) dan kondisi lapangan, didefinisikan

sebagai arus lalu-lintas total pada saat bagian jalinan yang pertama mencapai kapasitasnya. Dimana kapasitas lebih besar dibandingkan arus, jika arus lebih besar dari kapasitas maka bundaran sudah tidak layak dipergunakan.



Gambar 9. Grafik Hubungan Arus dan Kapasitas

a. Faktor yang mempengaruhi kapasitas

Faktor yang mempengaruhi kapasitas suatu simpang menurut Oglesby dan Hick (1998) adalah :

1. Kondisi fisik simpang dan operasi, yaitu ukuran dan dimensi lebar jalan, kondisi parkir dan jumlah lajur,
2. Kondisi lingkungan, yaitu faktor jam sibuk pada suatu simpang,
3. Karakteristik gerakan lalu lintas, yaitu gerakan mambelok dari kendaraan,
4. Karakteristik lalu-lintas kendaraan berat, yaitu truk dan bus melewati simpang.

b. Kapasitas dapat dibagi menjadi dua bagian

1. Kapasitas Dasar adalah kapasitas pada geometri dan prosentase jalinan tertentu tanpa induksi faktor penyesuaian.
2. Kapasitas sesungguhnya diperoleh dengan cara mengalikan kapasitas dasar (CO) dengan penyesuaian ukuran kota (FCS) serta faktor lingkungan jalan (FRSU).

Kapasitas (C) sesungguhnya (smp/jam) dihitung dengan menggunakan induksi faktor penyesuaian F. Besarnya kapasitas tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C = 135 \times Ww^{1,3} \times (1+WE/Ww)^{1,5} \times (1-Pw/3)^{0,5} \times (1+Ww/Lw)^{-1,8} \times Fcs \times FRSU \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

WE = (lebar masuk rata-rata) = $\frac{1}{2} (W1 + W2)$

WW = Lebar jalinan (m)

Lw = Panjang jalinan (m)

PW = Rasio jalinan

FCS = Faktor penyesuaian ukuran kota

FRSU = Faktor penyesuaian tipe lingkaran

$$\text{Faktor } Ww = 135 \times Ww^{1,3} \dots\dots\dots(2.2)$$

Faktor penyesuaian FCS untuk ukuran kota dimasukkan sebagai jumlah penduduk di seluruh daerah perkotaan sebagaimana Tabel 2.1.

Tabel 2.2. Kelas Ukuran Kota

Ukuran Kota	Jumlah Penduduk	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota
Sangat Kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	>3,0	1,05

(Sumber: MKJI 1997)

Faktor penyesuaian F tipe lingkungan jalan di klasifikasikan dalam kelas menurut guna tanah dan aksesibilitas jalan tersebut dari aktifitas sekitarnya. Hal ini di tetapkan secara kualitatif dari pertimbangan teknik lalu-lintas sebagaimana yang ditunjukkan melalui Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.3. Tipe Lingkungan Jalan

Komersial	Tata guna lahan komersial (misalnya perkotaan, rumah makan, perkotaan dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan)
Pemukiman	Tata guna lahan tempat tinggal dan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
Akses Terbatas	Tempat jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping dan sebagainya)

(Sumber: MKJI 1997)

Tabel 2.4. Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tidak bermotor

Kelas Tipe Lingkungan jalan (RE)	Kelas hambatan samping (SF)	Rasio kendaraan tak bermotor					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Pemukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,88	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,89	0,83	0,78	0,74
Akses Terbatas	Tinggi, sedang, rendah	1,00	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75

(Sumber: MKJI 1997)

Kapasitas dasar adalah kapasitas pada geometri dan prosentase jalinan tertentu tanpa induksi faktor penyesuaian dan dihitung dengan persamaan :

$$C_0 = 135 \times W_w^{1,3} \times (1 + W_E/W_w)^{1,5} \times (1 - P_w/3)^{0,5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1,8} \dots (2.3)$$

keterangan :

W_E = lebar masuk rata-rata = $\frac{1}{2} (W_1 + W_2)$

W_w = lebar jalinan (m)

L_w = panjang jalinan (m)

P_w = rasio jalinan

$$\text{Faktor } W_E/W_w = (1 + W_E/W_w)^{1,5} \dots (2.4)$$

$$\text{Faktor } P_w = (1 - P_w/3)^{0,5} \dots (2.5)$$

$$\text{Faktor } W_w/L_w = (1 + W_w/L_w)^{-1,8} \dots (2.6)$$

$$\text{Faktor lebar jalinan } (W_w) = W_w = 135 \times W_w^{1,3} \dots (2.7)$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adalah :

1. Kondisi ideal,
2. Kondisi jalan,
3. Kondisi medan,
4. Kondisi lalulintas,
5. Populasi pengemudi,
6. Kondisi pengendalian lalulintas.

2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (*degree of saturation*) menunjukkan rasio arus lalu-lintas pada pendekat tersebut terhadap kapasitas. Pada nilai tertentu, derajat kejenuhan dapat menyebabkan antrian yang panjang pada kondisi lalu-lintas puncak (MKJI 1997).

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, derajat kejenuhan (DS) bagian jalinan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$DS = \frac{Q_{smp}}{C} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q_{smp} = Q_{kendaraan} \times F_{smp} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$F_{smp} = \frac{LV\% + (HV\% \times emp_{HV}) + (MC\% \times emp_{MC})}{100} \dots\dots\dots(2.9)$$

keterangan :

Q_{smp} = Arus total (smp/jam)

F_{smp} = faktor mobil satuan penumpang

C = Kapasitas (smp/jam)

3. Tundaan

Menurut (MKJI 1997), tundaan yang terjadi dibundaran dapat terjadi karena dua sebab yaitu tundaan lalu-lintas (DT) akibat interaksi lalu-lintas dengan gerakan yang lain di dalam persimpangan dan tundaan geometrik (DG) akibat perlambatan dan percepatan arus lalu-lintas.

Tundaan rata-rata bagian jalinan dihitung sebagai berikut:

$$D = DT + DG \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

D = tundaan rata-rata bagian jalinan (det/smp)

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

DG = tundaan geometrik rata-rata bagian jalinan (det/smp)

Tundaan lalu-lintas pada bagian jalan ditentukan berdasarkan kurva tundaan empiris dengan derajat kejenuhan sebagai variabel masukan.

Tundaan geometrik pada bagian jalinan dihitung menggunakan rumus:

$$DG = (1-DS) \times 4 + D_s \times 4 = 4 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Tundaan rata-rata bundaran dihitung menggunakan rumus :

$$DT_R = \Sigma (Q_i \times DT_i) / Q_{masuk} ; i=\dots n \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

keterangan :

DT_R = tundaan bundaran rata-rata (det/smp)

i = bagian jalinan i dalam bundaran

n = jumlah bagian jalinan dalam bundaran

Q_i = arus total lapangan pada bagian jalinan i (det/smp)

DT_i = tundaan lalu-lintas rata-rata pada bagian jalinan i (det/smp)

Q_{masuk} = jumlah arus total yang masuk bundaran (smp/jam)

DG = tundaan rata-rata geometrik pada bagian jalinan (det/smp)

4. Peluang antrian pada bagian jalinan bundaran

Peluang antrian QP% pada bagian jalinan ditentukan berdasarkan kurva antrian empiris, dengan derajat kejenuhan sebagai variabel masukan.

Peluang antrian bundaran di tentukan dengan menggunakan rumus :

$$QP\% = \text{MAKS dari } (QP\%); 1 \dots n \dots \dots \dots (2.13)$$

keterangan :

QP% = peluang antri bagian jalinan i,

n = jumlah bagian jalinan dalam bundaran

C. Karakteristik Volume Lalulintas

Volume lalu-lintas menurut MKJI 1997 adalah jumlah kendaraan yang lewat pada suatu jalan dalam suatu waktu (hari, jam, menit). Volume yang tinggi membutuhkan lebar jalan yang lebih besar sehingga tercipta keamanan dan kenyamanan.

Volume lalu-lintas ini dihitung berdasarkan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pada suatu jalan dalam selama satuan waktu, yaitu :

$$q = \frac{N}{T} \dots \dots \dots (2.15)$$

keterangan :

q = volume kendaraan (kendaraan / jam)

N = jumlah kendaraan yang lewat (kendaraan)

T = waktu atau periode pengamatan (jam)

Volume lalu-lintas yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini adalah :

1. volume harian, yaitu volume lalu-lintas pada hari tertentu,
2. volume tiap jam, yaitu volume lalu-lintas yang terjadi pada tiap jam-jam puncak.

Volume lalu-lintas pada umumnya berbeda antara volume lalu-lintas jam sibuk pagi, siang dan sore.

D. Satuan Mobil Penumpang

Data arus lalu-lintas yang didapatkan dari survei primer di lapangan adalah dalam data arus lalu-lintas dalam suatu kendaraan/jam. Sedangkan untuk pengolahan data selanjutnya satuan yang digunakan adalah satuan mobil penumpang (smp). Oleh karena itu, untuk mengolah data arus lalu-lintas yang diperoleh dari lapangan, dilakukan konversi dari satuan kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per jam dengan menggunakan nilai ekivalensi mobil penumpang (emp).

Tabel 2.5 Nilai Ekivalen Mobil Penumpang (emp)

Tipe Kendaraan	Ekivalen mobil penumpang	
	Pendekat Terlindung	Pendekat Terlawan
Kendaraan Ringan (Lv)	1,0	1,0
Kendaraan berat (Hv)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,5

(Sumber: MKJI 1997)

Sedangkan untuk kendaraan tidak bermotor (*un-motorcycle*), menurut MKJI 1997 diperhitungkan sebagai hambatan samping.