

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Arus Lalu lintas

Karakteristik dasar arus lalu lintas adalah arus, kecepatan, dan kerapatan. Karakteristik ini dapat diamati dengan cara makroskopik atau mikroskopik. Pada tingkat mikroskopik analisis dilakukan secara individu sedangkan pada tingkat makroskopik analisis dilakukan secara kelompok (Soedirdjo, 2002). Tabel 2.1 menggambarkan kerangka dasar dari karakteristik lalu lintas.

Tabel 2. 1 Kerangka dasar karakteristik lalu lintas

Karakteristik lalu lintas	Mikroskopik	Makroskopik
Arus	Waktu Antrean (<i>time headway</i>)	Tingkat arus
Kecepatan	Kecepatan individu	Kecepatan rata-rata
Kerapatan	Jarak antrean (<i>distance headway</i>)	Tingkat kerapatan

(MKJI 1997)

Karakteristik arus makroskopik dinyatakan dengan tingkat arus dan pembahasan akan ditekankan pada pola variasi dalam waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kecepatan makroskopik menganalisis kecepatan dari kelompok kendaraan yang melintas suatu titik pengamat atau suatu potongan jalan pendek selama periode waktu tertentu. Penekanan diberikan pada variasi waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kerapatan makroskopik dinyatakan sebagai sejumlah kendaraan yang menempati suatu potongan jalan. Kerapatan merupakan karakteristik penting yang dapat digunakan dalam menilai kinerja lalu lintas dari sudut pandang pemakai jalan dan pengelola jalan.

2.1.1 Arus dan Volume lalu lintas (flow)

Menurut (PKJI 2023) Data masukan lalu lintas dibedakan untuk 2 (dua) hal, yaitu data arus lalu lintas eksisting dan data arus lalu lintas rencana. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas, berupa arus lalu lintas per jam eksisting yang dihitung pada jam-jam tertentu, misalnya arus lalu

lintas pada jam sibuk pagi atau arus lalu lintas pada jam sibuk sore. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam perencanaan (qJP) yang ditetapkan dari LHRT, faktor K, dan faktor jam sibuk (FJS) yang merepresentasikan fluktuasi selama jam sibuk.

Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume biasanya dihitung dalam kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume dapat juga dinyatakan dalam periode waktu yang lain.

Volume lalu lintas umumnya rendah pada malam hari, tetapi meningkat secara cepat sewaktu orang mulai pergi ke tempat kerja. Volume jam sibuk biasanya terjadi di jalan perkotaan pada saat orang melakukan perjalanan ke dan dari tempat kerja atau sekolah. Volume jam sibuk pada jalan antar-kota lebih sulit untuk diperkirakan.

Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi 3 (tiga) (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Volume harian (*Daily Volume*) Ada empat parameter volume harian yang banyak digunakan yaitu :

- Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) atau average annual daily traffic (AADT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melintas lokasi dalam satu tahun dibagi 365.
- Lalu lintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) atau average annual weekday traffic (AAWT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama satu tahun penuh.
- Lalu lintas harian rata-rata (LHR) atau average daily traffic (ADT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi untuk periode waktu kurang dari satu tahun. Sementara AADT dihitung selama satu tahun penuh.
- Lalu lintas hari kerja rata-rata (LHKR) atau average weekday traffic (AWT) adalah volume lalu lintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari setahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

2. Volume jam-an (*Hourly Volumes*) Yaitu suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang kerja. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar yang disebut sebagai jam puncak.
3. Volume per sub jam (*Sub Hourly Volumes*) Yaitu pengamatan terhadap arus lalulintas lebih kecil dari satu jam.

2.1.2 Kecepatan (*speed*)

Kecepatan adalah jarak yang ditempuh kendaraan per satuan waktu. Satuan yang digunakan adalah km/jam atau m/det. Kecepatan dapat berubah-ubah tergantung tempat, waktu, geometrik jalan, kondisi pengemudi, jenis kendaraan, maupun cuaca disekitar jalan tersebut.

Pada umumnya kecepatan dibagi menjadi tiga jenis sebagai berikut ini :

1. Kecepatan setempat (*Spot Speed*), yaitu kecepatan kendaraan pada suatu saat diukur dari suatu tempat yang ditentukan.
2. Kecepatan bergerak (*Running Speed*), yaitu kecepatan kendaraan rata-rata pada suatu jalur pada saat kendaraan bergerak dan didapat dengan membagi panjang jalur dibagi dengan lama waktu kendaraan bergerak menempuh jalur tersebut.
3. Kecepatan perjalanan (*Journey Speed*), yaitu kecepatan efektif kendaraan yang sedang dalam perjalanan antara dua tempat dan merupakan jarak antara dua tempat dibagi dengan lama waktu kendaraan menyelesaikan perjalanan antara dua tempat tersebut. Kecepatan tempuh merupakan kecepatan rata-rata dari perhitungan lalu lintas yang dihitung berdasarkan panjang segmen jalan dibagi dengan waktu tempuh rata-rata kendaraan dalam melintasinya. Sedangkan waktu tempuh (TT) adalah waktu total yang diperlukan untuk Melewati suatu panjangn jalan tertentu, termasuk waktu berhenti dan tundaan pada simpang. Waktu tempuh tidak termasuk berhenti untuk beristirahat dan perbaikan kendaraan (MKJI,1997).

4. Hambatan (*delay*)

- Hambatan tetap (*fixed delay*)
- Hambatan bergerak (*running delay*)

Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalu lintas tidak dikenal kecepatan tunggal tetapi lebih dikenal sebagai distribusi dari kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas. Dan dibutuhkan panjang jalan untuk mencari kecepatan ,rekomendasi panjang jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan Setempat

Perkiraan kecepatan rata-rata arus lalu lintas (km/jam)	Penggal Jalan (m)
< 40	25
40-65	50
> 65	75

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990

2.1.3 Kerapatan

Kerapatan adalah sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer (Alamsyah, 2008).

Kerapatan sukar diukur secara langsung (karena diperlukan titik ketinggian tertentu yang dapat mengamati jumlah kendaraan dalam panjang ruas jalan tertentu), sehingga besarnya ditentukan dari dua parameter sebelumnya, yaitu kecepatan dan volume (Alamsyah, 2008). Dimana kerapatan, kecepatan dan volume mempunyai hubungan seperti pada Pers. 2-1 dan Pers. 2-2.

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad 2-1$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad 2-2$$

Dengan:

V = Volume (smp/jam)

$\bar{U}_{sr}$ = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

D = Kerapatan (smp/km)

2.2 Perhitungan Kapasitas Simpang

Kapasitas Simpang C , dihitung untuk total arus yang masuk dari seluruh lengan Simpang dan didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas dasar (C_0) dengan faktor-faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan terhadap kondisi idealnya. Persamaan berikut adalah persamaan untuk menghitung kapasitas Simpang.

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKl} \times F_{BKk} \times F_{Rmi}$$

Keterangan :

C = kapasitas Simpang, dalam SMP/jam.

C_0 = kapasitas dasar Simpang, dalam SMP/jam.

F_{LP} = faktor koreksi lebar rata-rata pendekat.

F_M = faktor koreksi tipe median.

F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota.

F_{HS} = faktor koreksi hambatan samping.

F_{BKl} = faktor koreksi rasio arus belok kiri.

F_{BKk} = faktor koreksi rasio arus belok kanan.

F_{Rmi} = faktor koreksi rasio arus dari jalan minor.

2.2.1 Kapasitas Dasar

C_0 ditetapkan secara empiris dari kondisi simpang yang ideal yaitu simpang dengan lebar lajur pendekat rata-rata (L_{RP}) 2,75 m, tidak ada median, ukuran kota 1–3 juta jiwa, hambatan samping sedang, rasio belok kiri (R_{BKl}) 10%, rasio belok kanan (R_{BKk}) 10%, rasio arus dari jalan minor (R_{mi}) 20%, dan $q_{KTB} = 0$. Nilai C_0 simpang ditunjukkan dalam Tabel berikut :

Tabel 2. 3 Kapasitas dasar Simpang-3 dan Simpang-4

Tipe Simpang	C ₀ , SMP/jam
322	2700
324	3200
344	3200
422	2900
424	3400

2.2.2 Penetapan Tipe Simpang

Tipe simpang ditetapkan berdasarkan jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada jalan mayor dan jalan minor dengan kode tiga angka (Tabel 2.4). Jumlah lengan adalah jumlah lengan untuk lalu lintas masuk atau keluar atau keduanya.

Tabel 2. 4 Kapasitas dasar Simpang Jalan mayor dan Minor

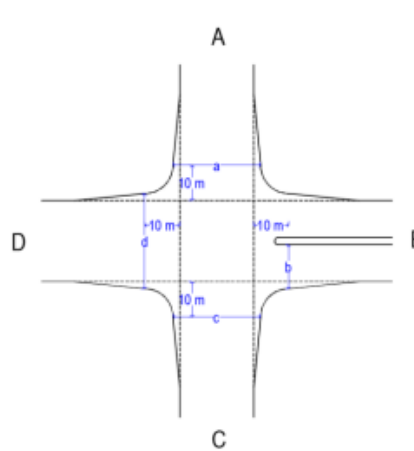
Kode Tipe Simpang	Jumlah lengan Simpang	Jumlah lajur jalan minor	Jumlah lajur jalan mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

2.2.3 Penetapan Lebar Rata-Rata Pendekat (L_{RP})

Nilai C₀ tergantung dari tipe simpang dan penetapannya harus berdasarkan data geometri. Data geometri yang diperlukan untuk penetapan tipe simpang adalah

jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada setiap pendekat. Penetapan jumlah lajur per pendekat diuraikan dalam Gambar 2.1. Pertama, harus dihitung lebar rata-rata pendekat jalan mayor ($L_{RP\ BD}$) dan lebar rata-rata pendekat jalan minor ($L_{RP\ AC}$) yaitu rata-rata lebar pendekat dari setiap kaki simpangnya. Berdasarkan lebar rata-rata pendekat, tetapkan jumlah lajur pendekat sehingga tipe simpang dapat ditetapkan. Untuk Simpang-3, pendekat minornya hanya A atau hanya C dan lebar rata-rata pendekat adalah $a/2$ atau $c/2$.

Kapasitas Simpang



Lebar rata-rata pendekat mayor (B-D) dan minor (A-C)	Jumlah lajur (untuk kedua arah)
$L_{RP\ BD} = \frac{(b + \frac{d}{2})}{2} < 5,5\ m$	2
$L_{RP\ BD} \geq 5,5\ m$ (ada median pada lengan B)	4
$L_{RP\ AC} = \frac{(\frac{a}{2} + c)}{2} < 5,5\ m$	2
$L_{RP\ AC} \geq 5,5\ m$	4

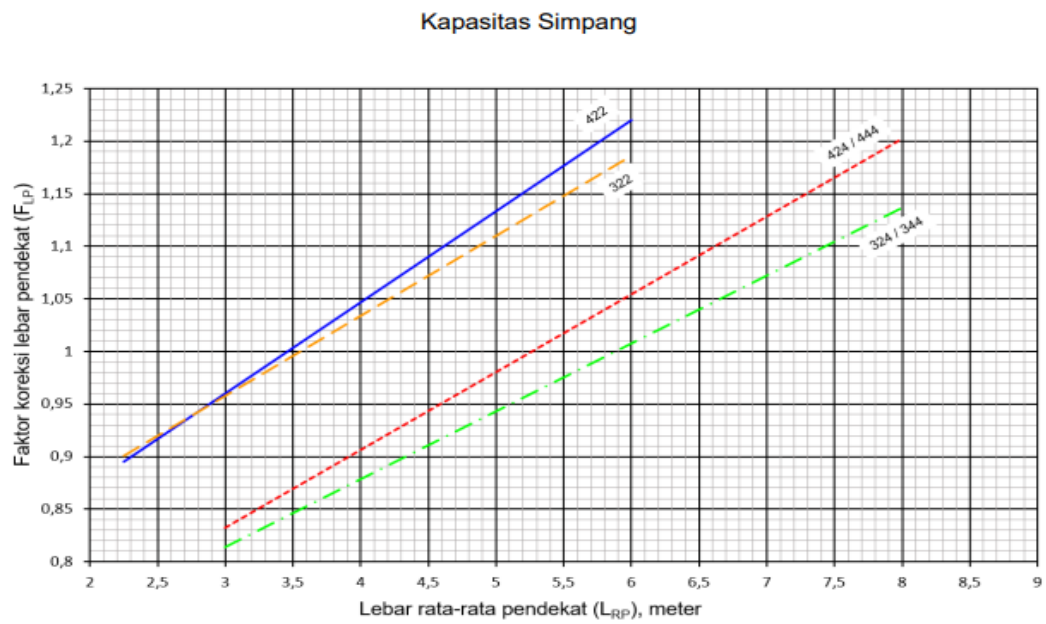
Gambar 2. 1 Penentuan Jumlah lajur

Secara praktis, untuk lengan yang melayani dua arah arus lalu lintas, L_{RP} adalah lebar lengan simpang dibagi dua. Apabila pendekat tersebut sering digunakan untuk parkir, maka L_P yang ada harus dikurangi 2,0 m atau sejauh lebar area parkir yang ada di lapangan.

2.2.4 Faktor Koreksi Lebar Pendekat Rata-Rata (F_{LP})

F_{LP} dapat dihitung dari Persamaan 2-3 sampai 2-6 atau diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2, yang besarnya tergantung dari lebar rata-rata pendekat simpang (L_{RP}).

Untuk Tipe Simpang 422:	$F_{LP} = 0,70 + 0,0866\ L_{RP}$	2-3
Untuk Tipe Simpang 424 atau 444:	$F_{LP} = 0,61 + 0,0740\ L_{RP}$	2-4
Untuk Tipe Simpang 322:	$F_{LP} = 0,73 + 0,0760\ L_{RP}$	2-5
Untuk Tipe Simpang 324 atau 344:	$F_{LP} = 0,62 + 0,0646\ L_{RP}$	2-6



Gambar 2. 2 Faktor koreksi lebar pendekat (F_{LP})

2.2.5 Faktor Koreksi Median Pada Jalan Mayor (F_M)

Median disebut lebar jika mobil penumpang dapat berlindung dalam daerah median tanpa mengganggu arus lalu lintas, sehingga lebar median lebih besar atau sama dengan 3,0 m. Klasifikasi median berikut faktor koreksi median pada jalan mayor diperoleh dalam Tabel 2.5. Koreksi median hanya digunakan untuk jalan mayor dengan 4 (empat) lajur.

Tabel 2. 5 Faktor koreksi median pada jalan mayor, F_M

Kondisi Simpang	Tipe median	Faktor koreksi, F_M
Tidak ada median di jalan mayor	Tidak ada	1.00
Ada median di jalan mayor dengan lebar <3 m	Median sempit	1.05
Ada median di jalan dengan lebar ≥ 3 m	Median lebar	1.20

2.2.6 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Semakin besar kota semakin agresif pengemudi menjalankan mobilnya sehingga dianggap menaikkan kapasitas. F_{UK} dibedakan berdasarkan besarnya populasi penduduk. Nilai F_{UK} dapat dilihat dalam Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK})

Ukuran kota	Populasi penduduk, juta jiwa	F_{UK}
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

2.2.7 Faktor Koreksi Hambatan samping (F_{HS}).

Pengkategorian tipe lingkungan jalan ditetapkan menjadi tiga, yaitu komersil, permukiman, dan akses terbatas. Pengkategorian tersebut berdasarkan fungsi tata guna lahan dan aksesibilitas jalan dari aktivitas yang ada di sekitar simpang. Kategori tersebut ditetapkan berdasarkan penilaian teknis dengan kriteria sebagaimana diuraikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Tipe lingkungan jalan

Tipe Lingkungan Jalan	Kriteria
Komersial	Lahan yang digunakan untuk kepentingan komersial, misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran, dengan jalan masuk langsung baik bagi pejalan kaki maupun kendaraan.
Permukiman	Lahan digunakan untuk tempat tinggal dengan jalan masuk langsung baik bagi pejalan kaki maupun kendaraan.
Akses terbatas	Lahan tanpa jalan masuk langsung atau sangat terbatas, misalnya karena adanya penghalang fisik; akses harus melalui jalan samping.

Pengkategorian hambatan samping ditetapkan menjadi 3 (tiga) yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Masing-masing menunjukkan pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang terhadap arus lalu lintas yang berangkat dari pendekat, misalnya

pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan kota dan bus berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman dan tempat parkir di luar jalur. Ketiga kategori tersebut ditetapkan sebagaimana diuraikan dalam Tabel 2.8. Nilai F_{HS} dapat dilihat dalam Tabel 2.9

Tabel 2. 8 Kriteria kelas hambatan samping

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat. Contoh, adanya aktivitas angkutan umum seperti menaikturunkan penumpang atau mengetem, pejalan kaki dan/atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar/masuk simpang pendekat.
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat.
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar simpang tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping.

Tabel 2. 9 F_{HS} fungsi dari tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan R_{KTB}

Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping	F_{HS} untuk nilai R_{KTB}					
		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
Permukiman	Tinggi	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
	Sedang	0.97	0.92	0.87	0.82	0.77	0.73
	Rendah	0.98	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74
Akses terbatas	Tinggi/Sedang/Rendah	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75

Nilai koreksi hambatan samping pada Tabel 2.9 disusun dengan anggapan bahwa pengaruh KTB terhadap kapasitas dasar adalah sama dengan pengaruh mobil

penumpang, sehingga $EMP_{KTB} = 1,0$. Jika diperlukan lebih detail, persamaan 2-7 dapat digunakan untuk menghitung F_{HS} untuk $EMP_{KTB} \neq 1,0$ (misal untuk KTB berupa sepeda).

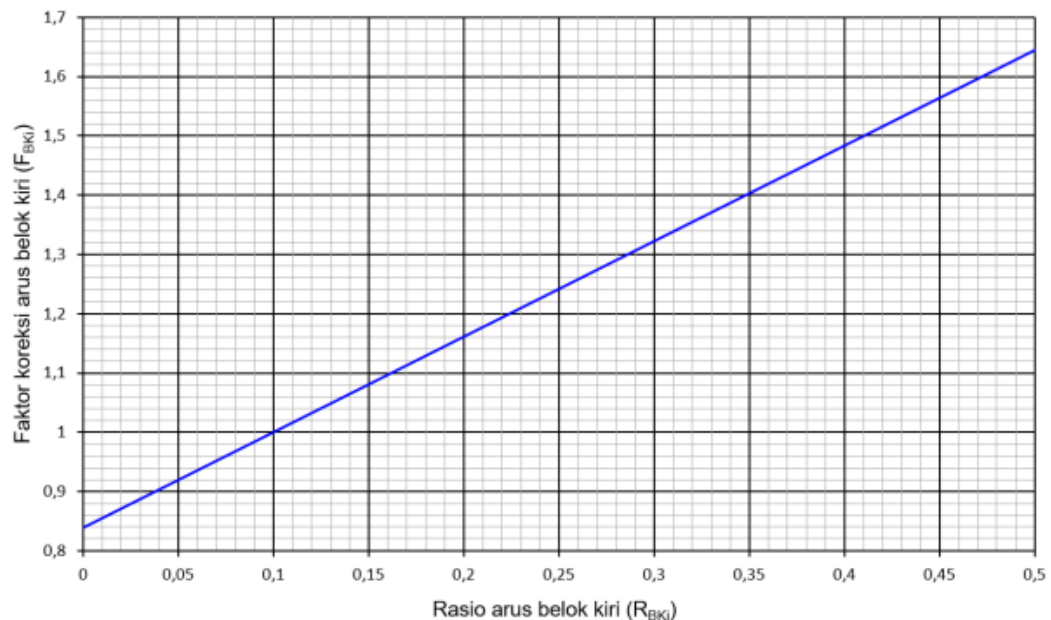
$$F_{HS}(R_{KTB} \text{ sesungguhnya}) = F_{HS}(R_{KTB} = 0) \times (1 - R_{KTB} \times EMP_{KTB}) \quad 2-7$$

2.2.8 Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kiri (F_{BK_i})

F_{BK_i} dapat dihitung menggunakan persamaan 2-8 atau dari grafik pada Gambar 2.3.

$$F_{BK_i} = 0,84 + 1,61 R_{BK_i} \quad 2-8$$

Keterangan: R_{BK_i} adalah rasio belok kiri.



Gambar 2. 3 Faktor koreksi rasio arus belok kiri (F_{BK_i})

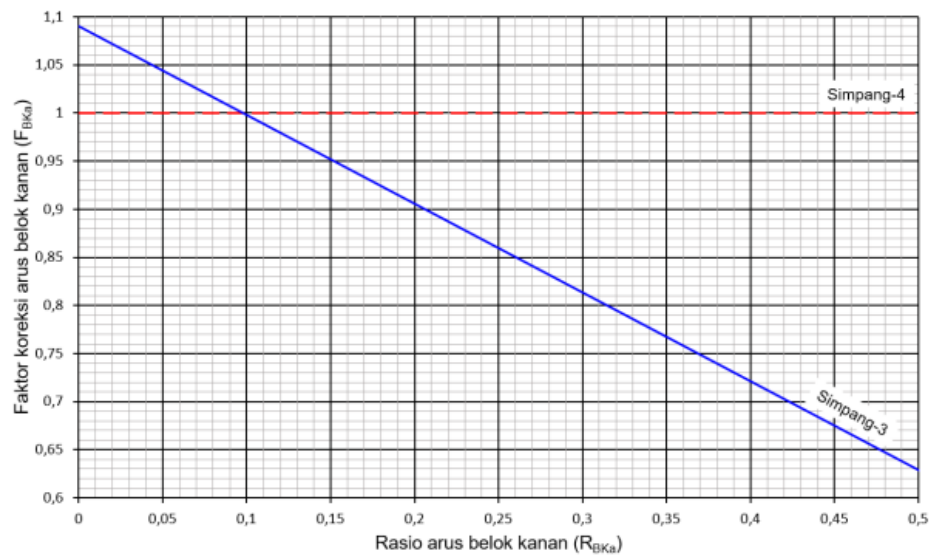
2.2.9 Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kanan (F_{BK_a})

F_{BK_a} dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2-9 dan 2-10 atau diperoleh dari grafik dalam Gambar 2.4.

$$\text{Untuk Simpang-4: } F_{BK_a} = 1,0 \quad 2-9$$

$$\text{Untuk Simpang-3: } F_{BK_a} = 1,09 - 0,922 R_{BK_a} \quad 2-10$$

Keterangan: R_{BK_a} adalah rasio belok kanan.



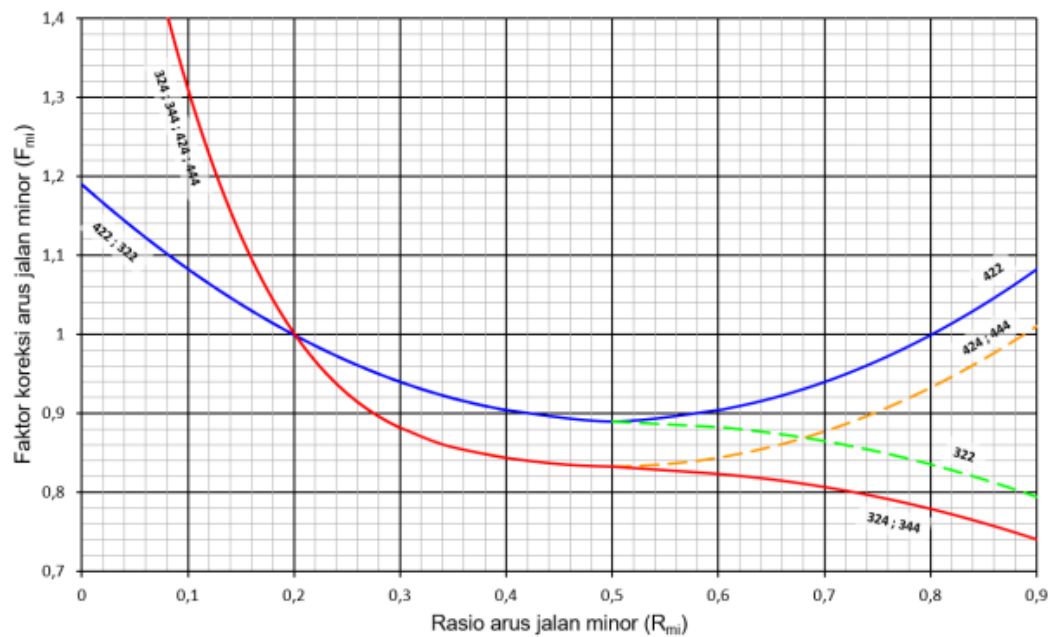
Gambar 2. 4 Faktor koreksi rasio arus belok kanan (F_{BKa})

2.2.10 Faktor Koreksi Rasio Arus dari Jalan Minor (F_{mi})

F_{mi} dapat ditentukan menggunakan persamaan-persamaan yang ditabelkan dalam Tabel 2.10 atau diperoleh secara grafis menggunakan grafik dalam Gambar 2.5. F_{mi} tergantung dari R_{mi} dan tipe simpang.

Tabel 2. 10 Faktor koreksi rasio arus jalan minor (F_{mi}) bentuk persamaan

Tipe simpang	F_{mi}	R_{mi}
422	$1,19 \times R_{mi}^2 - 1,19 \times R_{mi} + 1,19$	0,1–0,9
424 dan 144	$16,6 \times R_{mi}^4 - 33,3 \times R_{mi}^3 + 25,3 \times R_{mi}^2 - 8,6 \times R_{mi} + 1,95$	0,1–0,3
	$1,11 \times R_{mi}^2 - 1,11 \times R_{mi} + 1,11$	0,3–0,9
322	$1,19 \times R_{mi}^2 - 1,19 \times R_{mi} + 1,19$	0,1–0,5
	$-0,595 \times R_{mi}^2 + 0,595 \times R_{mi} + 0,74$	0,5–0,9
324 & 344	$16,6 \times R_{mi}^4 - 33,3 \times R_{mi}^3 + 25,3 \times R_{mi}^2 - 8,6 \times R_{mi} + 1,95$	0,1–0,3
	$1,11 \times R_{mi}^2 - 1,11 \times R_{mi} + 1,11$	0,3–0,5
	$-0,555 \times R_{mi}^2 + 0,555 \times R_{mi} + 0,69$	0,5–0,9



Gambar 2. 5 Faktor koreksi rasio arus jalan minor (F_{mi})

2.3 Kinerja Simpang

2.3.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Semua nilai arus lalu lintas yang masuk ke simpang dan masih dinyatakan dalam satuan kend/jam perlu dikonversikan menjadi SMP/jam menggunakan nilai EMP pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Nilai EMP untuk KS dan SM

Jenis kendaraan	EMP	
	$q_{TOTAL} \geq 1000$ kend/jam	$q_{TOT} < 1000$ kend/jam
MP	1.0	1.0
KS	1.8	1.3
SM	0.2	0.5

2.3.2 Derajat Kejenuhan

D_J Simpang dihitung menggunakan persamaan 2-11.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad 2-11$$

Keterangan:

D_J = derajat kejenuhan.

C = kapasitas simpang, dalam SMP/jam.

q = semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang dengan satuan SMP/jam.

2.3.3 Tundaan

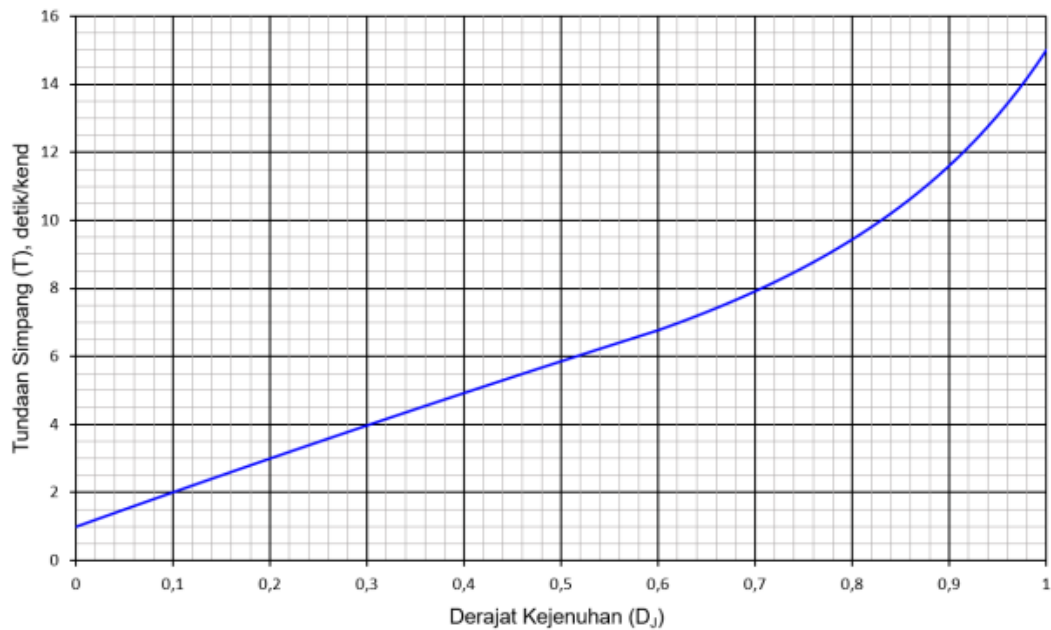
Tundaan (T) terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). T_{LL} adalah tundaan yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. Bedakan T_{LL} dari seluruh simpang, dari jalan mayor saja atau jalan minor saja. T_G adalah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan yang terganggu saat kendaraankendaraan membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti. T dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$T = T_{LL} + T_G \quad 2-12$$

T_{LL} adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari semua arah, dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-13 dan 2-14 atau diperoleh menggunakan Gambar 2.6 berdasarkan nilai D_J .

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60: T_{LL} = 2 + 8,2078 D_J - (1 - D_J)^2 \quad 2-13$$

$$\text{Untuk } D_J > 0,60: T_{LL} = \frac{1.0504}{(0.2742 - 0.2042 D_J)} - (1 - D_J)^2 \quad 2-14$$

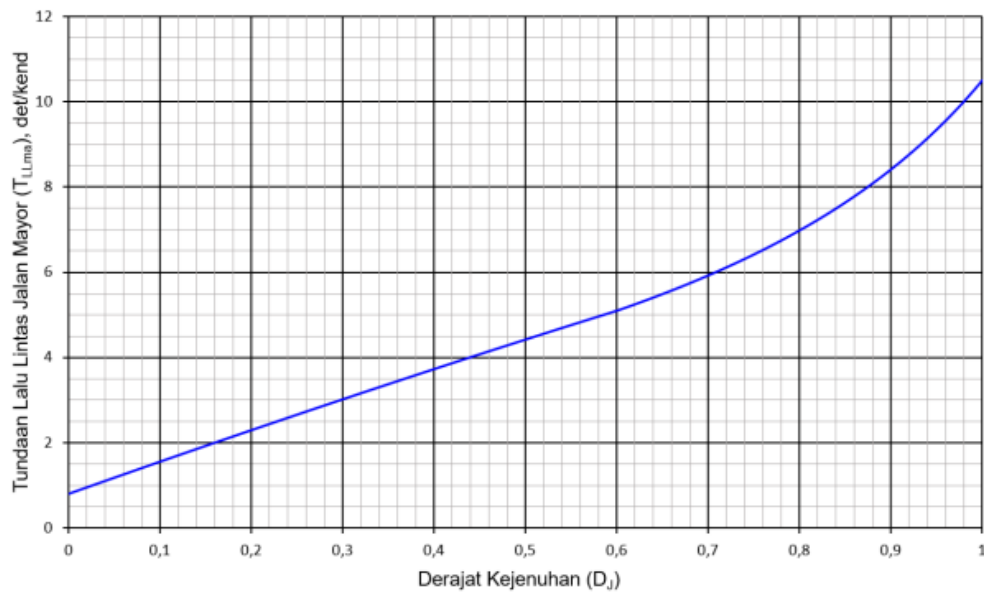


Gambar 2. 6 Tundaan lalu lintas simpang sebagai fungsi dari D_J

Tundaan lalu lintas untuk jalan mayor (T_{LLma}) adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan mayor, dapat dihitung menggunakan persamaan 2-15 dan 2-16 atau diperoleh menggunakan Gambar 2.7 berdasarkan nilai D_J .

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60: T_{LL} = 1.8000 + 5,8234 D_J - (1 - D_J)^{1.8} \quad 2-15$$

$$\text{Untuk } D_J > 0,60: T_{LL} = \frac{1.0504}{(0.3460 - 0.2460 D_J)} - (1 - D_J)^{1.8} \quad 2-16$$



Gambar 2. 7 Tundaan lalu lintas jalan mayor sebagai fungsi dari D_J

Tundaan lalu lintas untuk jalan minor (T_{LLmi}) adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan minor, ditentukan dari T_{LL} dan T_{LLma} , dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$T_{LLmi} = \frac{q_{KB} \times T_{LL} - q_{ma} \times T_{LLma}}{q_{mi}} \quad 2-17$$

Keterangan:

q_{KB} = arus total kendaraan bermotor yang masuk simpang, dalam SMP/jam.

q_{ma} = arus kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan mayor, dalam SMP/jam.

TG adalah tundaan geometri rata-rata seluruh simpang, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Untuk } D_J < 1: T_G = (1 - D_J) \times \{6 R_B + 3 (1 - R_B)\} + 4 D_J (\text{detik/SMP}) \quad 2-18$$

$$\text{Untuk } D_J < 1: T_G = 4 \text{ detik/SMP}$$

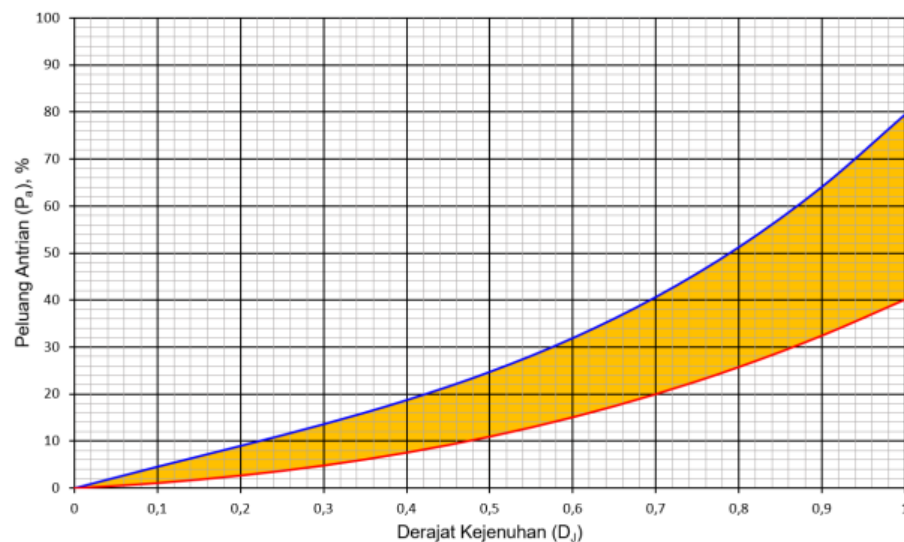
Keterangan: R_B adalah rasio arus belok terhadap arus kendaraan bermotor total simpang

2.3.4 Peluang Antrian

P_a dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%) dan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2-19 dan 2-20 atau ditentukan menggunakan Gambar 2.8. P_a tergantung dari D_J dan digunakan sebagai salah satu dasar penilaian kinerja lalu lintas Simpang.

$$\text{Batas atas peluang : } P_a = 47,71 D_J - 24,68 D_J^2 + 56,47 D_J^3 \quad 2-19$$

$$\text{Batas bawah peluang : } P_a = 9,02 D_J + 20,66 D_J^2 + 10,49 D_J^3 \quad 2-20$$



Gambar 2. 8 Peluang antrian (P_a , %) pada simpang sebagai fungsi dari D_J

2.4 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

2.4.1 Perhitungan Volume

Volume Kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalulintas di jalan. Kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang telah ditetapkan sehingga nantinya diperoleh jumlah kendaraan yang lewat pada ruas jalan tersebut. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam smp/jam untuk mendapatkan nilai volume kendaraan yang lewat setiap jamnya.

2.4.2 Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \quad 2-21$$

Dimana :

- $\bar{U}$ = kecepatan (km/jam)
- x = jarak tempuh kendaraan (km)
- t = waktu tempuh kendaraan (jam)

Kecepatan kendaraan pada suatu bagian jalan, akan berubah-ubah menurut waktu dan besarnya lalu lintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan yaitu :

- a. Kecepatan rata-rata ruang ($\bar{U}_{sr}$), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- b. Kecepatan rata-rata waktu ($\bar{U}_t$), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.

Kecepatan rata-rata ruang dan kecepatan rata-rata waktu dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut Pers 2-22 dan 2-23 berikut :

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad 2-22$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad 2-23$$

Dimana :

- $\bar{U}_t$ = kecepatan rata-rata waktu (km/jam)
- $\bar{U}_{sr}$ = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
- x = jarak tempuh (km)
- t_i = waktu tempuh kendaraan (jam)
- n = jumlah kendaraan yang diamati

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan.

Disebabkan karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang bejalan cepat, akan tetapi pada saat pengambilan data dilaksanakan kendaraan yang bejalan lambat juga harus diikutsertakan. Oleh karena itu, pendekatan antara kecepatan setempat dan dan kecepatan rata-rata ruang digunakan Pers 2-24 sebagai berikut :

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_t - S^2 / \bar{U}_t \quad 2-24$$

$$S = \frac{\sum(Xi - \bar{X})}{n-1} \quad 2-25$$

Dimana :

S = deviasi standar dari kecepatan setempat.

X = rata-rata

2.4.3 Perhitungan Kerapatan

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalulintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kederaan telah diperoleh sebelumnya.

$$D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}} \quad 2-26$$

Dimana:

D = kerapatan (smp/km)

V = volume lalulintas (smp/jam)

$\bar{U}_{sr}$ = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

2.5 Pemodelan Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Analisis untuk suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter di atas, yaitu volume, kecepatan dan kerapatan lalulintas dalam keadaan jalan lalulintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti defenisi dari kriteria tingkat pelayanan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk kendaraan

yang tidak sejenis. Penurunan model yang dapat menyatakan atau merepresentasikan hubungan di atas ada 3 yaitu:

1. Model Linear *Greenshield*
2. Model Logaritma *Greenberg*
3. Model Eksponensial *Underwood*

2.5.1 Model Linear *Greenshield*

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati perilaku lalu lintas. Greenshields mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). Greenshields mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Berdasarkan penelitian-penelitian selanjutnya terdapat hubungan yang erat antara model linier dengan keadaan data di lapangan. Hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Adapun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan cara regresi linier adalah :

$$Y = A + Bx \quad 2-27$$

Dengan nilai :

$$A = \frac{\Sigma x^2 \cdot \Sigma y - \Sigma x^2 \Sigma y - \Sigma xy}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad 2-28$$

$$B = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad 2-29$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y = A + Bx$ maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada $\bar{U}_f$ dan memotong skala kerapatan pada D_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut adalah sebagai berikut :

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \cdot D \quad 2-30$$

Dimana:

$\bar{U}_{sr}$ = kecepatan rata-rata ruang

$\bar{U}_f$ = kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas (*free flow*)

D_j = kerapatan pada saat macet (*jam density*)

D = kerapatan

Pada saat kecepatan merupakan kecepatan arus bebas (*free flow*), pengemudi dapat memacu kendaraannya pada kecepatan yang diinginkannya sedangkan pada saat kondisi kerapatan macet (*jam density*), kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali atau kondisi kecepatan sangat kecil.

Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{U}_f$ dan D_j , maka persamaan (2-30) diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$, dengan memisalkan :

$$Y = \bar{U}_{sr}$$

$$X = D$$

$$A = \bar{U}_f$$

$$B = -\frac{\bar{U}_f}{D_j}$$

Hubungan antara volume dan kerapatan diperoleh dari substitusi $\bar{U}_{sr} =$ Ke persamaan (2-30) didapat :

$$V = D \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D^2 \quad 2-31$$

Hubungan antara volume dan kecepatan diperoleh dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ ke persamaan (2-30) didapat :

$$V = \bar{U}_{sr} D_j - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) \bar{U}_{sr}^2 \quad 2-32$$

Harga volume maksimum dapat dicari dengan menurunkan persamaan (2-31) terhadap kerapatan (D) dan nilai volume maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama (diferensial ke-1) tersebut sama dengan nol.

Untuk nilai $\frac{\partial V}{\partial D} = 0$ maka :

$$V_m = \frac{D_j \bar{U}_f}{4} \quad 2-32$$

Nilai D_m disubstitusikan ke dalam persamaan (2-31) dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , diperoleh :

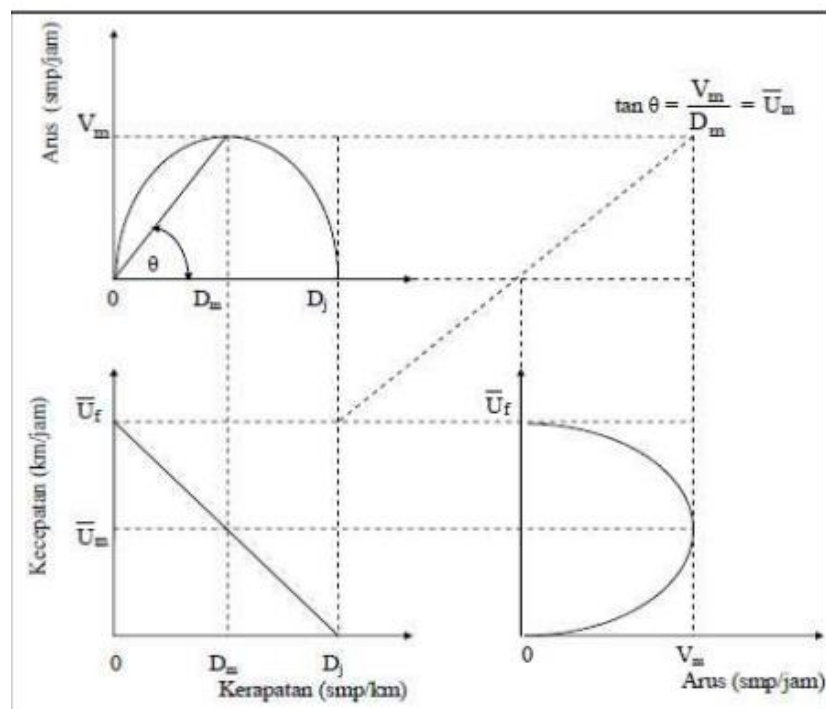
$$V_m = \frac{D_j}{2} \quad 2-33$$

Dimana:

V_m = Arus maksimum (kend/jam)

D_m = Kerapatan pada saat arus maksimum (kend/km)

Selanjutnya hubungan antara ketiga kecepatan, volume dan kerapatan digambarkan pada Gambar 2.9. Gambar ini menunjukkan bentuk umum hubungan antara volume dengan kecepatan, volume dengan kerapatan dan kecepatan dengan kerapatan. Hubungan antara kecepatan dengan kerapatan adalah monoton ke bawah yang artinya apabila kerapatan naik, maka kecepatan akan turun. Volume menjadi nol ketika kerapatan sangat tinggi sehingga tidak memungkinkan kendaraan untuk bergerak lagi. Ketika kerapatan nilainya nol, maka tidak terdapat kendaraan di jalan sehingga volume juga nol. Antara kedua nilai-nilai ekstrim tersebut dikembangkan hubungan antara kedua parameter tersebut.



Gambar 2. 9 Hubungan Antara Arus, Kecepatan dan Kerapatan

Gambar 2.9 menunjukkan beberapa titik penting, yaitu tingkat volume nol terjadi pada dua kondisi berbeda. Pertama, jika tidak ada kendaraan di fasilitas, kerapatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Secara teoritis, kecepatan pada saat kondisi ini ditentukan oleh pengemudi pertama (diasumsikan pada nilai yang tinggi). Kecepatan ini dinyatakan dalam $\bar{U}_f$. Kedua, jika kerapatan menjadi begitu tinggi sehingga semua kendaraan harus berhenti, kecepatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Karena tidak ada pergerakan dan kendaraan tidak dapat melintas pada suatu titik di potongan jalan. Kerapatan dimana semua kendaraan berhenti disebut kerapatan macet dinyatakan sebagai D_j .

Diantara kedua kondisi ekstrim tersebut, dinamika arus lalu lintas menghasilkan pengaruh maksimum. Dengan meningkatnya arus dari nol, kerapatan juga meningkat karena lebih banyak kendaraan di jalan. Jika hal ini terjadi, kecepatan menurun karena interaksi antar kendaraan. Penurunan ini diabaikan pada kerapatan dan arus rendah dan sedang. Dengan meningkatnya kerapatan, kurva ini menganjurkan bahwa kecepatan menurun cukup berarti sebelum kapasitas dicapai.

Apabila kerapatan naik dari nol, maka arus juga naik. Namun apabila kerapatan terus naik akan dicapai suatu titik dimana akan menyebabkan penurunan kecepatan dan arus. Titik maksimum ini dinamakan kapasitas.

2.5.2 Model Logaritma Greenberg

Hubungan karakteristik arus lalu lintas pada model ini dibuat dengan mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. Pada tahun 1959 Greenberg mengadakan studi yang dilakukan di terowongan Lincoln dan menganalisa hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan menggunakan asumsi persamaan kontinuitas dari persamaan gerakan benda cair/fluida. Rumus dasar dari *Greenberg* adalah :

$$D = Ce^{b\bar{U}_{sr}} \quad 2-34$$

Dimana C dan b merupakan nilai konstanta. Dengan menggunakan asumsi diatas *Greenberg* mendapatkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan berbentuk logaritma sebagai berikut :

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \ln \frac{D_j}{D} \quad 2-35$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{U}_m$ dan D_j , maka persamaan (2-34) diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$ sebagai berikut :

$$\bar{U}_s = \bar{U}_m \cdot \ln D_j - \bar{U}_m \cdot \ln D \quad 2-36$$

Dengan memisalkan variabel-variabelnya:

$$Y = \bar{U}_{sr}$$

$$x = \ln D$$

$$A = \bar{U}_m \cdot \ln D_j$$

$$B = - \bar{U}_m$$

Untuk mendapatkan hubungan antara volume dan kerapatan maka $\bar{U}_{sr} = \frac{V}{D}$ disubstitusikan ke persamaan (2-36) :

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \cdot \ln D_j - \bar{U}_m \cdot \ln D$$

$$\frac{V}{D} = \bar{U}_m \cdot \ln D_j - \bar{U}_m \cdot \ln D$$

$$\frac{V}{D} = \bar{U}_m \cdot (\ln D_j - \ln D)$$

$$\frac{V}{D} = \bar{U}_m \cdot \ln \frac{D_j}{D}$$

$$V = \bar{U}_m D \ln \frac{D_j}{D} \quad 2-37$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ kedalam persamaan (2-35) didapat:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \ln \left(\frac{D_j}{\frac{V}{\bar{U}_{sr}}} \right)$$

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \ln \left(\frac{D_j \bar{U}_{sr}}{V} \right)$$

$$\ln = \left(\frac{D_j \bar{U}_{sr}}{V} \right) = \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}$$

$$V = D_j \bar{U}_{sr} e^{\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \quad 2-38$$

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum untuk model Greenberg dapat dicari dengan menurunkan persamaan (2-37) terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = \bar{U}_m D \ln \frac{D_j}{D}$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \bar{U}_m \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) + \bar{U}_m D \left(\frac{\frac{D_j}{D}}{\frac{D_j}{D}} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \bar{U}_m \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) - \bar{U}_m$$

Untuk nilai $\frac{dV}{dD} = 0$ maka :

$$0 = \bar{U}_m \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) - \bar{U}_m$$

$$0 = \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) - 1$$

$$0 = \ln\left(\frac{D_j}{D}\right)$$

$$D_m = \frac{D_j}{e} \quad 2-39$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat volume maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2-37) terhadap kecepatan ($\bar{U}_{sr}$) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = D_j \bar{U}_{sr} e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} = D_j e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} + D_j \bar{U}_{sr} \left(-\frac{1}{\bar{U}_m} \right) \left(e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} = D_j e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} D_j \left(e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} = \left(D_j e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \right) \left(1 - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \right)$$

Untuk $\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} = 0$ maka :

$$\begin{aligned}
0 &= \left(D_j e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \right) \left(1 - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \right) \\
0 &= \left(1 - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \right) \\
\bar{U}_{sr} &= \bar{U}_m \quad 2-40
\end{aligned}$$

Arus maksimum didapat dengan menggunakan rumus dasar :

$$\begin{aligned}
V_m &= D_m \times \bar{U}_m \\
&= \frac{D_j}{e} \times \bar{U}_m \\
V_m &= \frac{D_j \bar{U}_m}{e} \quad 2-41
\end{aligned}$$

2.5.3 Model Eksponensial *Underwood*

Underwood mengemukakan suatu hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan merupakan hubungan eksponensial dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \quad 2-42$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{U}_f$ dan D_m , maka persamaan (2-42) diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$ sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\ln(\bar{U}_{sr}) &= \ln\left(\bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}}\right) \\
\ln(\bar{U}_{sr}) &= \ln(\bar{U}_f) - \frac{D}{D_m} \quad 2-43
\end{aligned}$$

Dengan memisalkan variabel-variabel nya :

$$\begin{aligned}
Y &= \ln \bar{U}_{sr} \\
X &= D \\
A &= \ln \bar{U}_f \\
B &= -\frac{1}{D_m}
\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hubungan antara volume dan kerapatan maka $\bar{U}_{sr} = \frac{V}{D}$ disubstitusikan ke persamaan (2-42) :

$$\begin{aligned}
\bar{U}_{sr} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\
\frac{v}{D} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\
V &= D \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \quad 2-43
\end{aligned}$$

Selanjutnya dengan mengganti $\bar{U}_f = e^B$ dan $D_m = -\frac{1}{A}$ diperoleh:

$$\begin{aligned}
V &= D \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\
V &= D \cdot e^B \cdot e^{-D/(-\frac{1}{A})} \\
V &= D \cdot e^{B+AD}
\end{aligned}$$

Hubungan antara arus dan kecepatan didapat dengan substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ kepersamaan (2-41) :

$$\begin{aligned}
\bar{U}_{sr} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\
V &= \bar{U}_f e^{-\frac{V}{\bar{U}_{sr} D_m}}
\end{aligned}$$

Apabila kedua ruas dinyatakan dalam fungsi logaritma naturalis, maka diperoleh persamaan :

$$\begin{aligned}
\ln(\bar{U}_{sr}) &= \ln\left(\bar{U}_f e^{-\frac{V}{\bar{U}_{sr} D_m}}\right) \\
\ln(\bar{U}_{sr}) &= \ln(\bar{U}_f) - \frac{V}{\bar{U}_{sr} D_m} \\
V &= \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \ln(\bar{U}_f) - \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \ln(\bar{U}_{sr}) \\
V &= \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \ln\left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}}\right) \quad 2-44
\end{aligned}$$

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2.28) terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
V &= D \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\
\frac{\partial V}{\partial D} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} + \bar{U}_f D \left(-\frac{1}{D_m}\right) \left(e^{-\frac{D}{D_m}}\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial V}{\partial D} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} + \bar{U}_f \left(\frac{D}{D_m} \right) \left(e - \frac{D}{D_m} \right) \\ \frac{\partial V}{\partial D} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \left(1 - \frac{D}{D_m} \right)\end{aligned}$$

Untuk = 0 maka diperoleh :

$$\begin{aligned}0 &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \left(1 - \frac{D}{D_m} \right) \\ \bar{U}_f &= \left(1 - \frac{D}{D_m} \right)\end{aligned}$$

$$D_m = D \quad 2-45$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2-44) terhadap kecepatan ($\bar{U}_{sr}$) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}V &= \bar{U}_{sr} D_m \ln \frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \\ \frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} &= D_m \ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \right) + D_m \bar{U}_{sr} \left(\frac{\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}^2}}{\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}}} \right) \\ \frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} &= D_m \ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \right) - D_m \\ \frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} &= D_m \left[\ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \right) - 1 \right]\end{aligned}$$

Untuk $\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{sr}} = 0$ maka :

$$\begin{aligned}0 &= D_m \left[\ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \right) - 1 \right] \\ 0 &= \left[\ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} \right) - 1 \right] \\ \frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}} &= e \quad 2-46\end{aligned}$$

Karena terjadi pada kondisi maksimum maka $\bar{U}_{sr}$ adalah $\bar{U}_m$. Volume maksimum pada metode *Underwood* dihitung dengan menggunakan rumus dasar :

$$\begin{aligned}
 V_m &= D_m \times \bar{U}_m \\
 &= D_m \times \frac{\bar{U}_f}{e} \\
 V_m &= \frac{D_m \bar{U}_f}{e} \quad 2-47
 \end{aligned}$$

2.6 Pengujian Statistik

2.6.1 Analisis Regresi Linier

Pemodelan volume lalu lintas yang umum digunakan untuk menentukan karakteristik kecepatan dan kerapatan adalah regresi linier. Analisa ini dilakukan dengan meminimalkan total nilai perbedaan kuadratis antara observasi dan nilai perkiraan dari variabel yang tidak bebas (*dependent*). Bila variabel tidak bebas linier terhadap variabel bebas, maka hubungan dari kedua variabel itu dikenal dengan analisa regresi linier.

Bila variabel tidak bebas y dan variabel bebas x mempunyai hubungan linier, maka fungsi regresinya :

$$Y = A + Bx \quad 2-48$$

Dengan nilai :

$$A = \frac{\Sigma x^2 \cdot \Sigma y - \Sigma x \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad 2-49$$

$$B = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad 2-50$$

Dimana :

A = konstanta regresi

B = konstanta regresi

x = variabel bebas

Y = variabel tidak bebas

n = jumlah sampel

2.6.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk menentukan kuatnya hubungan antara peubah bebas dan tidak bebas yang dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi r. Nilai koefisien korelasi bervariasi antara -1 sampai +1 ($-1 < r < +1$). Apabila nilai

koefisien sama dengan 0 (nol), maka dikatakan tidak terdapat korelasi antara peubah bebas dan peubah tidak bebas, sedangkan apabila nilai koefisien korelasi sama dengan 1 (satu) dikatakan mempunyai hubungan yang sempurna, nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad 2-51$$

Sebagai koefisien penentu digunakan koefisien determinasi (r^2) yang dihitung dengan mengkuadratkan nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi r ini perlu memenuhi syarat-syarat :

- a. Koefisien korelasi harus besar apabila kadar hubungan tinggi atau kuat dan harus kecil apabila kadar hubungan itu kecil atau lemah.
- b. Koefisien korelasi harus bebas dari satuan yang digunakan untuk mengukur variable-variabel, baik prediktor maupun respon.

2.6.3 Pengujian Signifikansi

Pengujian ini digunakan untuk menentukan linier tidaknya hubungan antara peubah bebas dan peubah tidak bebas. Yang biasa digunakan istilah uji F (*variance ratio/the F test*) dan uji t (*student's t test*). Uji t digunakan untuk menentukan apakah terdapat pengaruh (tingkat signifikansi) antar peubah bebas dengan peubah tidak bebas. Sebagai tolak ukur dalam pengujian ini adalah membandingkan antara nilai t hasil hitungan dengan nilai t dari tabel distribusi t pada taraf signifikansi keberartian yang dipilih. Nilai t dapat dihitung dengan rumus :

$$t = \frac{b_i}{s_{b_i}} = r \cdot \sqrt{\frac{n-i-1}{1-r^2}} \quad 2-52$$

Dimana :

- t = test t-student
- b_i = koefisien regresi
- r = koefisien korelasi parsial
- s_{b_i} = standar deviasi koefisien regresi
- n = jumlah pengamatan
- $n-i-$ = derajat kebebasan

i = jumlah variabel

r^2 = koefisien determinasi

Pengujian nilai F adalah untuk memilih model yang paling baik diantara model yang didapat dan menentukan apakah suatu model layak digunakan, dimana varians itu sendiri merupakan kuadrat dari simpangan baku dari data-data yang ada dalam variable. Nilai F dikatakan memenuhi syarat apabila nilai dari hasil perhitungan lebih besar dari nilai F table untuk taraf signifikansi yang dipilih.

Nilai F diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{\frac{r^2}{i}}{\frac{(1-r^2)}{(n-1-i)}} \quad 2-52$$

Di mana :

F = test F

n = jumlah pengamatan

i = jumlah variabel

r^2 = koefisien determinasi

Hasil uji signifikansi selanjutnya dibandingkan dengan nilai yang terdapat di dalam tabel, yaitu dengan menetapkan taraf signifikasinya.

2.7 Tundaan

Tundaan menurut MKJI 1997 disebut sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang. Terdapat dua jenis tundaan yang dapat terjadi didalam arus lalu lintas yaitu:

1. Tundaan tetap.

Tundaan tetap merupakan tundaan yang disebabkan oleh alat-alat pengendali lalu lintas. Tundaan ini seringkali terjadi dipersimpangan-persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.

- Pengendali lalu lintas, yang meliputi jenis dan pengaturan waktu dari lampu lalu lintas, tanda berhenti, pengendali belokan, dan pengendali parkir.

2. Tundaan Operasional.

Tundaan operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur didalam arus lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari lalu lintas lain. Misalnya : kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, pejalan kaki atau kendaraan yang berhenti. Namun tundaan operasional dapat juga disebabkan oleh gangguan didalam arus lalu lintas itu sendiri. Misalnya : kemacetan akibat volume kendaraan yang lebih besar dibandingkan kapasitas jalan yang ada.

Selain itu ada juga tundaan yang disebabkan oleh pemberhentian (*Stopped delay*) yaitu tundaan yang terjadi pada kendaraan dengan kendaraan tersebut berada dalam kondisi benar-benar berhenti pada kondisi mesin hidup (*stasioner*). Kondisi ini bila berlangsung lama akan mengakibatkan suatu kemacetan lalu lintas (*kongestion*).

Penundaan mencerminkan waktu yang tidak produktif dan bila dinilai dengan uang, maka hal ini menunjukkan jumlah biaya yang harus dibayar masyarakat karena memiliki jalan yang tidak memadai (Hobbs dalam Suwardi, 2005).

Semakin tinggi arus dipersimpangan akan menyebabkan tingkat tundaan yang lebih tinggi dipersimpangan tersebut. Tundaan pada daerah perlintasan sebidang jalan dan jalan rel ini bukan hanya disebabkan oleh penutupan pintu perlintasan, namun juga disebabkan oleh ketidak-rataan oleh alur rel yang melintang terhadap badan jalan dan hal ini juga mengakibatkan tundaan meskipun pintu perlintasan dalam keadaan terbuka, yakni yang dikenal sebagai tundaan geometrik. Berdasarkan definisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_o + T \quad 2-53$$

Dimana:

W = Waktu tempuh total

W_o = Waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintasi suatu ruas jalan tertentu.

T = Tundaan

Tundaan terdiri atas tundaan lalu lintas (T_T) dan tundaan Geometrik (T_G), dan secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T = T_T + T_G \quad 2-54$$

Dimana :

T_T = Tundaan lalu lintas rata-rata

T_G = Tundaan geometrik rata-rata

2.8 Antrian

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang tampak sehari-hari. Antrian dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997, didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang. Sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan meter. Gerakan kendaraan yang berada dalam antrian akan dikontrol oleh gerakan yang didepannya atau kendaraan tersebut dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalu lintas.

Terdapat dua aturan dalam antrian, yaitu first in first out (FIFO) dan last in first out (LIFO). Dalam analisa pengaruh penutupan pintu perlintasan kereta api digunakan aturan antrian yang pertama, yaitu first in first out hal ini disebabkan penyesuaian dengan kenyataan di lapangan dan kondisi pendekat lintasan.

Ketika permintaan melebihi kapasitas untuk suatu periode waktu atau pada suatu waktu antar kedatangan yang lebih rendah dibandingkan dengan waktu pelayanan (pada tingkat mikroskopik) di suatu lokasi tertentu, maka terbentuklah antrian. Antrian bisa berupa antrian yang bergerak (*moving queue*) atau antrian

yang berhenti (*stopped queue*). Pada dasarnya kelebihan kendaraan disimpan pada daerah *upstream* dari *bottleneck* atau daerah pelayanan, dan kedatangannya ditunda selama periode waktu berikutnya.

Teknik analisis yang bisa dipakai dalam mempelajari proses antrian, yaitu *shock wave analysis* (Analisa Gelombang kejut). *Shock wave analysis* dapat digunakan ketika proses permintaan-kapasitas adalah *deterministic*, dan terutama cocok untuk evaluasi jarak yang diperlukan untuk proses antrian dan untuk interaksi proses antrian.

2.9 Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api

Perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta merupakan kasus khusus pada suatu ruas jalan raya dengan tanggung jawab untuk pengaturan dan pertimbangan keamanan terbagi pada kepentingan jalan dan jalan rel. Pengemudi kendaraan yang mendekat ke suatu perlintasan harus memiliki pandangan yang tidak terhalang ke jalur masuk yang cukup untuk memungkinkan kontrol terhadap kendaraan. Selain ditinjau dari segi keselamatan, perlintasan juga berdampak terhadap tundaan kendaraan.

2.10 Titik Konflik Pada Persimpangan

Titik konflik di persimpangan adalah lokasi titik-titik dimana dua pergerakan jika dilakukan secara bersamaan akan menyebabkan benturan. Pada daerah persimpangan, lintasan kendaraan dan pejalan kaki akan berpotongan pada satu konflik. Konflik ini akan menghambat pergerakan dan menjadi lokasi potensial terjadinya kecelakaan lalu lintas. Meskipun konflik benturan tidak terjadi tetapi akan terjadi tundaan yang cukup berarti, dikarenakan adanya pemanfaatan ruang jalan dimana dua kendaraan yang bertemu pada titik Persimpangan jalan berkaki banyak Y dengan jalan membelok Bentuk T tanpa kanalisasi Dengan kanalisasi Melebar Bentuk Y tanpa kanalisasi Tanpa kanalisasi Bundaran Persimpangan 3 kaki T Melebar T dengan jalan membelok 7 konflik dan kendaraan satu akan mengalah dengan membiarkan kendaraan lainnya untuk terlebih dahulu melewati titik konflik.