

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perlintasan Sebidang

Perlntasan sebidang adalah perpotongan sebidang antara jalur kereta api dengan jalan. Isu yang menonjol pada perlntasan sebidang adalah tingginya angka kecelakaan lalu-lintas antara kendaraan dengan kereta api, terutama pada perlntasan yang tidak dijaga. Penyebab utama kecelakaan pada perlntasan sebidang adalah perilaku pengemudi yang kurang disiplin dan banyaknya perlntasan sebidang yang tidak resmi. Perlntasan sebidang sendiri dikelompokkan atas perlntasan sebidang dengan pintu dan perlntasan sebidang yang tidak dijaga.

Menurut PT Kereta Api Indonesia menilai keselamatan di perlntasan sebidang merupakan tanggung jawab bersama. Pemerintah, operator, dan pengguna jalan memiliki peran masing-masing yang sama pentingnya. banyaknya perlntasan sebidang yang tidak dijaga membuat tingkat kecelakaan meningkat hingga Sembilan kali lebih tinggi dibandingkan dengan perlntasan sebidang dengan pintu.

2.2 Keselamatan Dalam Perlntasan Sebidang

Angka kecelakaan yang tinggi pada perlntasan sebidang membuat tiap pengendara dan pengguna jalan harus menaati peraturan yang ada untuk meningkatkan keselamatan ketika berkendara. Perlntasan sebidang sendiri harus dilengkapi oleh beberapa hal agar dapat meningkatkan keselamatan seperti:

1. Pintu perlntasan

Di daerah yang arus lalu lintas kereta api tinggi dan arus kendaraan tinggi, perlntasan wajib dilengkapi dengan pintu perlntasan, baik dikendalikan oleh penjaga pintu perlntasan, ataupun otomatis.

2. Rambu lalu lintas

- Rambu peringatan perlintasan sebidang dengan kereta api (dengan kalimat: "Awas kereta api satu/dua sepur")
- Rambu Peringatan jarak yang ditempatkan pada jarak 450 meter, 300 meter, dan 150 meter sebelum perlintasan
- Rambu *stop* yang berarti dilarang berjalan terus, wajib berhenti sesaat, dan meneruskan perjalanan setelah mendapat kepastian aman dari lalu lintas arah lainnya

3. Markah jalan

- Markah lambang dan tulisan berupa silang dan huruf KA.
- Polisi tidur maupun pita penggaduh untuk memperingatkan pengemudi yang mengantuk.

4. Isyarat lampu

Untuk mempertegas kereta api akan lewat, pada perlintasan sebidang dilengkapi dengan isyarat lampu merah sebanyak 2 buah yang berkedip secara bergantian.

5. Isyarat suara

Isyarat suara yang khas kereta api agar pengguna jalan dapat mengetahui bahwa sedang berada di dalam kawasan perlintasan sebidang.

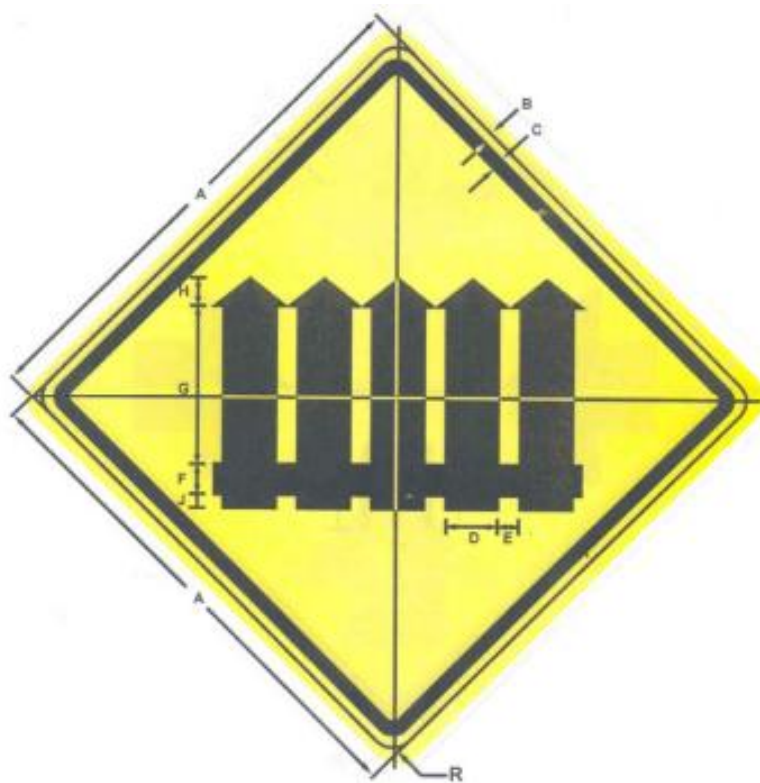
6. Penjagaan yang ketat

Penjagaan dapat dilakukan oleh pegawai operator prasarana perkeretaapian, pejabat dari regulator perkeretaapian, ataupun pejabat pemerintah daerah. Penjagaan dilakukan di pos jaga khusus dan memiliki kode pekerjaan petugas jaga perlintasan sebidang (PJJ).

2.3 Rambu-Rambu dan Perlengkapan Jalan Pada Kawasan Perlintasan Sebidang

2.3.1 Rambu Peringatan Pada Persilangan Sebidang

1. Gambar 2.1 : Rambu Peringatan Persilangan Datar Dengan Lintasan Kereta Api Berpintu



Ukuran (mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	R
Sangat Kecil	450	9	16	30	22	30	94	56	26	37
Kecil	600	9	16	40	30	40	125	75	35	37
Sedang	750	12	19	50	37	50	156	94	44	47
Besar	900	16	22	60	45	60	187	112	52	56

Gambar 2. 1 Rambu Peringatan Persilangan Datar Dengan Lintasan Kereta Api Berpintu
(MKJI, 1997)

2. Gambar 2.2 : Rambu Peringatan Persilangan Datar Dengan Lintasan Kereta Api Tanpa Pintu



Ukuran (mm)	A	B	C	D	E	F	R
Sangat Kecil	450	9	16	30	18	12	37
Kecil	600	9	16	40	24	16	37
Sedang	750	12	19	50	30	20	47
Besar	900	16	22	60	36	24	56

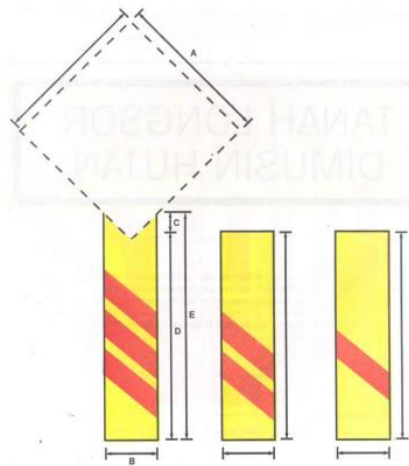
Gambar 2. 2 Rambu Peringatan Persilangan Datar Dengan Lintasan Kereta Api Tanpa Pintu (MKJI, 1997)

3. Gambar 2.3 : Rambu Peringatan Berupa Kata-Kata



Gambar 2. 3 Rambu Peringatan Berupa Kata-Kata (MKJI, 1997)

4. Gambar 2.4 : Rambu Peringatan Jarak



Ukuran (mm)	A	B	C	D	E	F	G	R
Sangat Kecil	450	15	110	640	750	60	37	45°
Kecil	600	20	150	850	1000	80	50	45°
Sedang	750	25	190	1060	1250	100	62	45°
Besar	900	30	220	1280	1500	120	75	45°

Gambar 2. 4 Rambu Peringatan Jarak
(MKJI, 1997)

5. Gambar 2.5 : Rambu Peringatan Hati-Hati

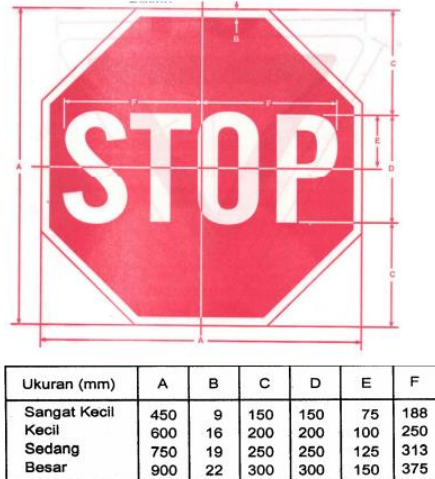


Ukuran (mm)	A	B	C	D	E	R
Sangat Kecil	450	9	16	75	265	37
Kecil	600	9	16	100	353	37
Sedang	750	12	19	120	442	47
Besar	900	16	22	150	530	56

Gambar 2. 5 Rambu Peringatan Hati-Hati
(MKJI, 1997)

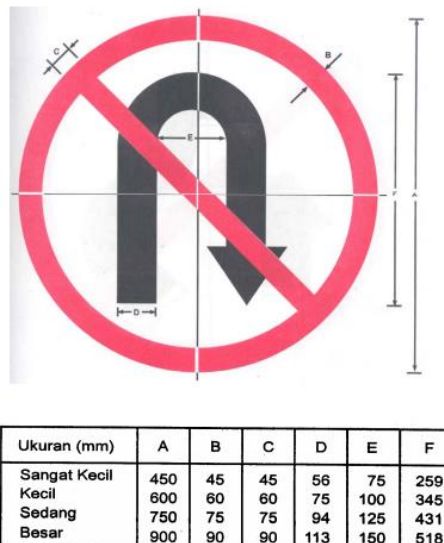
2.3.2 Rambu Larangan pada Perlintasan Sebidang

1. Gambar 2.6 : Rambu Larangan Berjalan Terus, Wajib Berhenti sesaat Dan Meneruskan Perjalanan Setelah Mendapat Kepastian Aman Dari Lalu Lintas Arah Lainnya.



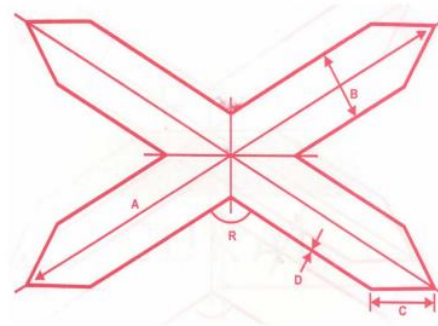
Gambar 2. 6 Rambu Larangan Berjalan Terus
(MKJI, 1997)

2. Gambar 2.7 : Rambu Larangan Berbalik Arah Bagi Kendaraan Bermotor Maupun Tidak Bermotor.



Gambar 2. 7 Rambu Larangan Berbalik Arah
(MKJI, 1997)

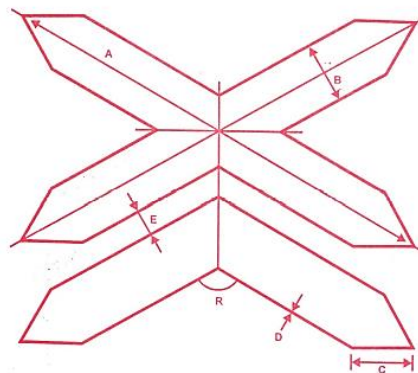
3. Gambar 2.8 : Rambu Larangan berjalan terus pada persilangan persilangan sebidang lintasan kereta api jalur tunggal, wajib berhenti sesaat untuk mendapatkan kepastian aman.



Ukuran (mm)	A	B	C	D	R
	1000	200	100	20	120°

Gambar 2. 8 Rambu Larangan berjalan terus pada persilangan sebidang lintasan kereta api jalur tunggal (MKJI, 1997)

4. Gambar 2.9 : Rambu Larangan berjalan terus pada persilangan persilangan sebidang lintasan kereta api jalur ganda, wajib berhenti sesaat untuk mendapatkan kepastian aman



Ukuran (mm)	A	B	C	D	E	R
	1000	200	100	20	80	120°

Gambar 2. 9 Rambu Larangan berjalan terus pada persilangan sebidang lintasan kereta api jalur ganda (MKJI, 1997)

5. Gambar 2.10 : Rambu Larangan Berupa Kata-Kata

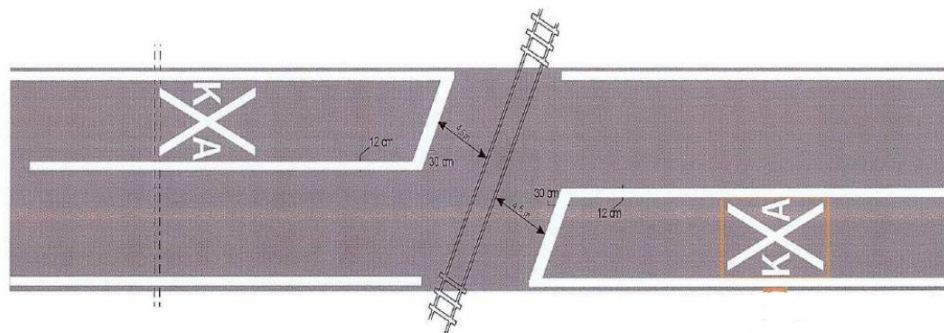


Gambar 2. 10 Rambu Larangan Berupa Kata-Kata
(MKJI, 1997)

2.3.3 Perlengkapan Jalan Berupa Marka Jalan

Pada perlintasan sebidang juga wajib dilengkapi dengan perlengkapan jalan marka jalan yang terdiri dari:

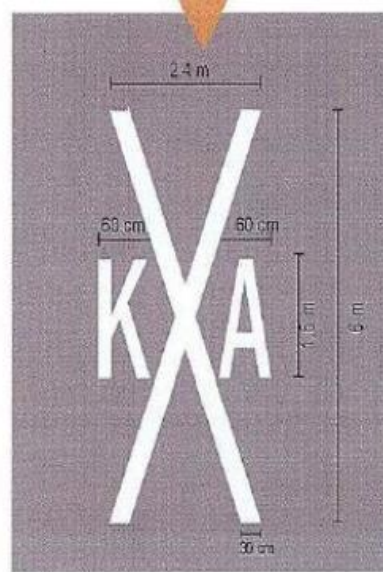
- Marka melintang berupa tanda garis melintang sebagai batas wajib berhenti kendaraan sebelum melintasi jalur kereta api, dengan ukuran lebar 0,30 meter dan tinggi 0,03 meter;
- Marka membujur berupa garis utuh sebagai larangan kendaraan untuk melintasi garis tersebut dengan ukuran lebar 0,12 meter dan tinggi 0,03 meter.



Gambar 2. 11 Marka Membujur Berupa Garis Utuh
(MKJI, 1997)

- Marka lambang berupa tanda peringatan yang dilengkapi dengan tulisan “KA” sebagai tanda peringatan adanya perlintasan dengan jalur kereta api, dengan

ukuran lebar secara keseluruhan 2,4 meter dan tinggi 6 meter serta ukuran huruf yang bertuliskan “KA” tinggi 1,5 meter dan lebar 0,60 meter.



Gambar 2. 12 Marka Lambang Berupa Tanda Peringatan (MKJI, 1997)

- d. Pita Penggaduh (rumble strip) sebelum memasuki persilangan sebidang.
- e. Median minimal 6 meter lebar 1 meter pada jalan 2 lajur 2 arah.

2.3.4 Isyarat Lampu

- a. Isyarat lampu satu warna berwarna merah yang menyala berkedip atau dua lampu berwarna merah yang menyala bergantian.
- b. Isyarat suara atau tanda panah pada lampu yang menunjukkan arah datangnya kereta api.

2.4 Karakteristik 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 lalulintas	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.

2.4.1 Arus dan Volume Lalu lintas (*Flow*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) arus lalu lintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya.

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 lalu lintas lebih kecil dari satu jam.

2.4.2 Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor

manusia, kendaraan, prasarana dan juga dipengaruhi oleh arus lalu lintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam disekitarnya.

Menurut Direktorat Bina Sistem Lalu lintas dan Angkutan Kota (1999), ada empat klasifikasi utama yang sering digunakan dalam mempelajari kecepatan arus lalu lintas, yaitu:

1. Kecepatan titik/sesaat (*spot speed*) Yaitu kecepatan kendaraan sesaat pada waktu kendaraan tersebut melintasi suatu titik tetap tertentu di jalan.
2. Kecepatan perjalanan (*journey speed*) Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan efektif antara dua titik tertentu di jalan, yang dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan.
3. Kecepatan bergerak (*running speed*) Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan untuk melintasi suatu jarak tertentu dalam kondisi kendaraan tetap berjalan, yaitu kondisi setelah dikurangi oleh waktu hambatan terjadi (misalnya hambatan pada persimpangan). Kecepatan bergerak ini dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan yang telah dikurangi dengan waktu berhenti karena adanya hambatan yang disebabkan gangguan yang terjadi pada lalu lintas.
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 lalulintas (km/jam)	Penggal jalan (m)
< 40	25
40 – 65	50
> 65	75

(Direktorat Jendral Bina Marga, 1990)

2.4.3 Kerapatan (*Density*)

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

Menurut Soedirdjoe (2002), kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menggunakan suatu panjang jalan, pada umumnya ditentukan panjang 1 km dan satu lajur jalan. Kerapatan lalu lintas bervariasi dari nol (tidak ada kendaraan di suatu lajur sepanjang 1 km) sampai nilai yang menyatakan antrian kendaraan yang cukup rapat dan tidak dapat bergerak. Batas atas ini disebut kerapatan macet, dan umumnya antara 115 sampai 156 kendaraan per km.

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.

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad (2.1)$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad (2.2)$$

Dimana:

- V = volume (smp/jam)
 \bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
 D = kerapatan (smp/km)

2.5 Perhitungan Derajat Kejenuhan

2.5.1 Menghitung Kapasitas Ruas Jalan

Jalan Perkotaan:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

Jalan Luar Kota:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

dimana:

- C = kapasitas ruas jalan (smp/jam)
 C_o = kapasitas dasar (smp/jam)
 FC_w = faktor penyesuaian lebar jalur lalu-lintas
 FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisahan arah
 FC_{SF} = faktor penyesuaian akibat hambatan samping
 FC_{CS} = faktor penyesuaian ukuran kota

- Kapasitas dasar (C_o) ditetapkan dengan mengacu pada tabel:

Tabel 2. 3 Tabel Kapasitas Dasar (C_o)

Tipe Jalan	Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam)			Catatan
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan	
Enam atau empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Datar	1.650	1.900	2.300	Per lajur
	Bukit		1.850	2.250	
	Gunung		1.800	2.150	
Empat lajur tak terbagi	Datar	1.500	1.700		Per lajur
	Bukit		1.650		
	Gunung		1.600		
Dua lajur tak terbagi	Datar	2.900	3.100	3.400	Total dua arah
	Bukit		3.000	3.300	
	Gunung		2.900	3.200	

(MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu-lintas (FC_w) ditetapkan dengan mengacu pada tabel:

Tabel 2. 4 Tabel Faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu-lintas (FC_w)

Tipe jalan	Lebar jalur Lalu-lintas efektif (W_e) (m)	FCw		
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan
Enam atau empat lajur terbagi atau jalan satu arah (6/2 D) atau (4/2 D)	Per lajur			
	3.00	0.92	0.91	
	3.25	0.96	0.96	0.96
	3.50	1.00	1.00	1.00
	3.75	1.04	1.03	1.03
	4.00			
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Per lajur			
	3.00	0.91	0.91	
	3.25	0.95	0.96	
	3.50	1.00	1.00	
	3.75	1.05	1.03	
	4.00			
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	Total dua arah			
	5.0	0.56	0.69	
	6.0	0.87	0.91	
	6.5			0.96
	7.0	1.00	1.00	1.00
	7.5			1.04
	8.0	1.14	1.08	
	9.0	1.25	1.15	
	10.0	1.29	1.21	
11.0	1.34	1.27		

(MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisahan arah (FC_{SP}) ditetapkan dengan mengacu pada tabel 4.4.

Tabel 2. 5 Tabel Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisahan arah (FC_{sp})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30	
FC_{SP}	Jalan Perkotaan	Dua lajur (2/2)	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88
		Empat lajur (4/2)	1.00	0.985	0.97	0.955	0.94
FC_{SP}	Jalan Luar Kota	Dua lajur (2/2)	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88
		Empat lajur (4/2)	1.00	0.975	0.95	0.925	0.9
FC_{SP}	Jalan Bebas Hambatan	Dua lajur (2/2)	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88

(MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping (FC_{SF}) ditentukan dengan mengacu pada kelas hambatan samping (*side friction*). Adapun kelas hambatan samping ditentukan berdasarkan total jumlah (frekwensi) kejadian dikali faktor bobot menurut tipe kejadian pada setiap 200 m segmen jalan, seperti disajikan pada tabel:

Tabel 2. 6 Tabel Faktor Bobot

Tipe Kejadian Hambatan Samping Samping	Simbol	Faktor Bobot	
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota
Pejalan kaki	PED	0,5	0,6
Parkir, kendaraan berhenti	PSV	1,0	0,8
Kendaraan masuk + keluar	EEV	0,7	1,0
Kendaraan lambat	SMV	0,4	0,4

(MKJI, 1997)

Tabel 2. 7 Tabel Kelas Hamabatan Samping

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot kejadian per 200 m (kedua sisi)		Kondisi Khas	
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota
Sangat rendah	VL	< 100	< 50	Daerah pemukiman; jalan dengan jalan samping	Perdesaan, pertanian atau belum berkembang
Rendah	L	100 - 299	50 - 150	Daerah pemukiman; beberapa kendaraan umum dst.	Perdesaan, beberapa bangunan dan kegiatan samping jalan
Sedang	M	300 - 499	150 - 250	Daerah industri; beberapa toko di sisi jalan	Kampung, kegiatan permukiman
Tinggi	H	500 - 899	250 - 350	Daerah komersial, aktivitas sisi jalan tinggi	Kampung, beberapa kegiatan pasar
Sangat Tinggi	VH	> 900	> 350	Daerah komersial dengan aktivitas pasar di samping jalan	Hampir perkotaan, banyak pasar/ kegiatan niaga

(MKJI, 1997)

Setelah diketahui kelas hambatan samping, selanjutnya ditentukan faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping (FC_{SF}) yang dibedakan untuk: jalan perkotaan dan jalan luar kota, seperti disajikan pada tabel:

Tabel 2. 8 tabel faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping (FC_{SF})

Jenis Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu			
		Lebar Bahu efektif rata-rata W_s (m)			
		$\leq 0,50$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
Empat lajur terbagi 4/2 D	Sangat rendah	0,96	0,98	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,88	0,92	0,95	0,98
	Sangat tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96
Empat lajur terbagi 4/2 UD	Sangat rendah	0,96	0,99	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,87	0,91	0,94	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,90	0,95
Dua lajur tak terbagi 2/2 UD atau Jalan satu-arah	Sangat rendah	0,94	0,96	0,99	1,01
	Rendah	0,92	0,94	0,97	1,00
	Sedang	0,89	0,92	0,95	0,98
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

(MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FC_{CS}) khusus untuk jalan perkotaan, ditetapkan dengan mengacu pada tabel:

Tabel 2. 9 Tabel Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FC_{CS}) khusus untuk jalan perkotaan

Ukuran Kota (Juta penduduk)	Faktor Penyesuaian Untuk Ukuran Kota (FC_{CS})
< 0.1	0.86
0.1 - 0.5	0.90
0.5 - 1.0	0.94
1.0 - 3.0	1.00
> 3.0	1.04

(MKJI, 1997)

2.5.2 Menghitung Kapasitas Persimpangan Jalan

Persamaan dasar untuk menghitung arus jenuh persimpangan jalan adalah sebagai berikut:

$$S = S_o \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_P \times F_G$$

dimana:

S = Arus jenuh nyata (smp/jam hijau)

S_o = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

- F_{CS} = Faktor koreksi ukuran kota
 F_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping
 F_P = Faktor penyesuaian parkir tepi jalan
 F_G = Faktor penyesuaian akibat gradien jalan

- Faktor Ukuran Kota (F_{CS}) Yaitu ukuran besarnya jumlah penduduk yang tinggal dalam suatu daerah perkotaan Untuk menentukan nilai faktor ukuran kota mengacu pada tabel:

Tabel 2. 10 Tabel Faktor Ukuran Kota (F_{CS})

Jumlah Penduduk dalam Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
≤ 0,1	0,82

(MKJI, 1997)

- Faktor Hambatan Samping Jalan (F_{SF}) adalah kegiatan di samping jalan yang menyebabkan pengurangan terhadap arus jenuh di dalam pendekat. Dari jenis lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor didapat faktor penyesuaian hambatan samping sebagaimana mengacu pada Tabel:

Tabel 2. 11 Tabel Faktor Hambatan Samping Jalan (F_{SF})

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tidak Bermotor (%)					
			0,00	0,05	0,1	0,15	0,2	> 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Perumahan (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi/Sedang/Rendah	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

(MKJI, 1997)

- Faktor Adanya Parkir Tepi Jalan (F_P) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_P = [L_P/3 - (W_a - 2) \cdot (L_P/3 - g)/W_a]/g$$

dimana:

- F_P = Faktor jarak parkir tepi jalan
- W_a = Lebar pendekat (m)
- g = Waktu hijau (detik)
- L_P = jarak antara garis henti dan kendaraan yang parkir pertama (m)

Kapasitas pada simpang dihitung pada setiap pendekat ataupun kelompok lajur didalam suatu pendekat. Kapasitas simpang dinyatakan dengan rumus:

$$C = S \times g/c$$

dimana:

- C = Kapasitas (smp/jam hijau)
- S = Arus jenuh (smp/jam hijau)
- g = Waktu hijau (detik)
- c = Panjang siklus (detik)

2.5.3 Menghitung Derajat Kejenuhan Jalan

Untuk rumus mencari derajat kejenuhan (DS) adalah:

$$DS = Q/C$$

dimana:

- DS = Derajat Kejenuhan
- Q = Arus Lalu lintas (smp/jam)
- C = Kapasitas (smp/jam)

2.6 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

2.6.1 Perhitungan Volume

Volume kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalu lintas 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.

2.6.2 Ekivalensi Mobil Penumpang

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalu lintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan yang dikenal sebagai satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekivalensi mobil penumpang.

MKJI (1997), mendefenisikan satuan mobil penumpang dan ekivalensi mobil penumpang sebagai berikut:

1. Satuan Mobil Penumpang, yaitu satuan arus, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.
2. Ekivalensi Mobil penumpang, yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas.

Menurut MKJI (1997), untuk jalan perkotaan dan persimpangan, kendaraan pada arus lalu lintas dibagi dalam 3 (tiga) tipe yaitu:

1. Kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m, meliputi mobil penumpang, oplet, mikro bis, pick-up dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.
2. Kendaraan berat (HV) adalah kendaraan bermotor dengan lebih dari empat roda, meliputi bis, truk 2as, truk 3as dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

3. Sepeda motor (MC) adalah kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga, Untuk tipe kendaraan ringan, faktor emp adalah 1 (satu) sedangkan tipe kendaraan berat serta sepeda motor dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 12 Tabel Emp untuk jalan perkotaan terbagi dan satu arah

Tipe jalan: Jalan Satu Arah dan Terbagi	Arus lalulintas per lajur (kend/jam)	EMP	
		HV	MC
Dua Lajur Satu Arah (2/1)	0	1.3	0.40
Empat Lajur Terbagi (4/2D)	≥ 1050	1.2	0.25
Tiga lajur 1 arah (3/1)	0	1.3	0.40
Enam lajur dua arah (6/2D)	≥ 1100	1.2	0.25

(MKJI 1997)

Dari Tabel 2.3 dapat diketahui volume lalu lintas yang melewati suatu titik dihitung melalui Pers. 2.3.

$$V = \sum(V_i \text{ EMP}_i) \quad (2.3)$$

Dimana:

V = Volume (Smp/jam)

V_i = Arus kendaraan tipe ke-i

EMP_i = Faktor emp kendaraan tipe ke-i

2.6.3 Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan Pers. 2.4.

$$\bar{U} = \frac{X}{t} \quad (2.4)$$

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 (sr), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- b. Kecepatan rata-rata waktu (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. 2.5 dan Pers. 2.6 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{\sum t} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.6)$$

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.

karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang berjalan cepat, akan tetapi pada saat pengambilan data dilaksanakan kendaraan yang berjalan lambat

juga harus diikutsertakan. Oleh karena itu, pendekatan antara kecepatan setempat dan dan kecepatan rata-rata ruang digunakan Pers. 2.7 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_{sr} - s^2 / \bar{U}_t \quad (2.7)$$

$$S = \frac{\sum(xi-x)}{n-1} \quad (2.8)$$

Dimana:

S = deviasi standar dari kecepatan setempat

X = rata-rata

2.6.4 Perhitungan Kerapatan

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kederaan telah diperoleh sebelumnya dengan Pers. 2.9.

$$D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}} \quad (2.9)$$

Dimana:

D =kerapatan (smp/km)

V = volume lalu lintas (smp/jam)

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

2.7 Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan

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

2.7.1 Model Linier Menurut *Greenshields*

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. Adapapun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan cara regresi linier pada Pers. 2.10 - 2.12.

$$Y = A + Bx \quad (2.10)$$

Dengan nilai:

$$A = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.11)$$

$$B = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.12)$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y = A + Bx$ maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada f dan memotong skala kerapatan pada D_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut dapat dilihat pada Pers. 2.13 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \quad (2.13)$$

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 Pers. 2.13 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 $sr = Ke$ Pers. 2.13 didapat :

$$V = D \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D^2 \quad (2.14)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan diperoleh dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ ke Pers. 2.13 didapat:

$$V = \bar{U}_{sr} D_j - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) \bar{U}_{sr}^2 \quad (2.15)$$

Harga volume maksimum dapat dicari dengan menurunkan Pers. 2.14 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:

$$D_m = \frac{D_j \bar{U}_f}{4} \quad (2.16)$$

Nilai D_m disubstitusikan ke dalam Pers. 2.14 dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , diperoleh :

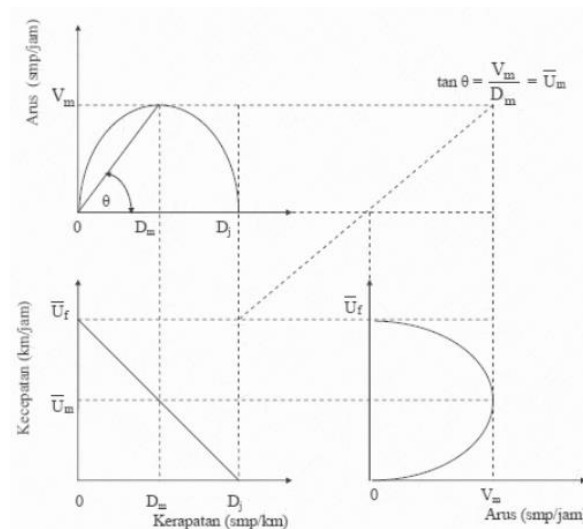
$$V_m = \frac{D_j}{2} \quad (2.17)$$

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 2.13. 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. 13 Hubungan antara arus, kecepatan dan kerapatan
(Soedirdjoe, 2002)

Pada Gambar 2.13 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.

2.7.2 Model Logaritma Menurut *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 :

$$D = C e^{b\bar{U}_{sr}} \quad (2.18)$$

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

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \ln \frac{D_j}{D} \quad (2.19)$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta m dan D_j , maka persamaan (2.18) diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$ sebagai berikut :

$$\bar{U}_s = \bar{U}_m \cdot \ln D_j - \bar{U}_m \cdot \ln D \quad (2.20)$$

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 (2.20) :

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

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

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

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

$$V = \bar{U}_m D \ln \frac{D_j}{D} \quad (2.21)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$

kedalam persamaan (2.19) didapat :

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

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

$$\begin{aligned} \text{Ln} \left(\frac{D_j \bar{U}_{sr}}{V} \right) &= \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \\ V &= D_j \bar{U}_{sr} e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum untuk model *Greenberg* dapat dicari dengan menurunkan persamaan (2.21) terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} V &= \bar{U}_m D \ln \frac{D_j}{D} \\ \frac{\partial V}{\partial D} &= \bar{U}_m \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) + \bar{U}_m D \left(\frac{-\frac{D_j}{D^2}}{\frac{D_j}{D}} \right) \\ \frac{\partial V}{\partial D} &= \bar{U}_m \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) - \bar{U}_m \\ \text{Untuk nilai } \frac{\partial V}{\partial D} &= 0 \text{ maka :} \\ 0 &= \bar{U}_m \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) - \bar{U}_m \\ 0 &= \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) - 1 \\ 0 &= \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) \\ D_m &= \frac{D_j}{e} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat volume maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2.21) terhadap kecepatan (\bar{U}_{sr}) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

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

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

$$0 = \left(D_j e^{-\frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m}} \right) \left(1 - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \right)$$

$$0 = \left(1 - \frac{\bar{U}_{sr}}{\bar{U}_m} \right)$$

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_m \quad (2.24)$$

Arus maksimum didapat dengan menggunakan rumus dasar :

$$V_m = D_m \times \bar{U}_m$$

$$V_m = \frac{D_j}{e} \times \bar{U}_m$$

$$V_m = \frac{D_j \times \bar{U}_m}{e} \quad (2.25)$$

2.7.3. Model Eksponensial *Underwood*

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

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \quad (2.26)$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta \bar{U}_f dan D_m , maka persamaan (2.26) diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$ sebagai berikut :

$$\text{Ln} (\bar{U}_{sr}) = \text{Ln} \left(\bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \right)$$

$$\text{Ln} (\bar{U}_{sr}) = \text{Ln} (\bar{U}_f) - \frac{D}{D_m} \quad (2.27)$$

Dengan memisalkan variabel-variabel nya :

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

$$x = D$$

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

$$B = -\frac{1}{D_m}$$

Untuk mendapatkan hubungan antara volume dan kerapatan maka $\bar{U}_{sr} = \frac{V}{D}$ disubstitusikan ke persamaan (2.26) :

$$\begin{aligned}\bar{U}_{sr} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\ \frac{V}{D} &= \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}} \\ V &= D \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}}\end{aligned}\quad (2.28)$$

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 (2.25) :

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

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

$$\begin{aligned}\text{Ln}(\bar{U}_{sr}) &= \text{Ln} \left(\bar{U}_f e^{-\frac{V}{\bar{U}_{sr} D_m}} \right) \\ \text{Ln}(\bar{U}_{sr}) &= \text{Ln}(\bar{U}_f) - \frac{V}{\bar{U}_{sr} D_m} \\ V &= \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \text{Ln}(\bar{U}_f) - \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \text{Ln}(\bar{U}_{sr}) \\ V &= \bar{U}_{sr} \cdot D_m \cdot \text{Ln} \frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{sr}}\end{aligned}\quad (2.29)$$

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

$$V = D \bar{U}_f e^{-\frac{D}{D_m}}$$

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

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

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

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

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

$$\bar{U}_f = \left(1 - \frac{D}{D_m}\right)$$

$$D_m = D \tag{2.30}$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2.29) terhadap kecepatan (\bar{U}_{Sr}) dan menyamakan hasil diferensial tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = \bar{U}_{Sr} D_m \ln \frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{Sr}} = D_m \ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}}\right) + D_m \bar{U}_{Sr} \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}^2}\right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{Sr}} = D_m \ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}}\right) - D_m$$

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{U}_{Sr}} = D_m \left[\ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}}\right) - 1\right]$$

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

$$0 = D_m \left[\ln \left(\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}}\right) - 1\right]$$

$$0 = \ln \frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}} - 1$$

$$\frac{\bar{U}_f}{\bar{U}_{Sr}} = e \tag{2.31}$$

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

$$V_m = D_m \times \bar{U}_m$$

$$V_m = D_m \times \frac{\bar{U}_f}{e}$$

$$V_m = \frac{D_m \bar{U}_f}{e} \quad (2.32)$$

2. 8 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.

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 defenisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_0 + T \quad (2.33)$$

Dimana:

W = Waktu tempuh total

W_0 = 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 (TT) dan tundaan Geometrik(TG), dan secara matematis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.34.

$$T = TT + TG \quad (2.34)$$

Dimana:

TT = Tundaan lalu lintas rata-rata

TG = Tundaan geometrik rata-rata

2.9 Pengujian Statistik

2.9.1 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 :

$$A = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \sum xy}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.35)$$

$$B = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.36)$$

Dimana :

A = konstanta regresi

B = konstanta regresi

x = variabel bebas

Y = variabel tidak bebas

n = jumlah sampel

2.9.2 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 :

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2.37)$$

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

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

2.9.3. Pengujian Signifikasi

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 signifikasi) 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 signifikasi keberartian yang dipilih. Nilai t dapat dihitung dengan rumus :

$$t = \frac{b_i}{sb_i} = r \cdot \sqrt{\frac{n-i-1}{1-r^2}} \quad (2.38)$$

Dimana :

t = test t-student

b_i = koefisien regresi

r = koefisien korelasi parsial

sb_i = standar deviasi koefisien regresi

n = jumlah pengamatan
 $n-i-1$ = 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 tabel untuk taraf signifikansi yang dipilih.

Nilai F diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{\frac{r^2}{i}}{\frac{(1-r^2)}{(n-i-1)}} \quad (2.39)$$

Dimana :

$F = test F$

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.

2.10 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 pendekatan 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.

2.11 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 mendekati 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.

2.12 Gelombang Kejut

Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah

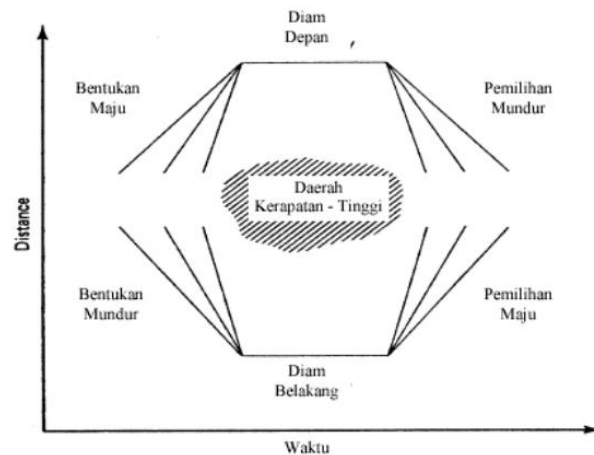
yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalu lintas pada saat memasuki jalan menyempit, pada simpang bersinyal ketika nyala lampu merah, atau pada perlintasan kereta api. Pada perlintasan kereta api, diskontinuitas terjadi saat kereta api melintas (pintu perlintasan ditutup) dan adanya perlambatan sebagai akibat pengurangan kecepatan oleh kendaraan didepannya karena adanya hambatan berupa pengendali kecepatan (rambu-rambu peringatan) maupun alur rel (pada saat kondisi perlintasan dibuka).

2.12.1 Klasifikasi Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat didefinisikan menjadi 6 kelas menurut (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), terdapat pada lokasi penyempitan jalur (termasuk sinyal lalu lintas) dan menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalannya. Istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir kearah hilir) dari daerah kemacetan dengan kerapatan yang lebih rendah kearah hilir dan lebih tinggi kearah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan hal ini tidak akan berpindah lokasinya dengan berubahnya waktu.
2. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*), terbentuk apabila terjadi kemacetan dan menunjukkan daerah dalam waktu dan ruang dimana kelebihan arus ditampung. Istilah mundur berarti bahwa dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang (kearah hulu atau kearah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah bentukan mempunyai implikasi bahwa dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin meningkat dan berkembang kearah hulu. Waktu dan ruang daerah asal ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.

3. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*), terbentuk seketika terjadi kemacetan sedangkan arus lalu lintas berkurang sehingga berada di bawah kapasitas penyempitannya. Oleh karena itu panjang dari kemacetan dapat dikurangi. Istilah maju berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak kedepan (kearah hilir atau kearah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu terdapat kondisi arus lalu lintas bebas (*free-flow*) pada daerah yang semakin jauh kearah hilir. Waktu ruang kekiri dari gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dan kekanan mempunyai kerapatan yang lebih rendah.



Gambar 2. 14 Klasifikasi gelombang kejut
(Soedirdjoe, 2002)

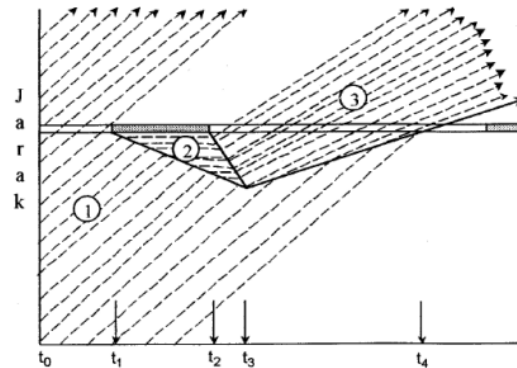
4. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*), terjadi apabila kedatangan lalu lintas sama dengan kapasitas pada daerah kemacetan untuk selama periode waktu tertentu. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir kearah hulu dari daerah kemacetan. Kerapatan lebih tinggi kearah hilir dan lebih rendah kearah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang tidak berpindah lokasinya selama periode waktu tertentu.
5. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*), terbentuk ketika kemacetan terjadi, tetapi kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalannya. Istilah mundur berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut

bergerak kebelakang (kearah hulu atau kearah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu, kondisi arus bebas meningkat semakin menjauhi dari daerah awal lokasi kemacetan. Daerah kemacetan berada di sebelah kiri dari gelombang kejut dan keadaan arus bebas berada di sebelah kanannya.

6. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*), istilah maju mempunyai implikasi bahwa gelombang kejut bergerak dalam arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas, sedangkan istilah bentukan berarti bahwa selama berlangsungnya waktu kemacetan, terjadi peningkatan pada tempat yang semakin jauh kearah hilir. Waktu ruang disebelah kiri gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.

Kondisi pada saat pintu perlintasan ditutup dapat digambarkan pada Gambar 2.15 dengan keterangan sebagai berikut (Setyaningsih, 2007):

1. Kondisi jalan tertutup total. Kondisi ini terjadi saat kereta melintas dan pintu perlintasan ditutup. Akibatnya nilai kerapatan pada kondisi arus yang masuk (volume kebutuhan = *demand*) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet. Kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatannya saat mendekati perlintasan, dan akhirnya berhenti sehingga terbentuk antrian dibelakangnya.
2. Pada saat pintu perlintasan dibuka, kerapatan pada kondisi macet berangsurangsur kembali sampai pada keadaan dimana kerapatan menuju ke kondisi maksimum.
3. Pada tahap ini kecepatan gelombang kejut 2 (U_{sw2}) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (U_{sw1}), dimana kerapatan saat kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.



Gambar 2. 15 Gelombang kejut pada saat kondisi pintu perlintasan ditutup
(Said, 2004)

Dimana t_1 adalah saat pintu perlintasan ditutup dan gelombang kejut mundur bentukan terjadi. Selanjutnya t_2 adalah saat pintu dibuka kembali. Sedangkan t_3 adalah saat antrian kendaraan berangsur hilang dan gelombang kejut maju bentukan terjadi.

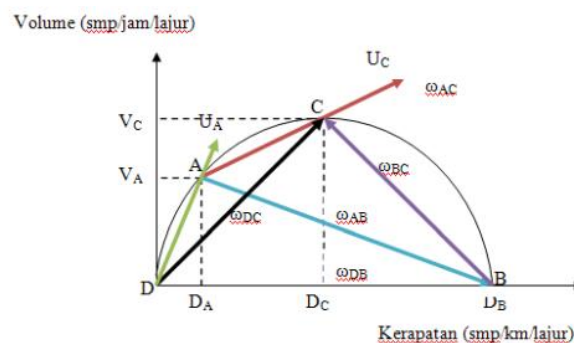
Daerah bertanda 1 mewakili kondisi arus dari kelompok kendaraan tanpa gangguan fasilitas lalu lintas dengan kecepatan konstan. Daerah 2 mewakili kelompok kendaraan yang membentuk antrian ketika memasuki daerah persimpangan sebidang jalan dengan jalan rel saat pintu ditutup dan berangsur-angsur hilangnya antrian saat pintu dibuka. Daerah 3 mewakili kondisi arus yang baru pada kondisi setelah kelompok kendaraan melewati daerah perlintasan sebidang jalan dan rel kereta api.

Gelombang kejut pada perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api terjadi pada kondisi pintu perlintasan terbuka dan tertutup. Pada kondisi yang pertama yaitu pada saat penutupan pintu perlintasan ketika ada kereta yang melintas, kendaraan-kendaraan mulai berhenti dan kerapatan bertambah, diskontinuitas terjadi ketika kendaraan bergabung dengan antrian dan pada saat kendaraan mulai bergerak dari bagian depan antrian pada saat pintu perlintasan terbuka. Pada kondisi kedua, pada saat kelompok kendaraan melintasi jalur rel, kendaraan dibagian depan memperlambat kecepatan sehingga terjadi

peningkatan kerapatan dan setelah melewati jalur rel, kendaraan menambah kecepatan sehingga kerapatan berkurang.

Diskontinuitas pertama yaitu gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*), dan diskontinuitas yang kedua yaitu gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*). Gelombang kejut pertama terbentuk, saat pintu perlintasan tertutup dan pada kondisi kedua saat kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatan, sebagai hasil peningkatan kerapatan lalu lintas akibat adanya antrian. Selanjutnya ada gelombang kejut diam depan (*frontal stationery shock wave*) yang terjadi pada garis stop selama waktu tertutupnya pintu perlintasan. Istilah depan (*frontal*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut berada pada garis terdepan dari daerah antrian, sedangkan istilah diam (*stationary*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut tetap berada pada posisi yang sama.

Tiga gelombang kejut mulai pada saat t_1 di garis henti : ω_{AD} (gelombang kejut bentukan maju), ω_{DB} (gelombang kejut diam depan), dan ω_{AB} (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram Gambar 2.16 dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus- rumus berikut:



Gambar 2. 16 Gelombang kejut pada perlintasan kereta api pada saat pintu perlintasan ditutup
(Setiyaningsih, 2007)

$$\omega_{DA} = \frac{V_D - V_A}{D_D - D_B} = + \mu_A \quad (2.40)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_D - V_B}{D_D - D_B} = 0 \quad (2.41)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (2.42)$$

Dimana :

ω_{DA} = gelombang kejut dari kondisi titik awal D ($V_D = 0$ dan $D_D = 0$) ke titik A (V_A , D_A).

ω_{DB} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti sehingga $V_B = 0$ dan D_B = kerapatan saat macet.

ω_{AB} = gelombang kejut saat nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan ($V = V_A$) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet (D_B).

Kondisi arus A, B dan D ini tetap sampai waktu t_2 pada saat pintu perlintasan dibuka.

Kondisi arus baru C pada waktu t_2 di garis henti meningkat dari nol sampai arus jenuh.

Ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, ω_{DC} (gelombang kejut pemulihan maju)

dan ω_{BC} (gelombang kejut pemulihan mundur) , sedangkan gelombang kejut akhir

adalah ω_{DB} (gelombang kejut diam didepan. Kecepatan dua gelombang kejut baru ini

dapat secara grafis dilihat pada Gambar 2.16 dan dihitung dengan Pers. 2.38 dan Pers.

2.24 sebagai berikut:

$$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_C}{D_D - D_C} = \mu_C \quad (2.43)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{V_C}{D_B - D_C} \quad (2.44)$$

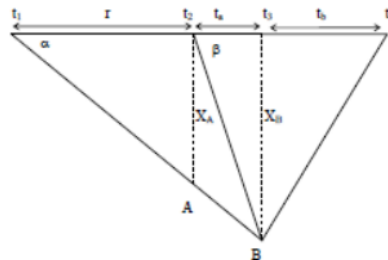
Dimana :

ω_{DC} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan dibuka, kondisi ruas di depan pintu perlintasan dari kondisi arus dan kerapatan nol perlahan bergerak searah dengan lalu

lintas ke arah hilir sampai pada kondisi titik C ($VC = \text{volume maksimum} = \text{kapasitas}$, $DC = \text{kerapatan maksimum}$).

ω_{BC} = gelombang kejut dari kendaraan yang mengalami kondisi berhenti saat pintu ditutup mulai bergerak disusul oleh kendaraan dibelakangnya sampai kendaraan terakhir yang tidak mengalami antrian tetapi kecepatannya terpengaruh oleh kecepatan arus di depannya. Kondisi arus D, C, B, dan A tetap sampai ω_{AB} dan ω_{BC} memotong waktu t_3 . Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung dengan Pers. 2.40.

$$t_a = r \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.45)$$



Gambar 2. 17 Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian
(Setyaningsih, 2007)

Lokasi antrian dari garis henti pada waktu t_2 dapat dihitung dengan Pers. 2.41 dan Pers. 2.42

$$X_A = r \cdot \tan \alpha \quad (2.46)$$

$$\tan \alpha = \frac{V_A}{D_j - D_A} \quad (2.47)$$

Lokasi hilangnya antrian dari garis henti pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus pada Pers. 2.43 sebagai berikut:

$$X_B = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{BC} - \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.48)$$

Dimana

$r = \text{lamanya waktu penutupan pintu perlintasan} = t_2 - t_1$

Respon lalu lintas yang tidak bisa bergerak dengan segera begitu pintu perlintasan dibuka mengakibatkan beberapa kendaraan mungkin masih mengalami tundaan walaupun tidak mengalami antrian.

Pada saat t_3 gelombang kejut gerak maju baru ω_{AC} terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{BC} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan rumus pada Pers. 2.44 sebagai berikut:

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \quad (2.49)$$

Kondisi arus D, C, dan A tetap sampai waktu tertentu sampai pintu perlintasan ditutup kembali, tetapi sebelumnya pada saat waktu t_4 , gelombang kejut bentukan maju ω_{AC} memotong garis henti dan arus di garis henti menurun dari arus maksimum VC menjadi VA. Periode waktu dari mulai pintu perlintasan dibuka sampai tingkat pelepasan garis henti turun dibawah nilai maksimum (t_2 sampai t_4) dapat dihitung dengan Pers. 2.45 sebagai berikut:

$$T_B = \frac{r\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{BC}} \left[\frac{\omega_{BC}}{\omega_{AC}} + 1 \right] \quad (2.50)$$

Jumlah kendaraan yang mengalami antrian :

$$N = (r + t_a) \times V_A S \quad (2.51)$$

Tundaan yang terjadi adalah:

$$T = \frac{1}{2} \times r + N \quad (2.52)$$

2.13 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.