

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERFIKIR**

#### **2.1 Kereta Api**

Kereta api didefinisikan sebagai sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel. Dengan demikian, kereta api hanya dapat bergerak/berjalan pada lintasan/jaringan rel yang sesuai dengan peruntukannya, hal ini menjadi keunggulannya karena tidak terganggu dengan lalu lintas lainnya, tetapi di lain pihak menjadikan kereta api menjadi angkutan yang tidak fleksibel karena jaringannya terbatas tapi nyaman.



**Gambar 2. 1 Kereta Api**

*(Sumber : Wikimedia.org)*

Kereta api merupakan angkutan yang efisien untuk jumlah penumpang yang tinggi sehingga sangat cocok untuk angkutan massal kereta api perkotaan pada koridor yang padat, tetapi juga digunakan untuk angkutan penumpang jarak menengah sampai dengan 3 atau 4 jam perjalanan ataupun untuk angkutan barang dalam jumlah yang besar dalam

bentuk curah, seperti untuk angkutan batu bara. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antarkota, maupun antar negara (Wikibooks.org).

## **2.2 Perlintasan Sebidang**

Perlintasan sebidang adalah pertemuan dua ruas jalan atau lebih secara sebidang dan tidak saling bersusun. Pertemuan ini direncanakan sedemikian dengan tujuan untuk mengalirkan atau melewatkan lalu lintas dengan lancar serta mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan sebagai akibat dari titik konflik yang ditimbulkan dari adanya pergerakan antara kendaraan bermotor, pejalan kaki, sepeda dan fasilitas-fasilitas lain (Edward K. Morlok, 1985).



**Gambar 2. 2 Perlintasan Kereta Api**

*(Sumber : Informasikereta.com)*

Perencanaan persimpangan yang baik akan menghasilkan kualitas operasional yang baik seperti tingkat pelayanan, waktu tunda, panjang antrian dan kapasitas. Persimpangan sebidang adalah salah satu elemen yang paling rumit dari jalan atau jalan raya.

Persimpangan sebidang adalah fokus bisnis dan aktivitas komunitas dan pergerakan lalu lintas yang saling bertentangan. Persimpangan sebidang biasanya memiliki kapasitas yang lebih kecil daripada bagian lain dari jalan raya dan di mana sebagian besar konflik lalu lintas terjadi. Terdapat dua jenis dasar persimpangan jalan dari segi pandangan untuk kontrol kendaraan yaitu persimpangan dengan sinyal dan persimpangan tanpa sinyal, di mana pengemudi kendaraan sendiri yang harus memutuskan apakah cukup aman memasuki persimpangan itu (Edward K. Morlok, 1985).

### **2.3 Jalan**

Dalam Undang-Undang No.38 tahun 2004 Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di bawah permukaan tanah atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

Tipe-tipe jalan perkotaan menurut (MKJI, 1997) adalah sebagai berikut:

- 1) Jalan dua – lajur dua – arah (2/2 UD)
- 2) Jalan empat – lajur dua – arah
- 3) Tak terbagi (yaitu tanpa median) (4/2 UD)
- 4) Terbagi (yaitu dengan median) (4/2 D)
- 5) Jalan enam – lajur dua – arah terbagi (6/2 D)
- 6) Jalan satu – arah (1-3/1)

Tabel 2. 1 Kelas Ukuran Kota

Ukuran kota (Juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0.1	0.90
0.1 – 0.5	0.93
0.5 – 1.0	0.95
1.0 – 3.0	1.00
> 3.0	1.03

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

### 2.3.1 Karakteristik Jalan

Karakteristik utama jalan yang akan mempengaruhi kapasitas dan kinerja jalan jika dibebani lalu lintas. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) yaitu:

1. Geometrik jalan

a. Tipe jalan

Berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja berbeda pada pembebanan lalu-lintas tertentu; misalnya jalan terbagi dan tak-terbagi; jalan satu-arah.

b. Lebar jalur lalu-lintas

lebar jalur gerak tanpa bahu.

c. Kereb

Kereb sebagai batas antara jalur lalu-lintas dan trotoar berpengaruh terhadap dampak hambatan samping pada kapasitas dan kecepatan

d. Bahu

Bahu pada kedua sisi jalur lalu lintasnya. Lebar dan kondisi permukaannya mempengaruhi penggunaan bahu, berupa penambahan kapasitas, dan kecepatan pada arus tertentu, akibat pertambahan lebar bahu, terutama karena pengurangan hambatan samping yang disebabkan kejadian di sisi

jalan seperti kendaraan angkutan umum berhenti, pejalan kaki dan sebagainya.

e. Median

Median yang direncanakan dengan baik meningkatkan kapasitas

2. Komposisi arus dan pemisahan arah.

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang terdapat dalam suatu ruang yang bisa diukur dalam suatu interval tertentu. Pemisahan arah lalu-lintas: kapasitas jalan dua arah paling tinggi pada pemisahan arah 50 - 50, yaitu jika arus pada kedua arah adalah sama pada periode waktu yang dianalisa (umumnya satu jam).

3. Hambatan samping

Hambatan samping menunjukkan pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang pada arus berangkat lalu-lintas, misalnya pejalan kaki berjalan atau menyebrangi jalan, angkutan kota dan bis berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar dari halaman dan tempat parkir di luar jalur.

Menurut Manual kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) hambatan samping merupakan dampak kinerja lalu lintas dari aktivitas segmen jalan.

**Tabel 2. 2 Efisiensi Hambatan Samping**

<b>Hambatan samping</b>	<b>Factor bobot</b>
Pejalan kaki	0.5
Kendaraan umum dan berhenti	1.0
Kendaraan masuk dan keluar sisi jalan	0.7
Kendaraan lambat	0.4

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

**Tabel 2. 3 Kelas Hambatan Samping Untuk Jalan Perkotaan**

<b>Kelas hambatan samping</b>	<b>Kode</b>	<b>Jumlah berbobot kejadian</b>	<b>Kondisi khusus</b>
Sangat rendah	VL	<100	Daerah pemukiman ; jalan samping tersedia
Rendah	L	100-299	Daerah pemukiman ; beberapa angkutan umum tersebut
Sedang	M	300-499	Daerah industri ; berapa toko sisi jalan
Tinggi	H	500-899	Daerah komersial ; aktivitas sisi jalan tinggi
Sangat tinggi	VH	>900	Daerah komersial ; aktivitas pasar sisi jalan

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

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

1. Kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda 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 2 as, truk 3 as 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).

Manual Kapasitas Jalan Indonesia membagi EMP berdasarkan jumlah arus lalu-lintas dan tipe jalan, seperti daftar berikut:

**Tabel 2. 4 Jalan Perkotaan Tidak Terbagi**

Jalan tak terbagi	Arus Lalu lintas Total Dua Arah (kend/jam)	EMP		
		HV	MC	
			Lebar Jalan W <sub>Ce</sub> (m)	
			≤ 6	≥ 6
Dua-lajur tak terbagi (2/2 UD)	0	1.3	0.5	0.40
	>1800	1.2	0.35	0.25
Empat-lajur tak terbagi (4/2 UD)	0	1.3	0.40	
	>3700	1.2	0.25	

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

## 2.4 Lalu Lintas

Karakteristik lalu lintas meliputi unsur-unsur seperti arus, kecepatan dan kerapatan kendaraan yang melintasi ruas jalan. Karakteristik lalu lintas ini terbagi menjadi dua kategori analisa yaitu analisa pada tingkat mikroskopik yang pengamatannya dapat dilakukan oleh individu dan analisa secara makroskopik dilakukan secara berkelompok (Jotin Khisty, 2005).

Dalam analisa makroskopik, karakteristik kecepatan makroskopik lalu lintas dihitung dari tingkat arus dan pembahasan ditekankan pada pola variasi dalam waktu, ruang dan jenis kendaraan yang melintas pada suatu titik pengamat atau suatu potongan jalan pendek selama periode waktu tertentu. Sedangkan karakteristik kerapatan makroskopik diartikan sejumlah kendaraan yang menempati suatu potongan jalan digunakan dalam menilai kinerja lalu lintas dari sudut pandang pemakai jalan dan pengelola jalan.

### 2.4.1 Arus dan Volume Lalu Lintas (*Flow*)

Arus lalu lintas menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI, 1997) adalah jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu yang dinyatakan dalam kendaraan per jam. Arus lalu lintas ini memiliki karakteristik yang

bervariasi tergantung dari lokasi dan waktunya. Sedangkan volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Pada pembahasan volume terbagi menjadi 2 bagian (Soedirdjo, 2002), yaitu:

1. Volume Harian (*daily volumes*)

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 di suatu lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melintas lokasi dalam satu tahun dibagi 365 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.

- a. Lalu lintas harian rata-rata (LHR) atau *average daily traffic* (ADT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata. Sementara *average annual daily traffic* (AADT) dihitung selama satu tahun penuh.
- b. 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 satu tahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

2. Volume Jam-an (*hourly volumes*)

Volume Jam-an yaitu suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk menentukan jalan 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.

Variasi yang terjadi selama satu jam dinyatakan dalam faktor jam puncak (*Peak Hour Factor / PHF*), yaitu merupakan perbandingan antara volume arus lalu lintas jam puncak dengan 4 kali *rate of flow*/15 menit volume arus lalu lintas tertinggi pada jam yang sama (jam puncak), seperti persamaan 2.1 berikut.

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15}(\text{peak rate factor of flow})} \dots\dots\dots (2.1)$$

Maka data volume kendaraan arus lalu-lintas (per arah 2 total) harus diubah menjadi Satuan Mobil Penumpang (SMP) dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang. Ekivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk masing-masing tipe kendaraan tergantung pada tipe jalan dan arus lalu-lintas total dinyatakan dalam 1 jam.

#### 2.4.2 Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh (Soedirdjo, 2002). 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 dalam Winda Fitri Yanti (Yanti, 2018) 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 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*)
  - a. Hambatan tetap (*fixed delay*)
  - b. Hambatan bergerak (*running delay*)

Kecepatan adalah tingkat pergerakan lalu lintas atau kendaraan tertentu yang sering dinyatakan dalam kilometer per jam (Direktorat Jendral Bina Marga, 1990).

$$U = \frac{d}{t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

u = Kecepatan (km/jam atau m/detik)

d = Jarak Tempuh (Km atau m)

t = Waktu Tempuh (Jam atau detik)

Kecepatan kendaraan pasti akan berubah ubah menurut waktu dan besarnya lalu lintas, menurut (Jaya Wikrama, 2018) ada 2 hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan antara lain :

1. *Times Mean Speed* (TMS), adalah kecepatan rata rata dari semua yang melintas dari suatu titik di jalan selama periode waktu tertentu. *Times mean speed* dapat dihitung dengan rumus :

$$V_t = \frac{\sum v_i}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$V_t$  = Times Mean Speed ( km/jam)

$\sum v_i$  = Jumlah Kecepatan (km/jam)

$n$  = Jumlah data

2. *Space Mean Speed* (SMS), adalah kecepatan rata rata dari semua kendaraan yang menempati suatu segmen jalan selama periode waktu tertentu. *Space Mean Speed* dapat dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{n \cdot d}{\sum t_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$V_s$  = Space mean speed (km/jam)

$\sum v_i$  = Jumlah Waktu (Jam)

$n$  = Jumlah Data

$d$  = Jarak (km)

3. Menghitung kecepatan rata rata per jam dapat dihitung dengan rumus :

$$U_s = \frac{U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sn}}{n} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$U_s$  = Kecepatan

$N$  = Jumlah data

Untuk pengukuran kecepatan dengan menggunakan cara manual, panjang penggal jalan yang digunakan untuk mengukur waktu tempuh yaitu berdasar pada perkiraan kecepatan rata rata dari tabel berikut :

**Tabel 2. 5 Panjang Penggal Jalan untuk Waktu Tempuh Kendaraan**

Perkiraan kecepatan rata rata arus lalu lintas Km/jam)	Penggal jalan
<40	25
40 – 60	50
>65	74

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga)

**2.4.3 Kerapatan (*Density*)**

Jumlah kendaraan yang menempati ruas jalan tertentu atau lajur tertentu persatuan jarak merupakan pengertian dari kerapatan dan biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/m (Ulfaturrohman, 2019). Dimana kerapatan, kecepatan dan volume mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$D = V \times U_{sr} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

D = kerapatan (smp/km)

V = volume (smp/jam)

U<sub>sr</sub> = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

Kerapatan sulit diukur langsung sebab dibutuhkan titik ketinggian tertentu untuk dapat mengamati atau menghitung jumlah kendaraan dalam panjang ruas jalan tertentu, oleh karena itu besarnya ditentukan dari parameter volume dan kecepatan, mempunyai hubungan sebagai berikut :

$$D = \frac{volume}{kecepatan\ ruang\ rata\ rata} \dots\dots\dots (2.7)$$

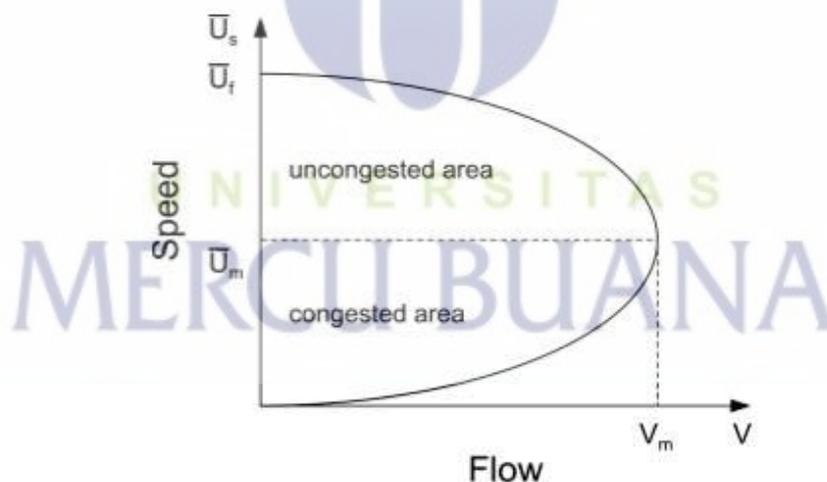
**2.5 Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan**

Menurut (Julianto, 2010) aliran lalu lintas pada suatu ruas jalan raya terdapat 3 variabel utama yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas, yaitu :

1. Volume (flow), yaitu jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tinjau tertentu pada suatu ruas jalan per satuan waktu tertentu.
  2. Kecepatan (speed), yaitu jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada ruas jalan per satuan waktu.
  3. Kepadatan (density), yaitu jumlah kendaraan per satuan panjang jalan tertentu.
- Ketiga variabel tersebut mempunyai hubungan satu dengan lainnya, hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan dapat dijelaskan secara grafis dengan memakai persamaan matematis.

### 2.5.1 Hubungan Volume - Kecepatan

Hubungan dasar antara volume dan kecepatan adalah ketika lalu lintas meningkat, kecepatan ruang rata-rata akan berkurang sampai kepadatan kritis (volume maksimum) tercapai. Hubungan keduanya ditunjukkan pada gambar berikut ini (Julianto, 2010).



**Gambar 2. 3 Hubungan Volume – Kecepatan**

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

Setelah kepadatan kritis tercapai, maka kecepatan rata-rata ruang dan volume akan berkurang. Jadi kurva diatas menggambarkan dua kondisi yang berbeda, lengan atas

menunjukkan kondisi stabil dan lengan bawah menunjukkan kondisi arus padat. Berikut ini adalah persamaan umum hubungan antara volume dan kecepatan :

$$V = Dj \times S - \frac{Dj}{S_{ff}} \times S^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

S<sub>ff</sub> = Kecepatan arus bebas (km/jam)

D<sub>j</sub> = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

V = Volume (smp/jam)

D = Kedapatan (smp/jam)

S = Kecepatan (km/jam)

Untuk mencari volume maksimum bisa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_m = \frac{Dj \times S_{ff}}{4} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

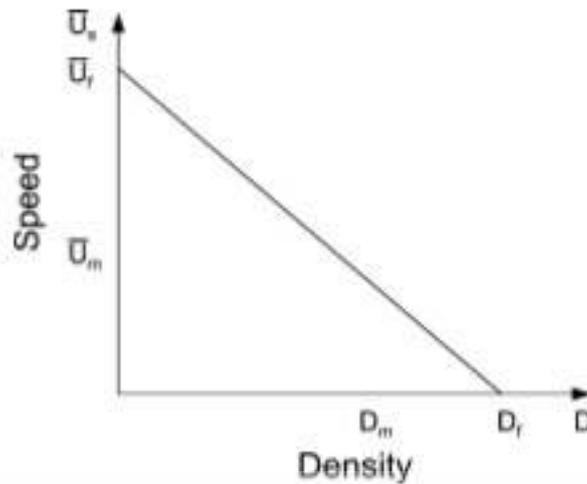
S<sub>ff</sub> = Kecepatan arus bebas (km/jam)

D<sub>j</sub> = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

V<sub>m</sub> = Volume maksimum (smp/jam)

### 2.5.2 Hubungan Kecepatan – Kerapatan

Kecepatan akan menurun apabila kepadatan bertambah. Kecepatan arus bebas akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol, dan pada saat kecepatan sama dengan nol maka akan terjadi kemacetan (jam density).Hubungan keduanya ditunjukkan pada gambar berikut ini (Julianto, 2010).



**Gambar 2. 4 Hubungan Kecepatan – Kepadatan**

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

Berikut ini adalah persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan atau kepadatan dengan cara regresi linear:

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

S = Kecepatan (km/jam)

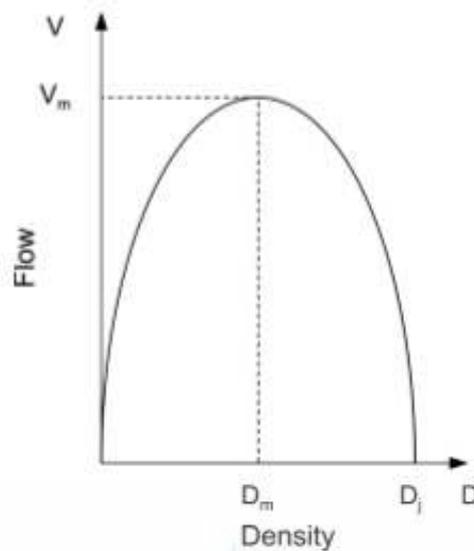
S<sub>ff</sub> = Kecepatan arus bebas (km/jam)

D<sub>j</sub> = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

D = Kepadatan lalu lintas (smp/jam)

**2.5.3 Hubungan Volume – Kepadatan**

Volume maksimum terjadi (V<sub>m</sub>) terjadi pada saat kepadatan mencapai titik D<sub>m</sub> (kapasitas jalur jalan sudah tercapai). Setelah mencapai titik ini volume akan menurun walaupun kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik D. Hubungan keduanya ditunjukkan pada gambar berikut ini (Julianto, 2010).



**Gambar 2. 5 Hubungan Volume – Kepadatan**

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

Berikut ini adalah persamaan umum hubungan antara Volume dan kepadatan:

$$V = D \times S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

S = Kecepatan (km/jam)

S<sub>ff</sub> = Kecepatan arus bebas (km/jam)

D<sub>j</sub> = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

D = Kepadatan lalu lintas (smp/jam)

V = Volume (smp/jam)

Sedangkan untuk volume maksimum (V<sub>m</sub>) bisa didapat pada saat kepadatan D = D<sub>m</sub>.

Nilai D = D<sub>m</sub> didapatkan melalui persamaan (2.13) – (2.14) seperti berikut ini:

$$\frac{\partial V}{\partial D} = S_{ff} - \frac{2 \times S_{ff}}{D_j} \times D_m = 0 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$D_m = \frac{D_j}{2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

Sff = Kecepatan arus bebas (km/jam)

Dj = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

Dm = Kepadatan Maksimum (smp/jam)

Dengan memasukan persamaan (2.14) ke persamaan (2.12) maka nilai Vm dapat diketahui dengan persamaan (2.15) – (2.16) seperti berikut ini:

$$Vm = \frac{Dj \times Sff}{2} - \frac{Sff}{Dj} - \frac{(Dj)^2}{4} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$Vm = \frac{Dj \times Sff}{4} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

Sff = Kecepatan arus bebas (km/jam)

Dj = Kepadatan saat macet total (smp/jam)

Vm = Volume Maksimum (smp/jam)

## 2.6 Pemodelan Greenshield

Menurut Greenshields, kecepatan arus dan kepadatan mempunyai hubungan sistematis sebagai berikut:

$$V = Us \times D \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

V = volume arus lalu lintas (kendaraan/jam)

D = kepadatan (kendaraan/km)

Us = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

$$U_s = U_f - \frac{(u_f)}{D_j} \times D \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

$U_s$  = kecepatan rata rata ruang (km/jam)

$U_f$  = Kecepatan pada saat kondisi lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati nol atau kecepatan arus bebas (km/jam)

$D$  = kepadatan (smp/km)

$D_j$  = Kepadatan pada kondisi jam (smp/km)

Untuk mendapatkan nilai konstanta  $U_f$  dan  $D_j$  maka persamaannya diubah menjadi  $Y = a + bX$  dimana dianggap bahwa  $U_f$  merupakan konstanta  $a$  dan  $U_f/D_j = b$  sedangkan  $U_s$  dan  $D$  merupakan variable  $Y$  dan  $X$ . kedua konstanta tersebut dapat dinyatakan sebagai kecepatan bebas (*free flow speed*) dimana pengendara memacu kecepatan sesuai yang diinginkan dan puncak kepadatan dimana kendaraan dalam keadaan 0 atau tidak bisa bergerak sama sekali. Hubungan antara volume dengan kepadatan dapat diperoleh dengan memasukkan persamaan (2.16) ke persamaan (2.17)

$$V = \bar{U}_f \times D - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \times D^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

hubungan antara volume dengan kecepatan didapatkan dengan mengubah persamaan (2.16) menjadi  $D = V/U_s$  yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (2.17):

$$V = D_j \times \bar{U}_s - \frac{D_j}{\bar{U}_f} \times \bar{U}_s^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

Kondisi arus maksimum/ Kapasitas (VMaks) didapat dengan persamaan

$$V_{maks} = D_m \times \bar{U}_m = \frac{D_j \times \bar{U}_f}{4} \dots\dots\dots(2.20)$$

Untuk mendapatkan kepadatan apabila arus lalu lintas maksimum adalah

$$D = D_{maks} = \frac{D_j}{2} \dots\dots\dots(2.21)$$

Untuk memperoleh kecepatan apabila arus lalu lintas maksimum adalah

$$U_s = U_{maks} = \frac{\bar{U}f}{2} \dots\dots\dots(2.22)$$

**2.7 Regresi Linier**

Analisis regresi-linear adalah metode statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antar sifat permasalahan yang sedang diselidiki. Model analisis regresi-linear dapat memodelkan hubungan antara dua peubah atau lebih (Tamin, 2008). Besarnya nilai intersep a dan konstanta b dapat dicari

$$Y = a + Bx \dots\dots\dots(2.23)$$

Nilai a dan b dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$B = \frac{N \sum_i (X_i Y_i) - \sum_i (X_i) \cdot \sum_i (Y_i)}{N \sum_i (X_i^2) - \sum_i (X_i)^2} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan:

Y = perubah tidak bebas

X = perubah bebas

A = intersep atau konstanta regresi

B = koefisien regresi

Y dan X adalah nilai rata-rata dari Yi dan Xi

**2.8 Tundaan**

Tundaan menurut MKJI (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 pengendalian lalu lintas. Tundaan ini seringkali terjadi di persimpangan-persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- a. Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendalian akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.
- b. Pengendalian lalu lintas, yang meliputi jenis dan pengaturan waktu dari lampu lalu lintas, tanda berhenti, pengendali belokan, dan pengendalian parkir.

2. Tundaan Operasional

Tundaan Operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur di dalam arus lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari lalu lintas lain. Misalnya: Kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, berjalan kaki atau kendaraan yang berhenti. Namun tundaan operasional dapat juga disebabkan oleh gangguan di dalam 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 apabila berlangsung lama akan mengakibatkan 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.

Tundaan pada daerah perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta 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 ke dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_0 + T \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

W = waktu tempuh total

W<sub>0</sub> = waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintas suatu ruas jalan tertentu.

T = tundaan

### 2.9 Antrian

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang tampak sehari-hari. Antrian dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKJI (MKJI, 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.

### **2.10 Kapasitas**

Menurut (MKJI, 1997) kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk menghitung besarnya kapasitas ruas jalan perkotaan bisa menggunakan persamaan berikut berdasarkan (MKJI, 1997):

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

C = Kapasitas (smp/jam)

C<sub>o</sub> = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC<sub>w</sub> = Faktor penyesuaian lebar jalan

FC<sub>sp</sub> = Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)

FC<sub>sf</sub> = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan/kereb

FC<sub>cs</sub> = Faktor penyesuaian ukuran kota

### 2.10.1 Kapasitas Dasar

Menurut (MKJI, 1997), kapasitas dasar ( $C_0$ ) ditentukan berdasarkan Nilai Kapasitas Dasar dengan variabel masukan tipe jalan. Untuk tabel kapasitas dasar ( $C_0$ ) sebagai berikut:

**Tabel 2. 6 Faktor Penyesuaian Kecepatan untuk Ukuran Kota**

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

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

### 2.10.2 Penyesuaian Lebar Jalur

Menurut (MKJI, 1997) dalam penentuan lebar jalur ditentukan oleh lebar jalur lintas efektif ( $C_w$ ).

**Tabel 2. 7 Faktor Penyesuaian Lebar Jalur**

Tipe jalan	Lebar jalur lalu-lintas efektif (WC) (m)	FCw (km/jam)
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	Per lajur	
	3,00	0.92
	3,25	0.96
	3,50	1.00
	3,75	1.04
Empat-lajur tak-terbagi	4,00	1.08
	Per lajur	
	3,00	0.91
	3,25	0.95
	3,50	1.00
Dua-lajur tak-terbagi	3,75	1.05
	4,00	1.09
	Total	
	5	0.56
	6	0.87

Tipe jalan	Lebar jalur lalu-lintas efektif (WC) (m)	FCw (km/jam)
	7	1.00
	8	1.14
	9	1.25
	10	1.29
	11	1.34

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

Untuk jalan terbagi dan jalan satu arah, faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisahan arah tidak dapat diterapkan dan dipergunakan nilai 1,0.

### 2.10.3 Penyesuaian Pemisah Arah

Faktor penyesuaian pemisah arah (FCsp) hanya untuk jalan tak terbagi (MKJI, 1997) memberikan faktor penyesuaian pemisah arah untuk jalan dua lajur dua arah (2/2) dan empat lajur dua arah (4/2) tak terbagi. Adapun tabel faktor penyesuaian pemisah arah sebagai berikut:

**Tabel 2. 8 Faktor Penyesuaian Kapasitas Kapasitas untuk Pemisahan Arah (FCSP)**

Pemisah arah (SP) % - %		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FCsp	Dua lajur (2/2 UD)	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88
FCsp	Empat lajur (4/2 UD)	1.00	0.985	0.97	0.955	0.94

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

### 2.10.4 Penyesuaian Kapasitas Untuk Hambatan Samping

Menurut (MKJI, 1997) faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping dilihat dari nilai lebar jalan dengan kereb.

**Tabel 2. 9 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pengaruh Hambatan Samping dan Jarak Kereb Penghalang (FCSF) Jalan Perkotaan dengan Kereb**

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan Jarak kereb-penghalang Jarak: kereb - penghalang WK (m)			
		≤0.5m	1,0 m	1,5 m	≥ 2m
Empat lajur terbagi (4/2 D)	Sangat rendah	0.95	0.97	0.99	1.01
	Rendah	0.94	0.96	0.98	1.00
	Sedang	0.91	0.83	0.95	0.98
	Tinggi	0.86	0.89	0.92	0.95
	Sangat Tinggi	0.81	0.85	0.88	0.92
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Sangat rendah	0.95	0.97	0.99	1.01
	Rendah	0.93	0.95	0.97	1.00
	Sedang	0.90	0.92	0.95	0.97
	Tinggi Sangat	0.84	0.87	0.90	0.93
	Tinggi	0.77	0.81	0.85	0.90
2 lajur tak terbagi (2/2UD) atau jalan satu arah	Sangat rendah	0.93	0.95	0.97	0.99
	Rendah	0.90	0.92	0.95	0.97
	Sedang	0.86	0.88	0.91	0.94
	Tinggi	0.78	0.81	0.84	0.88
	Sangat Tinggi	0.68	0.72	0.77	0.82

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

### 2.11 Kecepatan Arus Bebas

Untuk jalan tak-terbagi, analisa dilakukan pada kedua arah lalu-lintas. Untuk jalan terbagi, analisa dilakukan terpisah pada masing-masing arah lalu-lintas, seolah-olah masing-masing arah merupakan jalan satu arah yang terpisah

$$FV = (FV_O + FV_W) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS} \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan:

FV = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam)

$FV_0$  = Kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan (km/jam)

$FV_w$  = Penyesuaian lebar lajur lalu lintas efektif (km/jam)

$FFV_{sf}$  = Faktor penyesuaian kondisi hambatan samping

$FFV_{cs}$  = Faktor penyesuaian ukuran kota.

### 2.11.1 Kecepatan Arus Bebas Dasar

Kecepatan arus bebas dasar ( $FV_0$ ) diperoleh dari Faktor konversi nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk masing-masing pendekatan terlindung dan terlawan dengan variabel masukannya adalah tipe jalan.

**Tabel 2. 10 Kecepatan Arus Bebas Dasar ( $FV_0$ ) untuk Jalan Perkotaan**

Tipe jalan	Kecepatan arus bebas dasar ( $FV_0$ ) (km/jam)			
	Kendaraan ringan (LV)	Kendaraan berat (HV)	Sepeda motor (MC)	Semua kendaraan (rata-rata)
Enam-lajur terbagi (6/2 D) atau Tiga-lajur satu-arah (3/1)	61	52	48	57
Empat-lajur terbagi (4/2 D) atau Dua-lajur satu-arah (2/1)	57	50	47	55
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	33	46	43	51
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	44	40	40	42

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

### 2.11.2 Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas

Menurut (MKJI, 1997) penyesuaian jalur lalu lintas efektif merupakan penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar sebagai akibat dari lebar jalur lalu lintas yang ada pada segmen suatu jalan.

**Tabel 2. 11 Penyesuaian Lebar Lalu Lintas Efektif**

Tipe jalan	Lebar jalur lalu-lintas efektif (WC) (m)	FVW (km/jam)
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Dua-lajur tak-terbagi	Total	
	5	-9,5
	6	-3
	7	0
	8	3
	9	4
	10	6
	11	7

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

### 2.11.3 Penyesuaian Kecepatan Untuk Hambatan Samping

Menurut (MKJI, 1997), faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk hambatan samping merupakan faktor penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar sebagai akibat adanya aktivitas samping segmen jalan, yang pada sampel ini akibat adanya jarak antara kereb dan penghalang pada trotoar, mobil parkir, penyeberang jalan, simpang dan bahu jalan. Adapun tabel untuk faktor penyesuaian untuk hambatan samping dengan kereb seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 2. 12 Faktor Penyesuaian Kecepatan untuk Hambatan Samping dengan Kereb (FFVSF)**

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan Jarak kereb-penghalang Jarak: kereb - penghalang WK (m)			
		≤0.5m	1,0 m	1,5 m	≥ 2m
Empat lajur terbagi (4/2 D)	Sangat rendah	1.00	1,01	1.01	1.02
	Rendah	0.97	0.98	0.99	1.00
	Sedang	0.93	0.95	0.97	0.99
	Tinggi	0.87	0.90	0.93	0.96
	Sangat Tinggi	0.81	0.85	0.88	0.92
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Sangat rendah	1.00	1.01	1.01	1.02
	Rendah	0.96	0.98	0.99	1.00
	Sedang	0.91	0.93	0.96	0.98
	Tinggi Sangat	0.84	0.87	0.90	0.94
	Tinggi	0.77	0.81	0.85	0.90
2 lajur tak terbagi (2/2UD) atau jalan satu arah	Sangat rendah	0.98	0.99	0.99	1.00
	Rendah	0.93	0.95	0.96	0.98
	Sedang	0.87	0.89	0.92	0.95
	Tinggi	0.78	0.81	0.84	0.88
	Sangat Tinggi	0.68	0.72	0.77	0.82

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

#### 2.11.4 Penyesuaian Kecepatan untuk Ukuran Kota (FFVcs)

Menurut (MKJI, 1997), faktor penyesuaian kecepatan untuk ukuran kota merupakan faktor penyesuaian arus bebas dasar yang merupakan akibat dari banyak populasi penduduk suatu kota. Tabel faktor penyesuaian kecepatan untuk ukuran kota bisa dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2. 13 Faktor Penyesuaian Kecepatan untuk Ukuran Kota**

Ukuran kota (Juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0.1	0.90
0.1 – 0.5	0.93
0.5 – 1.0	0.95
3. – 3.0	1.00
> 3.0	1.03

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

### 2.12 Derajat Kejenuhan

Menurut (MKJI, 1997) derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja samping dan segmen jalan. Derajat kejenuhan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$DS = Q/C \dots\dots\dots(2.28)$$

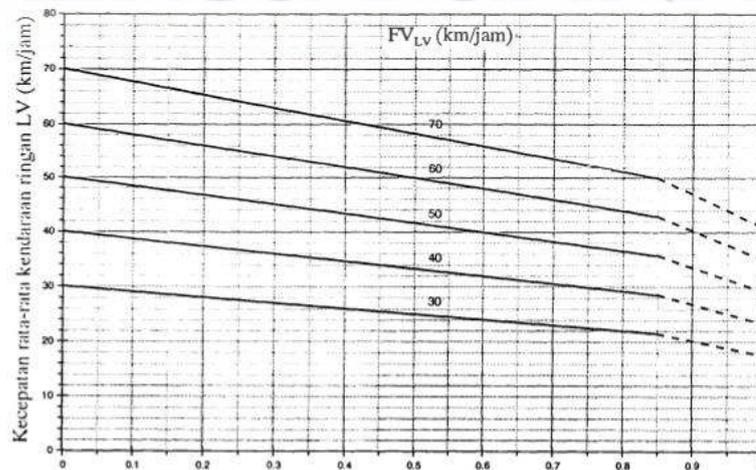
Keterangan:

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

### 2.13 Kecepatan dan Waktu Tempuh

**Tabel 2. 14 Kecepatan Operasional Sebagai Fungsi dari DS untuk Jalan 2/2 UD**



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

Untuk menentukan kecepatan sesungguhnya dengan cara :

1. Masukkan nilai derajat kejenuhan (DS) pada sumbu horizontal (X).
2. Buat garis sejajar dengan sumbu vertikal (Y) dari titik tersebut sampai berpotongan dengan nilai kecepatan arus bebas sesungguhnya (FV).
3. Buat garis horizontal sejajar dengan sumbu (X) sampai berpotongan dengan sumbu vertikal (Y) pada bagian sebelah kiri gambar dan lihat nilai kecepatan kendaraan ringan sesungguhnya untuk kondisi yang dianalisa.

Dalam menghitung berapa lama waktu tempuh rata-rata dalam jam untuk kondisi yang diamati sebagai berikut:

$$\text{waktu tempuh rata - rata (TT)} = \frac{L}{V} \text{ (jam)} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan:

L = Panjang segmen (km)

V = Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

(waktu tempuh rata-rata dalam detik dapat dihitung dengan TT x 3600)

#### 2.14 Tingkat Pelayanan

Batasan-batasan nilai dari setiap tingkat pelayanan dipengaruhi oleh fungsi jalan dan dimana jalan tersebut berada. Dengan tingkat pelayanan yang diperoleh, maka dapat ditentukan jalan tersebut masuk dalam tingkat pelayanan tertentu. Adapun tingkat pelayanan (*LoS*) dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Los = V/C \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

*Los* = Tingkat pelayanan jalan

V = Volume lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas ruas jalan (smp/jam)

**Tabel 2. 15 Tingkat Pelayanan Jalan**

Tingkat pelayanan	Karakteristik lalu lintas	Batas lingkup V/C
A	Kondisi arus lalu lintas bebas dengan kecepatan tinggi dan volume lalu lintas rendah	0.00 - 0.20
B	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas	0.20 - 0.44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan	0.45 - 0.74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dapat dikendalikan, V/C masih dapat di tolerir.	0.75 - 0.84
E	Arus tidak stabil kecepatan terkadang terhenti, permintaan sudah mendekati kapasitas	0.85 - 1.00
F	Arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet)	$\geq 1.00$

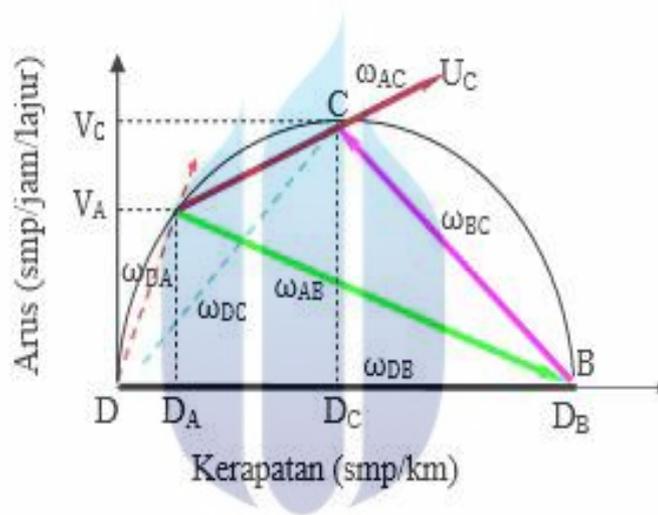
(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997)

### 2.15 Metode Gelombang Kejut

Apabila suatu arus lalu lintas bergerak teratur kemudian terdapat hambatan di depannya maka pada titik ruas jalan tersebut kepadatannya akan membesar sampai pada kendaraan di belakang. Kemudian apabila jalan dibuka gelombang kepadatan bergerak dengan kecepatan tertentu, hal ini disebut dengan gelombang kejut.

Beberapa akibat yang terjadi pada arus lalu lintas jalan raya dengan adanya fenomena *shock wave*, yaitu:

1. Awalnya di potongan jalan tersebut *density* ( $k$ ) meningkat hingga mencapai  $k_j$  (jam *density*) bila jalan ditutup secara total.
2. Terjadi perubahan *density* yang bergerak ke belakang dengan kecepatan tertentu
3. Demikian apabila jalan tersebut dibuka kembali, maka akan terjadi gelombang *density* bergerak dengan kecepatan tertentu pula.



**Gambar 2. 6 Gelombang Kejut Pada Perlintasan Sebidang**

(Sumber : Mcshane dkk, (1998))

Maka dapat digambarkan kondisi arus lalu lintas pada saat terjadinya hambatan adalah sebagai berikut:

1. Pada saat pintu perlintasan ditutup ( $t_1$ ), ada tiga gelombang kejut yang terbentuk

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0 \dots\dots\dots(2.32)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = -\frac{V_A}{D_B - D_A} \dots\dots\dots(2.33)$$

2. Arus lalu lintas dengan kondisi A, B dan D akan terjadi terus sampai dengan waktu  $t$ , di mana pada saat  $t_2$  pintu perlintasan akan terbuka, sehingga arus lalu lintas dengan kondisi baru akan terbentuk. Yaitu arus lalu lintas pada kondisi C di mana arus akan meningkat dari 0 sampai jenuh. Ada 2 gelombang kejut yang terbentuk, yaitu :

$$\omega_{DC} = \frac{VC-VD}{DC-DD} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$\omega_{CB} = \frac{VB-VC}{DB-DC} = - \frac{VC}{DB-DC} \dots\dots\dots(2.35)$$

3. Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B, dan A terus terjadi sampai dengan  $\omega_{AB}$  dan  $\omega_{CB}$  mencapai  $t_3$  dengan selang waktu antara  $t_2$  sampai dengan  $t_3$  dan dapat dihitung dengan persamaan

$$t_3 - t_2 = t x \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB}-\omega_{AB}} \right| \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan  $r$  adalah lamanya waktu pintu perlintasan ditutup, maka panjang antrian maksimum akan terjadi pada waktu  $t_3$ , persamaannya adalah

$$QM = \frac{t}{3600} x \left| \frac{\omega_{CB} x \omega_{AB}}{\omega_{CB}-\omega_{AB}} \right| \dots\dots\dots(2.37)$$

4. Selanjutnya untuk waktu penormalan yaitu selang waktu  $t_2$  sampai  $t_4$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$t_4 - t_2 = \frac{t x \omega_{AB}}{(\omega_{CB}-\omega_{AB})} \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{CA}} + 1 \right| \dots\dots\dots(2.38)$$

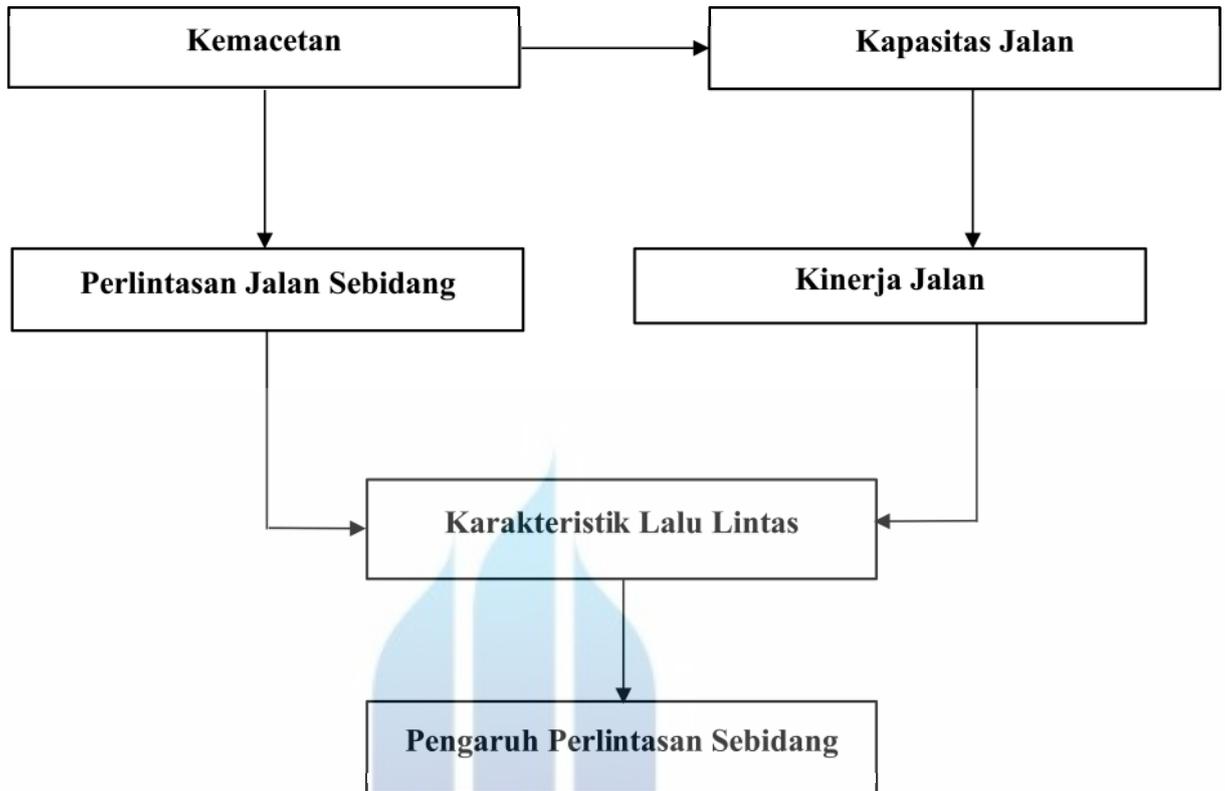
5. Pada kondisi  $t_3$ , akan terbentuk satu gelombang kejut baru yaitu

$$\omega_{AC} = \frac{VC-VA}{DC-DA} = \dots\dots\dots(2.39)$$

6. Jumlah kendaraan yang mengalami antrian

$$N = (t - t_{3.2}) . Va \dots\dots\dots(2.40)$$

2.16 Kerangka Berpikir



Gambar 2. 7 Kerangka Berpikir

(Sumber : penulis, 2022)

2.17 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Publikasi Jurnal	Instansi	Jenis Karya Tulis	Hasil Penelitian
1.	Ahmad Aryad	Analisis Tundaan, Antrian dan Biaya Operasional Kendaraan Akibat Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api Pada Ruas Jalan Malang-Surabaya KM.10	Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional Malang (2017)	Institut Teknologi Nasional Malang	Tugas Akhir	Durasi penutupan pintu perlintasan kereta api memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya tundaan dan panjang antrian kendaraan dilihat dari terhambatnya perjalanan akibat adanya penutupan pintu rel kereta api serta berkurangnya kecepatan pada saat melintasi perlintasan sebidang jalan raya dengan rel kereta api. besarnya tundaan, dan antrian kendaraan dengan menggunakan perhitungan mkji untuk jalan luar kota diperoleh hasil kapasitas ruas jalan diketahui bahwa derajat kejenuhan tertinggi dari 3 hari pengamatan arah surabaya-malang dan arah malang-surabaya dengan nilai 1.1007 dan 1.1948, dalam hal ini nilai derajat kejenuhan kedua arah tersebut > 0.85 (mkji 1997) sehingga tingkat pelayanan kinerja jalan ini termasuk dalam "tingkat pelayanan f".
2.	Zam'aliani	Analisis Panjang Antrian Akibat Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan)	Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan (2019)	Universitas Sumatera Utara Medan	Tugas Akhir	volume maksimum dari hasil pengamatan sebesar 4966 smp/jam yang terjadi pada periode 17.30 – 17.45 wib hari senin arah selatan ke utara. volume terbesar saat kereta api melintasi adalah 3573,2 smp/jam pada periode pengamatan 12.30 – 12.45 wib hari senin arah utara ke selatan. nilai kecepatan rata-rata terbesar yaitu 26,38 km/jam pada periode pengamatan 07.45 – 08.00wib hari rabu arah utara selatan. kerapatan kendaraan yang maksimum sebesar 427 smp/jam pada periode pengamatan 17.45 – 18.00 wib hari senin arah selatan ke utara hubungan volume, kecepatan dan kerapatan adalah menggunakan model <i>greenshield</i> yang menghasilkan koefisien determinasi ( $r^2$ ) yang terbesar yaitu 0,9623 hari rabu arah utara ke selatan panjang antrian yang paling maksimum terjadi ketika kereta api melintas pada hari senin arah utara ke

*Bab II Tinjauan Pustaka & Kerangka Berfikir*

No.	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Publikasi Jurnal	Instansi	Jenis Karya Tulis	Hasil Penelitian
3.	Hakiki Pangestu Gusti	Perlintasan Kereta Api Terhadap Kinerja Jalan (Studi Kasus Pada Jalan W.R. Supratman Tangerang Selatan)	Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana (2019)	Universitas Mercu Buana	Tugas Akhir	selatan pukul 18.25 yaitu sebesar 1294 meter, waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan antrian 435 detik dan waktu penormalan yang dibutuhkan hingga antrian dapat dipulihkan kembali adalah sebesar 761 detik. Terjadinya penutupan palang pintu kereta api dari data survei di lapangan terdapat beberapa antrian yang belum berhasil melewati palang pintu sampai penutupan berikutnya terjadi. Alternatif yang diberlakukan untuk memperbaiki tingkat pelayanan jalan adalah dengan meminimalkan hambatan samping menghasilkan perubahan kinerja jalan yang signifikan pada pos 2 dengan perubahan tingkat pelayanan dari D menjadi C pada pagi dan sore hari. Sedangkan untuk memperbaiki kemacetan yang diakibatkan oleh penutupan palang pintu kereta api jika memungkinkan dibangunnya simpang tidak sebidang maka penulis menyarankan geometrik dengan tipe 2/2 UD lebar jalur 6m dan lebar trotoar 1m.
4.	Elprina Bangun Br	Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Jalan Rel Terhadap kinerja Lalu Lintas Jalan Raya (Studi Kasus: Jl. Maulana Hasanudin Tangerang)	Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana (2020)	Universitas Mercu Buana	Tugas Akhir	Kinerja ruas Jalan Maulana Hasanudin Tangerang terendah terjadi pada Jumat, 03 Juli 2020 pagi dan sore menghasilkan derajat kejenuhan $DS > 0,75$ , untuk hari lainnya pada hari Minggu, 05 Juli 2020 saat jam sibuk menghasilkan LOS B, dan hari Senin, 06 Juli 2020 saat jam sibuk pagi dan sore hari menghasilkan LOS C. Pengaruh penutupan palang pintu perlintasan terhadap ruas jalan yaitu terjadi antrian saat penutupan. Dimana antrian

No.	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Publikasi Jurnal	Instansi	Jenis Karya Tulis	Hasil Penelitian
5.	La Ode Sarwini	Analisa Perbandingan Model Greenshield, Greenberg dan Underwood Pada Dua Tipe Ruas Jalan Yang Berbeda Tingkat Kepadatannya Pada Jam Sibuk Di Kota Kendari	Fakultas Teknik Universitas Haluoleo	Universitas Haluoleo	Tugas Akhir	<p>terpanjang dan penutupan terlama hari Jumat, 03 Juli 2020 saat pagi hari dan sore hari, jam penutupan 07:01:36 dengan lama penutupan <math>r = 143</math> detik dan panjang antrian <math>Q_m = 132,45</math> meter serta tundaan maksimum <math>T_m = 128,70</math> detik, jam penutupan 18:15:15 dengan lama penutupan <math>r = 261</math> detik dan panjang antrian <math>Q_m = 254,63</math> meter serta tundaan maksimum <math>T_m = 234,90</math> detik. Sehingga dengan adanya penutupan palang pintu kereta api ini akan memperburuk kinerja ruas Jalan Maulana Hasanudin Tangerang.</p> <p>Dari hasil pemodelan, didapat untuk model Greenshield koefisien determinasi tertinggi adalah ruas jalan ZA Sugianto dengan <math>R^2 = 0,8501</math> dengan persamaan matematis <math>S = 44,169 - 1,-064.D</math> dan kapasitas ( VM ) 458 smp/jam untuk model Greenberg koefisien determinasi tertinggi adalah Ruas jalan Ahmad Yani dengan <math>R^2 = 0,824</math> dengan persamaan matematis <math>S = 52,68 - 9,49 Ln. D</math> dan kapasitas (VM) 6566,58 smp/jam untuk model Underwood koefisien determinasi tertinggi adalah Ruas jalan Ahmad Yani dengan <math>R^2 = 0,196</math> dengan persamaan matematis <math>34,123 (- 0,0028 .D)</math> yang sesuai dengan ruas jalan Ahmad Yani adalah mengikuti model Greenberg dengan nilai <math>R^2 = 0,824</math> dan untuk ruas jalan ZA Sugianto adalah mengikuti model Greenshield dengan nilai <math>R^2 = 0,8501</math>.</p>

No.	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Publikasi Jurnal	Instansi	Jenis Karya Tulis	Hasil Penelitian
6.	Pandu Asyura Amri, Indra Fami, Rachmat	Analisa Tundaan Pada Lalu Lintas Akibat Penutupan Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus: Jl. Kyai Haji Ahmad Dahlan – Jalan Alia Padang)	Vol. 2 No. 2 (2018), Sipil, wisuda ke 70, jurnal tugas akhir 2018	Universitas Bung Hatta	Jurnal	Lama tundaan rata-rata terbesar terjadi pada hari minggu yaitu sebesar 1 menit 11 detik dengan panjang antrian sebesar 42,6 meter sedangkan untuk panjang antrian rata-rata terjadi pada hari jumat dengan panjang antrian 54,07 meter dengan lama tundaan 55 detik.
7.	Christmas Samodra, Agus Sumarsono	Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penutupan Palang Pintu Kereta Api	e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/JUNI 2013/38	Universitas Sebelas Maret	Jurnal	Lama tundaan dan panjang antrian rata-rata yang terjadi pada jalan Urip Sumoharjo sebesar 429 detik dan 74 meter. Lalu, besar lama tundaan dan panjang antrian rata-rata yang terjadi pada jalan HOS Cokroaminoto sebesar 257 detik dan 76 meter.
8.	Fernando P. Sitorus, Medis S. Surbakti	Studi Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik lalu lintas (Studi Kasus: Perlintasan Kereta Api Jalan Sisingamangaraja Medan)	Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan	Universitas Sumatera Utara	Jurnal	Jalan sisingamangaraja merupakan jalan 4 lajur 2 arah terbagi dengan kapasitas 2975 smp/jam per jalur. Dari hasil penelitian di lapangan pada jalur Jl. Pandu dan Jl. Cirebon ke Jl. Sisingamangaraja volume lalu lintas rata-rata per jam 1596 smp/jam dan pada jalur Jl. Sisingamangaraja ke Jl. Pandu volume lalu lintas rata-rata 626 smp/jam.

No.	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Publikasi Jurnal	Instansi	Jenis Karya Tulis	Hasil Penelitian
9.	Fahruc Zuhdi, Dwi Prasetyo	Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api Terhadap Tundaan dan Antrian di Jalan Braga	Teknik Sipil Itenas  No.x  Vol.xx, 2015	Institut Teknologi Nasional	Jurnal	Volume lalu lintas maksimum yang didapat pada saat pintu perlintasan kereta api tertutup di jalan Braga Bandung adalah 4200 smp/jam, pada saat tidak terganggu arus, yang didapat adalah 2631 smp/jam.
10.	Reza Mohajerpoor, Meead Saberi, Mohsen Ramezani	Delay Variability Optimization Using Shock Wave Theory At An Undersaturated Intersection (50-1)	50-1 (2017) 5289-5294	Monash University, Melbourne, Australia.	Journal	Signal optimization is one of the most crucial problems in the traffic flow theory. Delay at signalized intersections is the main component of travel time in urban transportation networks. This paper investigates an analytical approach based on the shockwave theory to estimate the delay of each vehicle joining the queue, and minimize the total delay and delay variability at an undersaturated intersection. The optimizations are carried out for an intersection with and without loss time and are formulated as convex programs.

2.18 Research GAP

No	Judul	Variabel								
		Volume ruas jalan	Arus bebas	Kapasitas	Derajat kejenuhan	Tingkat pelayanan	Pemodelan greenshield	Pemodelan greenberg	Pemodelan underwood	Gelombang kejut
1.	Analisis Tundaan, Antrian Dan Biaya Operasional Kendaraan Akibat Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api Pada Ruas Jalan Malang-Surabaya KM.10	✓		✓	✓	✓	✓			
2.	Analisis Panjang Antrian Akibat Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan)						✓	✓	✓	
3.	Perlintasan Kereta Api Terhadap Kinerja Jalan (Studi Kasus Pada Jalan W. R. Supratman Tangerang Selatan)	✓		✓	✓		✓		✓	
4.	Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Jalan Rel Terhadap Kinerja Lalu Lintas Jalan Raya (Studi Kasus: Jl. Maulana Hasanudin Tangerang)	✓		✓			✓		✓	
5.	Analisa Perbandingan Model Greenshield, Greenberg Dan Underwood Pada Dua Tipe Ruas Jalan Yang Berbeda Tingkat Kepadatannya Pada Jam Sibuk Di Kota Kendari								✓	✓
6.	Analisa Tundaan Pada Lalu Lintas Akibat Penutupan Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus: Jl. Kyai Haji Ahmad Dahlan – Jalan Alia Padang)	✓	✓	✓						✓
7.	Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penutupan Palang Pintu Kereta Api	✓	✓	✓						
8.	Studi Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik lalu lintas (Studi Kasus: Perlintasan Kereta Api Jalan Sisingsangaraja Medan)	✓	✓	✓				✓	✓	✓

9.	Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api Terhadap Tundaan dan Antrian di Jalan Braga	✓	✓														✓
10	Delay Variability Optimization Using Shock Wave Theory At An Undersaturated Intersection (50-1)	✓	✓		✓											✓	
11.	Analisis Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus Perlintasan Sebidang Jalan Jl. KH. Agus Salim Bekasi Timur)	✓	✓		✓		✓						✓				

