

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENYEMPITAN JALAN TERHADAP**

**KARAKTERISTIK LALU LINTAS JALAN**

**(STUDI KASUS: JL. P. KEMERDEKAAN DEKAT**

**M-TOS JEMBATAN TELLO)**



Oleh :

**ANDI FITRIANI S.**

**D111 08 259**

**JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2012**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENYEMPITAN JALAN TERHADAP**

**KARAKTERISTIK LALU LINTAS JALAN**

**(STUDI KASUS: JL. P. KEMERDEKAAN DEKAT**

**M-TOS JEMBATAN TELLO)**



Oleh :

**ANDI FITRIANI S.**

**D111 08 259**

**JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2012**

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kehadiran ALLAH SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah serta rezeki dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan judul ” **Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas Jalan (Studi Kasus: Jl. Perintis Kemerdekaan Depan M-Tos, Jembatan Tello)** ” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya terhadap seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, sebagai berikut :

1. ALLAH SWT dan Nabi Muhammad SAW yang menjadi pedoman dalam hidup dan membimbing secara lahir dan batin, sehingga penulis diridhoi dalam setiap langkah pada penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, A. Syukur M dan Andi Bunga yang selalu mendukung dan menjadi motivasi serta mendampingi penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh saudara-saudariku yang tersayang, M. Ichsan Nur, Marjulyanti, Alm. Irwansyah, A. Meriam, A. Purnama Sari, A. Alamsyah, A. Mappanyukki, dan A. Kartika Sari yang selalu memberikan doa dan dukungan.

4. Ir. Sakti Adji Adisasmita, Msi.M.Eng.SC.Ph.D, selaku pembimbing I dan Alm. Ir. H. Iskandar Renta, MT, selaku pembimbing II atas segala bantuan dan keikhlasannya untuk memberikan bimbingan, nasehat, dan saran-saran sedari awal hingga akhir dalam proses penulisan tugas akhir ini.
5. Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajaran stafnya yang selalu membimbing dan menasehati penulis sejak maba hingga saat ini.
6. Pembimbing Akademik, St. Hijraini Nur, ST, MT. yang selama ini terus membimbing dan mendidik dari awal perkuliahan hingga proses penulisan tugas akhir ini.
7. Seluruh saudara seangkatan Teknik khususnya 2008, dimana susah senang telah dijalani bersama dan sangat membantu selama perkuliahan dari maba hingga sekarang. Khususnya lagi, Febri, Muthiah, Rima, Ajin, Sartika, Niken, Alia, dan Tirzia.
8. Seluruh tim survei, saudara-saudariku 2008 yang tak bisa saya sebutkan satu per satu dan juga adik-adik angkatan 2011 yang bersedia menolong.
9. Seluruh peserta KKN Reguler Gel. 81, khususnya Desa Mangeloreng Kecamatan Bantimurung Kabupaten Maros ( Dhini, Awe, Ahmad, Niswar, kak Ardi, Gandhi, dan Arif) beserta bapak Dg. Ngunjung dan

ummi St. Nur Alam sekeluarga yang menjadi pengganti orangtua sekaligus keluarga kami selama masa-masa kuliah kerja nyata.

10. Seluruh senior dan anggota UKM – Bola Basket Unhas yang selalu berbagi, baik suka maupun duka dalam segala suasana.

11. Mulya Ashari M. yang selalu memberikan masukan dan dorongan yang membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

Dan seluruh pihak yang telah memberi bantuan dan *support* selama proses penyelesaian tugas akhir ini yang tak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini belum sempurna dan masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Namun demikian, penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanyalah milik ALLAH SWT.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan. Amin.

Makassar, Desember 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Umum.....	I-1
I.2 Latar Belakang Masalah.....	I-2
I.3 Maksud dan Tujuan.....	I-5
1.3.1. Maksud.....	I-5
1.3.2. Tujuan.....	I-5
I.4 Batasan Masalah.....	I-6
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	

II.1 Transportasi .....	II-1
2.1.1 Pengertian Transportasi.....	II-1
2.1.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas.....	II-2
2.1.3 Metode Survei Lalu Lintas.....	II-8
II.2 Penyempitan Jalan .....	II-9
II.3 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan.....	II-11
2.3.1 Hubungan antara Volume-Kecepatan.....	II-13
2.3.2 Hubungan antara Kecepatan-Kerapatan.....	II-14
2.3.3 Hubungan antara Volume-Kerapatan.....	II-15
2.3.4 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan.....	II-15
II.4 Model Hubungan Karakteristik Lalu Lintas.....	II-18
2.4.1 Model <i>Greenshield</i> .....	II-18
2.4.2 Model Linier Menurut <i>Greenberg</i> .....	II-20
2.4.3 Model Linier Menurut <i>Underwood</i> .....	II-22
II.5 Pengujian Statistik.....	II-23
2.5.1 Analisa Regresi Linier.....	II-23
2.5.2 Analisa Korelasi.....	II-24

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

III.1 Alur Kegiatan.....	III-1
III.2 Survei Pendahuluan.....	III-2
III.3 Metodologi Pengambilan Data.....	III-2
3.3.1 Kebutuhan Peralatan.....	III-2
3.3.2 Periode Pengamatan.....	III-3
3.3.3 Macam dan Banyaknya Data.....	III-3
III.4 Data-data yang Diperlukan .....	III-4
III.5 Teknik Pelaksanaan Pengambilan Data Lapangan.....	III-4
3.5.1 Data Volume Lalu Lintas.....	III-4
3.5.2 Data Kecepatan Kendaraan.....	III-6
3.5.3 Data Kondisi Geometrik Jalan.....	III-8
III.6 Pengolahan Data.....	III-8
3.6.1 Volume.....	III-8
3.6.2 Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata Ruang.....	III-9
3.6.3 Kondisi Geometrik Jalan.....	III-9
III.7 Metodologi Analisa Data.....	III-9

3.7.1 Perhitungan Volume Lalu Lintas.....	III-9
3.7.2 Perhitungan Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata.....	III-10
3.7.3 Perhitungan Kerapatan Lalu Lintas.....	III-10
3.7.4 Perhitungan Model Hubungan Volume,Kecepatan dan Kerapatan.....	III-11

## **BAB IV PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA**

IV.1 Ruas Jalan.....	IV-1
IV.2 Volume Lalu Lintas.....	IV-2
IV.3 Kecepatan Kendaraan.....	IV-3
IV.4 Contoh Pengolahan Data.....	IV-3
4.4.1 Volume Arus Lalu Lintas.....	IV-3
4.4.2 Kecepatan Lalu Lintas.....	IV-10
4.4.3 Kepadatan Lalu Lintas.....	IV-12
4.4.4 Kapasitas Jalan.....	IV-14
IV.5 Model Hubungan Karakteristik Lalu Lintas.....	IV-15
4.5.1 Model Hubungan V-S.....	IV-15
4.5.2 Model Hubungan V-D.....	IV-17
4.5.3 Model Hubungan S-D.....	IV-19

4.5.4 Pemilihan Model Yang Sesuai..... IV-21

4.5.5 Persamaan Hubungan Antara Variabel Volume, Kecepatan  
dan Kerapatan..... IV-23

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

V.1 Kesimpulan..... V-1

V.2 Saran..... V-2

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan.....	II-12
Gambar 2.2 Hubungan Volume –Kecepatan.....	II-13
Gambar 2.3 Hubungan antara Kecepatan– Kerapatan.....	II-14
Gambar 2.4 Hubungan Volume–Kerapatan.....	II-15
Gambar 3.1 Bagan Alur Kegiatan .....	III-1
Gambar 4.1 Denah Lokasi Penelitian.....	IV-2
Gambar 4.2 Foto Udara Lokasi Survei.....	IV-4
Gambar 4.3 Grafik Nilai Volume Rata-rata Titik I per jam.....	IV-7
Gambar 4.4 Grafik Nilai Volume Rata-rata Titik II per jam.....	IV-8
Gambar 4.5 Grafik Nilai Volume Puncak Titik I.....	IV-9
Gambar 4.6 Grafik Nilai Volume Puncak Titik II.....	IV-9
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kecepatan Rata-rata .....	IV-11
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kepadatan Rata-rata.....	IV-13
Gambar 4.9 Grafik Hubungan V-S Bagian Jalan Menyempit.....	IV-16
Gambar 4.10 Grafik Hubungan V-S Bagian Jalan Normal.....	IV-17
Gambar 4.11 Grafik Hubungan V-D Bagian Jalan Menyempit.....	IV-18
Gambar 4.12 Grafik Hubungan V-D Bagian Jalan Normal .....	IV-19
Gambar 4.13 Grafik Hubungan S-D Bagian Jalan Menyempit.....	IV-20
Gambar 4.14 Grafik Hubungan S-D Bagian Jalan Normal.....	IV-21

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Daftar Konversi Kendaraan ke SMP.....	II-7
Tabel 3.1	Rekomendasi Panjang Penggal Jalan Pengamatan.....	III-7
Tabel 4.1	Ringkasan hasil perhitungan Volume lalu lintas pada Lokasi Survei I / bagian jalan Menyempit .....	IV-4
Tabel 4.2	Ringkasan hasil perhitungan Volume lalu lintas pada Lokasi Survei II / bagian jalan Normal .....	IV-5
Tabel 4.3	Ringkasan Hasil Perhitungan Kecepatan Kendaraan pada Penyempitan Jalan .....	IV-10
Tabel 4.4	Ringkasan Hasil Perhitungan Kecepatan Kendaraan pada Jalan Normal.....	IV-11
Tabel 4.5	Nilai Kepadatan Lalu Lintas Pada Penyempitan Jalan.....	IV-12
Tabel 4.6	Nilai Kepadatan Lalu Lintas Pada Jalan Normal .....	IV-13
Tabel 4.7	Kapasitas Jalan Perintis Kemerdekaan.....	IV-14
Tabel 4.8	Nilai Derajat Kejenuhan (DS) Jalan Menyempit.....	IV-14
Tabel 4.9	Nilai Derajat Kejenuhan (DS) Jalan Normal.....	IV-15
Tabel 4.10	Model Hubungan V-S Bagian Jalan Menyempit.....	IV-16

Tabel 4.11	Model Hubungan V-S Bagian Jalan Normal.....	IV-16
Tabel 4.12	Model Hubungan V-D Bagian Jalan Menyempit.....	IV-18
Tabel 4.13	Model Hubungan V-D Bagian Jalan Normal .....	IV-18
Tabel 4.14	Model Hubungan S-D Bagian Jalan Menyempit.....	IV-19
Tabel 4.15	Model Hubungan S-D Bagian Jalan Normal.....	IV-20
Tabel 4.16	Parameter Statistik Model Hubungan V,S, dan D pada Jl.P.Kemerdekaan (Penyempitan Jalan) .....	IV-22
Tabel 4.17	Parameter Statistik Model Hubungan V,S, dan D pada Jl.P.Kemerdekaan (Jalan Normal) .....	IV-22

## DAFTAR NOTASI

V	=	volume kendaraan (smp/jam atau kend/jam)
S	=	kecepatan kendaraan (km/jam)
D	=	kepadatan Kendaraan (smp/km atau kend/km)
t	=	waktu tempuh kendaraan
C	=	kapasitas kendaraan
C <sub>o</sub>	=	Kapasitas Dasar
HV	=	Kendaraan Berat
LV	=	Kendaraan Ringan
MC	=	Sepeda Motor
UM	=	Kendaraan Tidak Bermotor
FC <sub>w</sub>	=	Faktor Penyesuaian Lebar Jalan Lalu Lintas
FC <sub>cs</sub>	=	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota
FC <sub>sf</sub>	=	Faktor Penyesuaian Hambatan Samping
FC <sub>sp</sub>	=	Faktor Penyesuaian Pemisah Arah

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I. 1. Umum**

Kegiatan transportasi adalah kegiatan sehari-hari yang dilakukan dalam rangka pelaksanaan kegiatan sosial ekonomi masyarakat seperti bekerja, sekolah, berbelanja, rekreasi, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, maka hambatan pada sektor transportasi akan otomatis menghambat kegiatan sosial ekonomi masyarakat. Permasalahan Transportasi juga merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh negara-negara yang telah maju dan juga oleh negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, baik dibidang Transportasi perkotaan (*Urban Transportation*) maupun transportasi antar kota (*Rural Transportation*). Terciptanya suatu sistem transportasi yang menjamin pergerakan manusia, kendaraan dan atau barang secara lancar, aman, cepat, murah, nyaman dan sesuai dengan lingkungan sudah merupakan tujuan pembangunan dalam sektor transportasi.

Semakin berkembangnya dunia transportasi, baik struktur maupun infrastruktur mengakibatkan perilaku lalu lintaspun berubah. Salah satunya terjadi peningkatan dalam volume lalu lintas. Secara teoritis, terdapat hubungan yang mendasar antara volume (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*). Makassar sebagai salah satu kota besar di Indonesia yang juga disebut sebagai *Centre Point of Indonesia* sedang marak melakukan pembangunan di segala bidang. Segala kegiatan pemerintahan, perindustrian, pendidikan, dan hal lain

yang berkembang sedemikian besarnya menuntut tersedianya sarana dan prasarana transportasi yang dikatakan sebagai tulang punggung pertumbuhan ekonomi dan daerah dengan menata sistem transportasi sedemikian rupa pada sebuah kota metropolitan. Dengan semakin pesatnya perkembangan kegiatan tersebut, maka akan semakin bertambah pula intensitas pergerakan arus yang menyebabkan ketidakseimbangan antara volume distribusi lalu lintas dengan kapasitas jalan itu sendiri.

Salah satu permasalahan kondisi lalu lintas yang akan dijadikan bahan penelitian di sini adalah masalah penyempitan jalan pada ruas jalan yang padat arus lalu lintasnya. Penyempitan jalan ini akan mengakibatkan kendaraan yang memasuki daerah penyempitan harus mengurangi kecepatannya dan kerapatan akan semakin meningkat, bahkan terjadi antrian kendaraan.

## **I.2. Latar Belakang Masalah**

Permasalahan yang sering dihadapi oleh Negara-negara yang telah maju dan juga oleh Negara yang sedang berkembang seperti Indonesia adalah Permasalahan Transportasi. Adapun tujuan dari sektor transportasi ini adalah terciptanya suatu system transportasi yang menjamin dan mendukung pergerakan manusia, kendaraan dan atau barang secara lancar, aman, cepat, murah, nyaman, dan sesuai lingkungan.

Menurut *C. Jotin Khisty dan B. Kent Lall* terdapat tiga variable utama dan dua variable tambahan yang digunakan untuk menjelaskan arus lalu lintas dan karakteristik lalu lintas, yakni kecepatan ( $S$ ), volume ( $V$ ), dan kepadatan ( $D$ ).

1. *Kecepatan* didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, seperti jarak persatuan waktu, umumnya dalam mil/jam. Karena begitu beragamnya kecepatan individual di dalam arus lalu lintas, maka kita biasanya menggunakan arus lalu lintas.
2. *Volume* dan tingkat arus. *Volume* adalah jumlah sebenarnya dari kendaraan yang diamati atau diperkirakan melalui suatu titik selama rentang waktu tertentu. Sedangkan *tingkat arus (rate flow)* adalah jumlah kendaraan yang melauai suatu titik kurang dari satu jam, tetapi diekivalenkan ketinggian rata-rata perjam.
3. *Kepadatan (density) atau konsentrasi* didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau jalan, dirata-ratakan terhadap waktu, biasanya dinyatakan dengan kendaraan per mil.

Adapun variabel tambahan tersebut antara lain :

1. *Spacing* dan *headway* adalah dua karakteristik tambahan dari arus lalu lintas. *Spacing (s)* didefinisikan sebagai jarak antara dua kendaraan yang berurutan di dalam suatu aliran lalu lintas yang diukur dari bumper depan satu kendaraan ke bumper depan kendaraan yang di belakangnya. *Headway* adalah waktu antara dua kendaraan yang berurutan ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan.
2. *Lane Occupancy* (tingkat hunian lajur) adalah salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol.

Adapun permasalahan yang turut memperburuk kondisi lalu lintas yang akan dijadikan bahan penelitian pada tugas akhir ini adalah masalah penyempitan jalan yang memiliki arus lalu lintas yang padat. Menurut *Yupiter Indrajaya, 2003*. Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kondisi kapasitas lalu lintas sesudahnya lebih kecil dari bagian masuk. Kondisi jalan seperti ini dapat terjadi misalnya pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang menyebabkan sebagian jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan atau kondisi lainnya, yang menyebabkan perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas menjadi terganggu sehingga terjadi penurunan kecepatan dan bertambahnya kerapatan antar kendaraan. Pengaruh penyempitan jalan ini tidak berarti sama sekali apabila arus lalu-lintas (*demand*) lebih kecil dari pada daya tampung atau kapasitas jalan (*supply*) pada daerah penyempitan sehingga arus lalu lintas dapat terlewatkan dengan mudah tanpa ada hambatan.

Fenomena penyempitan jalan pada periode waktu yang relatif lama sering di alami dalam kegiatan lalu lintas. Menurut *Endang Widjajanti, 2009*. Penyempitan ruas jalan adalah suatu segmen sebagai bagian dari ruas jalan yang ditutup pada sebagian lebar jalannya. Penyempitan ruas jalan dapat disebabkan oleh beberapa aktivitas yang terjadi di jalan, misalnya adanya pekerjaan di jalan, di jembatan, terjadinya kecelakaan dan insiden. Penyempitan ruas jalan akan menimbulkan hambatan dalam lalu lintas, yaitu terjadinya penurunan kecepatan dan timbulnya antrian kendaraan.

Pada ruas Jalan Perintis Kemerdekaan (Depan M-Tos, Jembatan Tello), secara visual terlihat adanya penyempitan jalan yang mengakibatkan

berkurangnya kemampuan jalan menampung volume lalu lintas yang melaluinya. Lokasi studi penelitian ini terletak pada jalur dengan medan topografi datar, *pengaruh gangguan samping relatif kecil atau hampir tidak ada*, serta kondisi perkerasan relatif baik, sehingga pengaruh lalu lintas yang terjadi murni karena adanya penyempitan jalan.

### **I.3. Maksud dan Tujuan**

#### **A. Maksud**

Maksud dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penyempitan jalan terhadap karakteristik lalu lintas, seperti: volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas pada lokasi studi.

#### **B. Tujuan**

Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hubungan antara volume, kecepatan (*speed*), dan kerapatan (*density*) lalu lintas akibat terjadinya penyempitan jalan pada lokasi studi dengan menggunakan pendekatan:
  - a. Model Linear *Greenshield*
  - b. Model Logaritmik *Greenberg*
  - c. Model Eksponensial *Underwood*
2. Mengetahui nilai kerapatan maksimum pada ruas jalan normal dan ruas jalan yang mengalami penyempitan pada lokasi studi

#### **I.4. Batasan Masalah**

Mengingat adanya keterbatasan waktu, tenaga, serta biaya, maka ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh :

1. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada satu lokasi studi yakni pada ruas Jalan Perintis Kemerdekaan (Depan M-Tos, Jembatan Tello).
2. Analisis hubungan antara volume, kecepatan (*speed*), dan kerapatan (*density*) lalu lintas dengan menggunakan model pendekatan yaitu model Linier *Greenshields*, model Logaritmik *Greenberg*, dan model Eksponensial *Underwood*.
3. Perhitungan volume lalu lintas dengan cara manual. Dengan cara melakukan survei kendaraan berupa survei lalu lintas dan waktu tempuh dengan bantuan formulir isian.
4. Survei hanya dilakukan pada jam-jam puncak, yaitu :
  - Pagi hari pukul 07.00 - 09.00 WITA
  - Siang hari pukul 11.00 - 13.00 WITA
  - Sore hari pukul 16.00 - 18.00 WITA
5. Untuk mengefisienkan dan mengefektifkan biaya dan waktu, Penulis melakukan survei selama 7 hari / satu minggu, dimana hari-hari tersebut mewakili hari lainnya.

#### **I.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Tugas Akhir (Skripsi) ini adalah sebagai berikut :

## BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas mengenai latar belakang, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dibahas mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah-masalah yang ada.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan membahas kerangka pikir dan prosedur-prosedur dari pemecahan masalah.

## BAB IV PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA

Dalam bab ini akan dilakukan prosedur pengolahan data dan kemudian menganalisa semua data yang telah diperoleh.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan diambil kesimpulan mengenai hasil pengolahan data dan analisa serta saran-saran yang bermanfaat selama penelitian berlangsung.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Sistem Transportasi**

##### **2.1.1 Pengertian**

Sistem adalah suatu bentuk keterkaitan dan keterkaitan antara suatu variabel dengan variabel lainnya dalam tatanan yang terstruktur, sedangkan transportasi itu sendiri adalah kegiatan pemindahan barang-barang/penumpang dari suatu tempat ke tempat lain. Dari dua pengertian di atas, sistem transportasi dapat diartikan sebagai bentuk keterkaitan dan keterikatan yang integral antara berbagai variabel dalam suatu kegiatan pemindahan penumpang dan atau barang dari suatu tempat ke tempat lain (*Munawar, 2005*).

Bentuk fisik dari sistem transportasi tersusun atas 4 (empat) elemen dasar, yaitu : (*Khisty and Lall, 2003*)

1. *Sarana Perhubungan (link)* : jalan raya atau jalur yang menghubungkan dua titik atau lebih pipa, jalur darat, jalur laut, dan jalur penerbangan juga dapat dikategorikan sebagai sarana perhubungan.
2. *Kendaraan* : alat yang memindahkan manusia dan barang dari satu titik ke titik lainnya di sepanjang sarana perhubungan.
3. *Terminal* : Titik dimana perjalanan dari orang atau barang dimulai atau berakhir.

Contoh : terminal bis, bandara udara, pelabuhan, garasi mobil, lapangan parker, dan gudang bongkar muat.

4. *Manajemen dan tenaga kerja* : Orang-orang yang membuat, mengoperasikan, mengatur, dan memelihara sarana perhubungan, kendaraan, dan terminal.

Keempat elemen di atas berinteraksi dengan manusia, sebagai pengguna maupun non-pengguna sistem dan berinteraksi pula dengan lingkungan.

Pada dasarnya sistem transportasi terdiri dari prasarana, kebutuhan pergerakan, dan lalu lintas yang saling memiliki ikatan satu sama lain. Lalu lintas terbentuk sebagai hasil interaksi antara ketersediaan prasarana (*transport supply*) dan kebutuhan akan pergerakan (*transport demand*) (Novrizal, 2010).

### **2.1.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas**

Arus lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengemudi dan kendaraan yang melakukan interaksi antara yang satu dengan yang lainnya pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Karena persepsi dan kemampuan individu pengemudi mempunyai sifat yang berbeda maka perilaku kendaraan arus lalu lintas tidak dapat diseragamkan lebih lanjut, arus lalu lintas akan mengalami perbedaan karakteristik akibat dari perilaku pengemudi yang berbeda yang dikarenakan oleh karakteristik lokal dan kebiasaan pengemudi. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasar lokasi maupun waktunya. Oleh karena itu perilaku pengemudi akan berpengaruh terhadap perilaku arus lalu lintas.

Dalam menggambarkan arus lalu lintas secara kuantitatif dalam rangka untuk mengerti tentang keragaman karakteristiknya dan rentang kondisi perilakunya, maka perlu suatu parameter. Parameter tersebut harus dapat didefinisikan dan diukur oleh insinyur lalu lintas dalam menganalisis, mengevaluasi, dan melakukan perbaikan fasilitas lalu lintas berdasarkan parameter dan pengetahuan pelakunya.

### **2.1.2.1 Parameter yang Berhubungan dengan Karakteristik Arus Lalu Lintas**

Terdapat 8 (delapan) variabel atau ukuran dasar yang digunakan untuk menjelaskan karakteristik arus lalu lintas. Tiga variabel utama (makroskopis) adalah kecepatan ( $S$ ), volume ( $v$ ), dan kepadatan/*density* ( $d$ ). Tiga variabel lain (mikroskopis) yang digunakan dalam analisis arus lalu lintas adalah *headway* ( $h$ ), *spacing* ( $s$ ), dan *lane occupancy* ( $R$ ). Serta dua parameter lain yang berhubungan dengan *spacing* dan *headway* yaitu, *clearance* ( $c$ ) dan *gap* ( $g$ ). (**Khisty, 2003**)

#### 1. Kecepatan ( $S$ )

Kecepatan didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Karena begitu beragamnya kecepatan di dalam aliran lalu lintas, misalnya kecepatan titik, kecepatan perjalanan, kecepatan ruang dan kecepatan gerak, maka biasanya digunakan kecepatan rata-rata.

## 2. Volume ( $V$ )

Volume merupakan jumlah dari kendaraan yang diamati atau diperkirakan yang melewati suatu titik tertentu selama rentang waktu tertentu.

## 3. Kepadatan ( $D$ )

Kepadatan atau *density* (konsentrasi didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau jalan, dirata-ratakan terhadap waktu. Secara umum, kepadatan digambarkan dalam kendaraan/kilometer.

## 4. *Spacing* ( $s$ ) dan *headway* ( $h$ )

Merupakan karakteristik tambahan dari arus lalu lintas. *Spacing* didefinisikan sebagai jarak antara dua kendaraan yang berurutan di dalam suatu aliran lalu lintas yang diukur dari bumper depan satu ke bumper depan kendaraan di belakangnya. *Headway* adalah waktu antara dua kendaraan yang berurutan ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan. Baik *spacing* maupun *headway* berhubungan erat dengan kecepatan, volume, dan kepadatan.

## 5. *Lane Occupancy* ( $R$ )

*Lane Occupancy* (tingkat hunian lajur) adalah salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol. *Lane Occupancy* dapat juga

dinyatakan sebagai perbandingan waktu ketika kendaraan ada di lokasi pengamatan pada lajur lalu lintas terhadap waktu pengambilan sampel.

#### 6. *Clearance (c) dan Gap (g)*

*Clearance* dan *Gap* berhubungan dengan *spacing* dan *headway*, dimana selisih antara *spacing* dan *clearance* adalah panjang rata-rata kendaraan. Demikian pula, selisih antara *headway* dan *gap* adalah ekuivalen waktu dari panjang rata-rata sebuah kendaraan.

### **2.1.2.2 Pengelompokan Jenis Kendaraan**

Dalam pembahasan mengenai jalan bebas hambatan, jalan dalam kota maupun jalan antar kota sesuai dengan tata cara pelaksanaan survei dan perhitungan lalu lintas disebutkan bahwa jumlah kendaraan yang diambil dalam penelitian ini adalah seluruh kendaraan yang lewat. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui titik tertentu per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam atau smp/jam, arus lalu lintas perkotaan tersebut terbagi menjadi empat (4) jenis, yaitu :

#### a) Kendaraan ringan / *Light Vehicle (LV)*

Meliputi kendaraan bermotor 2 as beroda empat dengan jarak as 2.0 – 3.0 m ( termasuk mobil penumpang, mikrobis, *pick-up*, truk kecil, sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

b) Kendaraan berat / *Heavy Vehicle* (HV)

Kendaraan berat/ *Heavy Vehicle* (HV) Meliputi kendaraan motor dengan jarak as lebih dari 3.5 m biasanya beroda lebih dari empat (termasuk bis, truk 2 as, truk tiga as, dan truk kombinasi).

c) Sepeda Motor / *Motorcycle* (MC)

Meliputi kendaraan bermotor roda 2 atau tiga (termasuk sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga)

d) Kendaraan Tidak Bermotor / *Un Motorized* (UM)

Meliputi kendaraan beroda yang menggunakan tenaga manusia, hewan, dan lain-lain (termasuk becak,sepeda,kereta kuda,kereta dorong dan lain-lain sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

### **2.1.2.3 Faktor Konversi Kendaraan**

Data hasil survei yang dilakukan di lapangan merupakan jumlah dan waktu tempuh kendaraan yang bermacam-macam jenisnya, maka data tersebut haruslah dinyatakan dalam satuan yang sama. Oleh karena itu, dilakukan suatu proses pengubahan satuan atau yang disebut dengan proses pengkonversian menjadi satu satuan yang sama. Satuan dasar yang digunakan adalah Satuan Mobil Penumpang (smp). Menurut Manual Kapasitas Jalan Raya Indonesia (MKJI) Tahun 1997 yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Marga dijelaskan pengertian dasar dari satuan mobil penumpang (smp) yaitu sebuah besaran yang menyatakan ekivalensi pengaruh suatu tipe kendaraan dibandingkan terhadap arus lalu lintas secara

keseluruhan. Dengan besaran/satuan ini kita dapat menilai setiap komposisi lalu lintas. Satuan mobil penumpang (smp) untuk masing-masing kendaraan tergantung pada tipe jalan dan arus lalu lintas total yang dinyatakan dalam smp/jam.

Tabel 2.1. Daftar Konversi Kendaraan ke Satuan Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	Satuan Mobil Penumpang
Mobil penumpang/Jeep	1,0
Taksi	1,0
Pick up/ mobil barang ringan	1,0
Bis besar / tingkat	1,8
Bis kecil	1,3
Mobil barang (>2,5 ton)	1,5
Gandengan / trailer	2,5
Bemo / bajaj	0,8
Sepeda motor	0,2
Sepeda	0,2
Becak	0,5
Dokar / bendi	1,8

*Sumber : Buku Rekayasa Lalu Lintas,hal.127*

### 2.1.3 Metode Survei Lalu Lintas

Teknik lalu lintas telah berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi, demikian pula halnya dengan pengumpulan data-data lalu lintas. Data mengenai lalu lintas diperlukan untuk berbagai kebutuhan perencanaan transportasi. Untuk dapat melakukan survei secara efisien maka maksud dan tujuan survei haruslah jelas dan biasanya metode survei ditetapkan sesuai dengan tujuan, waktu, dana dan peralatan yang tersedia.

Survei lalu lintas dilakukan dengan cara menghitung jumlah lalu lintas kendaraan yang lewat di depan suatu pos survei pada ruas jalan yang ditetapkan. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara manual (mencatat dengan tangan/menggunakan kamera). Objek yang disurvei dalam perhitungan lalu lintas meliputi :

- a. Jumlah kendaraan yang lewat (volume) dalam satuan waktu (menit, jam, hari dan seterusnya)
- b. Kecepatan kendaraan baik kecepatan sesaat (*spot speed*) atau kecepatan perjalanan, kecepatan gerak atau kecepatan rata-rata.
- c. Kepadatan arus lalu lintas (*traffic density*)
- d. Waktu antara (*headway*), waktu ruang dan waktu rata-rata.

Pengambilan data lapangan dalam analisis penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data jumlah/volume dan waktu tempuh kendaraan. Pengambilan

data jumlah volume dilakukan pada jam sibuk (*peak hour*) pada hari-hari yang mewakili volume lalu lintas dalam seminggu.

### **2.1.3.1 Metode Survei Jumlah Kendaraan**

Survei jumlah kendaraan dilakukan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tinjau dalam interval waktu tertentu di jalan untuk masing-masing jenis kendaraan. Metode survei kendaraan dapat dilakukan dengan metode :

1. *Manual count*

*Manual count* adalah pencatatan jumlah kendaraan yang paling sederhana dengan menggunakan tenaga manusia. Pencatatan dilakukan pada kertas formulir, tiap kali sebuah kendaraan lewat dicatat pada kertas formulir. Pencatatan juga dapat dilakukan dengan alat *counter*.

## **II.2 Penyempitan Jalan**

Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kapasitas arus lalu lintas yang lebih kecil daripada kondisi bagian jalan sebelumnya (*upstream*). Kondisi seperti ini dapat terjadi misalnya pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang mengakibatkan sebagian lebar jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan atau kondisi lainnya, yang menyebabkan terjadinya perubahan perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas (*uninterrupted flow*) menjadi terganggu (*interrupted flow*) sehingga terjadi penurunan kecepatan, dan bertambahnya kerapatan antar kendaraan (Yupiter, 2002).

Sebagai perumpamaan, kondisi ini terjadi pada satu ruas jalan dengan lebar 2 lajur yang dilewati kendaraan pada kondisi kapasitas ideal kemudian secara tiba-tiba terjadi penyimpangan menjadi 1 lajur, maka pada saat memasuki lajur yang menyempit ini arus lalu lintas mengalami penambahan kerapatan akibat daya tampung jalan berkurang. Terjadinya arus lalu lintas yang akan melebihi kapasitas jalan akan mengakibatkan penurunan terhadap kecepatan, bertambahnya kerapatan, penurunan arus lalu lintas serta terjadi antrian.

Sebaliknya, pada kondisi pelebaran jalan akan terjadi kapasitas arus lalu lintas yang lebih besar daripada kondisi bagian jalan sebelumnya (*upstream*). Pada kondisi ini akan mengalami pengurangan kerapatan akibat daya tampung jalan bertambah. Dengan demikian, arus lalu lintas akan lebih kecil daripada kapasitas jalan yang berakibat terjadinya kenaikan terhadap kecepatan, berkurangnya kerapatan dan penambahan arus lalu lintas.

Kendaraan yang memasuki daerah penyempitan jalan dipaksa untuk mengurangi kecepatan dan karena daya tampung jalan pada daerah penyempitan ini lebih kecil daripada sebelumnya, maka kendaraan akan membelok dari daerah penyempitan itu hingga panjang tertentu ke arah datangnya kendaraan. Pengaruh penyempitan jalan tidak akan berarti sama sekali apabila arus lalu lintas (*demand*) lebih kecil dari pada daya tampung atau kapasitas jalan (*supply*) pada daerah penyempitan sehingga arus lalu lintas dapat dilewati dengan mudah tanpa hambatan yang berarti. Salah satu contoh, terdapat kondisi jalan pada arus bebas terdiri dari 2 lajur mengalami penyempitan menjadi satu lajur. Arus lalu lintas akan mengalami hambatan jika *demand* sebesar 2 lajur, namun pada waktu

tertentu saat *demand* yang terjadi kurang dari 1 lajur pengaruh penyempitan jalan tidak berarti bagi arus lalu lintas yang sedang melaluinya.

### II.3 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan

Tiga variabel utama (makroskopis) dalam aliran arus lalu lintas yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas adalah volume, kecepatan, dan kerapatan.

1. Volume (*flow*) merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada suatu ruas jalan per satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam kendaraan/jam.
2. Kecepatan (*speed*) adalah tingkat gerakan di dalam suatu jarak tertentu dalam satu satuan waktu yang dinyatakan dengan kilometer/jam.
3. Kerapatan/ kepadatan (*density*) merupakan jumlah kendaraan yang menempati suatu ruas/segmen jalan tertentu yang dinyatakan dalam kendaraan/kilometer.

Hubungan anatara ketiga parameter tersebut selanjutnya dapat dinyatakan dalam hubungan sistematis sebagai berikut :

$$q = k \cdot \bar{U}_s \quad (2.1)$$

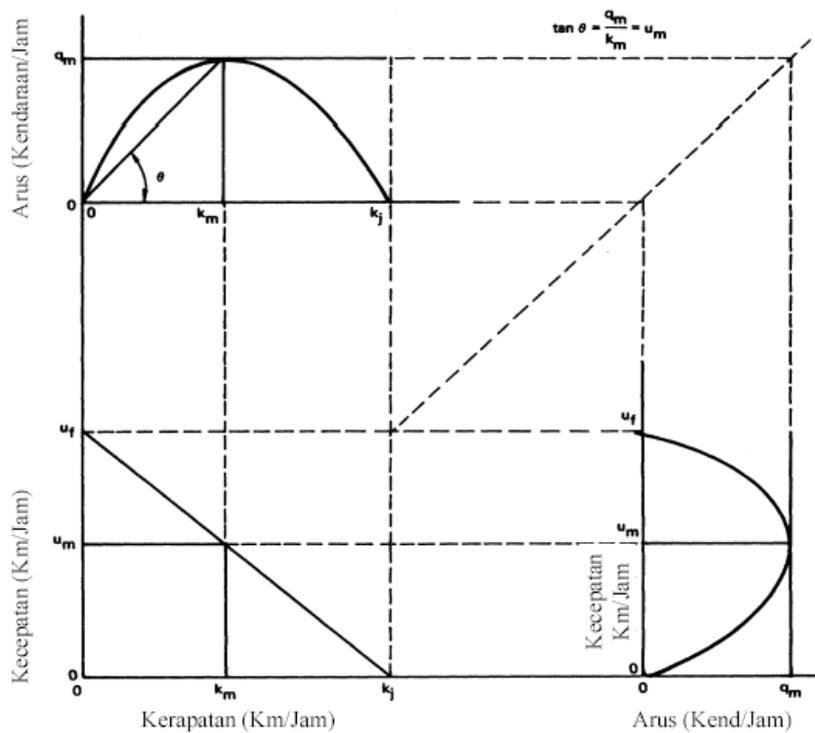
Dimana :  $q$  = volume (kendaraan/jam)

$k$  = kerapatan (kendaraan/km)

$\bar{U}_s$  = kecepatan (km/jam)

Persamaan di atas hanya berlaku untuk arus lalu lintas tak terganggu, dimana setiap arus bergerak secara bebas tidak ada pengaruh dari luar. Contoh aliran ini dapat dilihat pada arus lalu lintas jalan utama dari jalan bebas hambatan.

Hubungan dari ketiga parameter tersebut menggambarkan tentang aliran lalu lintas yang tak terinterupsi (*uninterrupted traffic stream*) dimana volume merupakan hasil dari kecepatan dan kerapatan. Sementara itu hubungan tersebut untuk lalu lintas yang stabil, kombinasi variable yang menghasilkan hubungan dua dimensi.



Gambar 2.1 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan

Keterangan :

$q_m$  = kapasitas, arus maksimum (kendaraan/jam)

$u_m$  = kecepatan kritis, kecepatan pada saat mencapai kapasitas (km/jam)

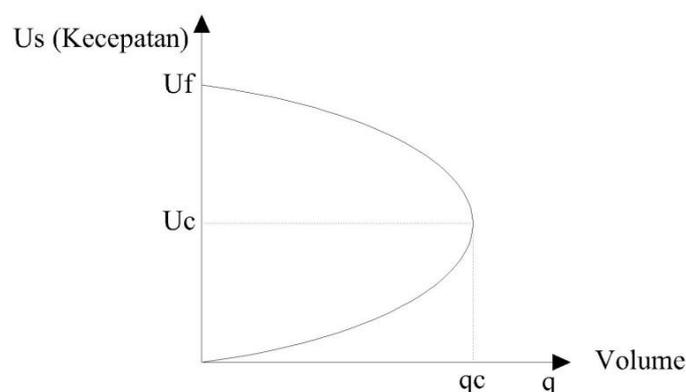
$k_m$  = kerapatan kritis, kerapatan pada saat mencapai kapasitas (kend/jam)

$k_j$  =kerapatan macet, keadaan untuk semua kendaraan berhenti (kend/jam)

$u_f$  = kecepatan teoritis untuk lalu lintas ketika kerapatannya nol (km/jam)

Perlu diketahui arus “nol” (tidak ada arus) terjadi dalam 2 (dua) kondisi. Ketika tidak ada kendaraan di jalan raya berarti kepadatannya nol, dimana kecepatan teoritis didasarkan pada “kecepatan arus bebas” (*free flow speed*) yang merupakan kecepatan tertinggi bagi kendaraan yang sendirian. Namun demikian arus “nol” juga terjadi ketika kepadatan begitu tinggi sehingga kendaraan yang akan bergerak harus berhenti sehingga terjadi kemacetan lalu lintas yang disebut dengan istilah *traffic jam*. Pada kondisi ini semua kendaraan berhenti sehingga tidak ada kendaraan yang lewat pada suatu ruas jalan tersebut.

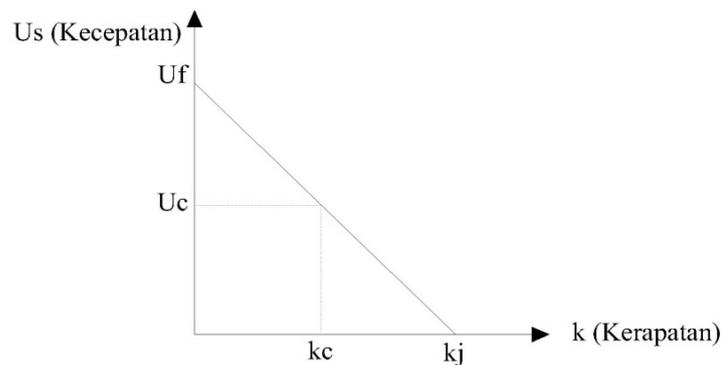
### 2.3.1 Hubungan antara Volume ( $q$ ) – Kecepatan ( $\bar{U}_s$ )



Gambar 2.2 Hubungan Volume ( $q$ ) – Kecepatan ( $\bar{U}_s$ )

Dari kurva di atas, terlihat bahwa hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis (volume maksimum) tercapai. Setelah kepadatan kritis tercapai maka kecepatan rata-rata ruang dan volume yang akan berkurang. Jadi kurva ini menggambarkan kondisi yang berbeda dimana lengan atas untuk stabil sedangkan lengan bawah menunjukkan kondisi lalu lintas yang padat.

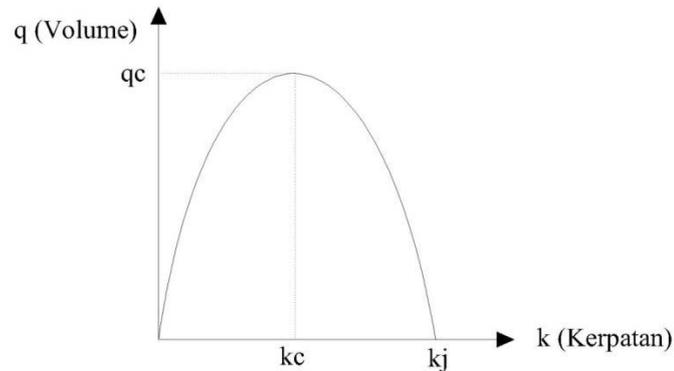
### 2.3.2 Hubungan antara Kecepatan ( $\bar{U}_s$ ) – Kepadatan ( $k$ )



Gambar 2.3 Hubungan antara Kecepatan ( $\bar{U}_s$ ) – Kepadatan ( $k$ )

Kurva ini merupakan diagram yang menjadi dasar penggambaran *performance* aliran lalu lintas, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (2.1). dari kurva terlihat bahwa kecepatan akan menurun apabila kepadatan bertambah. Kecepatan arus bebas ( $\bar{U}_f$ ) akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol sedangkan pada saat kecepatan sama dengan nol maka terjadi kemacetan (*jam density*).

### 2.3.3 Hubungan antara Volume ( $q$ ) – Kerapatan ( $k$ )



Gambar 2.4 Hubungan Volume ( $q$ ) – Kerapatan ( $k$ )

Dari kurva akan terlihat bahwa kerapatan akan bertambah apabila volumenya juga bertambah. Volume maksimum ( $q_c$ ) terjadi pada saat kerapatan mencapai titik  $k_c$  (kapasitas jalur jalan sudah tercapai). Setelah mencapai titik ini volume akan menurun walaupun kerapatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik  $k_j$ .

### 2.3.4 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

#### 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. Perhitungan Kecepatan

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

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \quad (2.2)$$

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. *Space-mean speed* ( $\bar{U}_s$ ), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- b. *Time-mean speed* ( $\bar{U}_t$ ) *Space-mean speed* dan *time-mean speed* dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut rumus berikut :

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=2}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad (2.3)$$

$$\bar{U}_t = \frac{x.n}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad \text{atau} \quad \bar{U}_t = \frac{x.n}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.4)$$

Dimana :

$\bar{U}_t$  = *time-mean speed* (km/jam)

$\bar{U}_s$  = *space-mean speed* (km/jam)

x = jarak tempuh (km)

t<sub>i</sub> = waktu tempuh kendaraan (jam)

n = jumlah kendaraan yang diamati

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Disebabkan karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang 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 persamaan berikut :

$$U_s = U_t - \sigma_t^2 / U_t \quad (2.5)$$

Dimana :

$\sigma_t$  = deviasi standar dari kecepatan setempat.

### 3. Perhitungan Kerapatan / Kepadatan

Kerapatan / kepadatan 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 kendaraan telah diperoleh sebelumnya.

## II. 4 Model Hubungan Karakteristik Arus Lalu Lintas

Studi hubungan arus lalu lintas telah banyak dilakukan oleh para ahli transportasi. Hasil studi ini dituangkan dalam model matematis. Beberapa model yang dikenal antara lain : model *Greenshield*, model *Greenberg*, dan model *Underwood*

### 2.4.1. Model *Greenshield*

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

$$Y = Ax + B \quad (2.6)$$

Dengan nilai :

$$B = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.7)$$

$$A = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.8)$$

Dengan diperolehnya persamaan  $Y = Ax + B$  maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan

memotong skala kecepatan pada  $\bar{U}_f$  dan memotong skala kerapatan pada  $k_j$ . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\bar{U}_s = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{k_j} \cdot K$$

$$\bar{U}_s = B - A \cdot k \text{ (Hubungan antara kecepatan dan kerapatan)} \quad (2.9)$$

Selanjutnya hubungan antara volume dengan kecepatan diperoleh menggunakan persamaan dasar  $q = \bar{U}_s \cdot k$  dan selanjutnya memasukkan nilai  $k = q / \bar{U}_s$  ke dalam persamaan hubungan antara kecepatan dan kerapatan, seperti di bawah ini :

$$\bar{U}_s = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{k_j} \frac{q}{\bar{U}_s}$$

$$q \left( \frac{\bar{U}_f}{k_j \bar{U}_s} \right) = \bar{U}_f - \bar{U}_s$$

$$q = \left( \bar{U}_f - \bar{U}_s \right) \left( \frac{k_j \bar{U}_s}{\bar{U}_f} \right)$$

$$q = k_j \cdot \bar{U}_s - \frac{k_j}{\bar{U}_f} \bar{U}_s^2$$

$$q = B/A \cdot \bar{U}_s - 1/A \cdot \bar{U}_s^2 \text{ (Hubungan antara volume dan kecepatan)} \quad (2.10)$$

Dari persamaan ini dapat diketahui bahwa hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan akhirnya menghasilkan persamaan parabola untuk hubungan antara volume dan kecepatan. Untuk mendapatkan persamaan hubungan antara volume dan kerapatan, sehingga menghasilkan :

$$\frac{q}{k} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{k_j} \cdot k$$

$$q = \bar{U}_f \cdot k - \frac{\bar{U}_f \cdot k^2}{k_j}$$

$$q = B k - A k^2 \text{ (Hubungan antara volume dan kerapatan)} \quad (2.11)$$

#### 2.4.2 Model Linier Menurut *Greenberg*

Hubungan ini dibuat dengan mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. Pada tahun 1959 *Greenberg* menyelidiki aliran arus lalu lintas yang dilakukan pada bagian utara terowongan Lincoln di kota New York dan menganalisa hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan mempergunakan asumsi kontinuitas dari persamaan gerakan benda cair. *Greenberg* merumuskan bahwa hubungan antara  $\bar{U}_s$  dan  $k$  bukan merupakan hubungan linier, melainkan fungsi eksponensial. Dasar rumusan *Greenberg* adalah sebagai berikut :

$$k = c \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s}$$

C dan b merupakan nilai konstan.

Apabila kedua ruas nilai dinyatakan dalam bentuk logaritma naturalis, maka akan diperoleh :

$$\ln k = \ln c + b \cdot \bar{U}_s$$

$$\ln k - \ln c = b \cdot \bar{U}_s$$

$$\bar{U}_s = \frac{1}{b} \ln k - \frac{1}{b} \ln c$$

$\frac{-1}{b}$  Fungsi tersebut di atas analog dengan fungsi linier antara  $\bar{U}_s$  dengan  $\ln k$ ,

sehingga apabila nilai  $y = \bar{U}_s$  dan  $x = \ln k$  maka  $Y = Ax + B$ , dengan  $A = \frac{1}{b}$  dan

$B = -\frac{1}{b} \ln c$ , maka  $c = e^{-B/A}$ . oleh karena itu, hubungan antara  $\bar{U}_s$  dan  $k$  adalah :

$$\bar{U}_s = \frac{1}{b} \ln k - \frac{1}{b} \ln c$$

$$\bar{U}_s = A \ln k - B \quad (\text{hubungan antara kecepatan dan kerapatan}) \quad (2.12)$$

Selanjutnya hubungan antara  $q$  dan  $\bar{U}_s$  didapat dari persamaan  $k = c \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s}$

dengan  $k = \frac{q}{\bar{U}_s}$  mensubstitusikan nilai maka diperoleh persamaan :

$$\frac{q}{\bar{U}_s} = c \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s}$$

$$q = \bar{U}_s \cdot e^{-B/A} \cdot e^{\bar{U}_s/A}$$

$$q = \bar{U}_s \cdot e^{(\bar{U}_s - B)/A} \quad (\text{Hubungan antara volume dan kecepatan}) \quad (2.13)$$

Persamaan selanjutnya adalah hubungan antara  $q$  dan  $k$  didapat dari persamaan dasar  $k = c \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s}$  dengan substitusi  $\bar{U}_s = q/k$ , didapat  $k = c \cdot e^{b(q/k)}$

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

$$\ln k = b(q/k) + \ln c$$

$$\frac{b \cdot q}{k} = \ln k - \ln c$$

$$q = \frac{k}{b} (\ln k - \ln c)$$

$$q = A \cdot k (\ln k - \ln e^{-B/A})$$

$$q = A \cdot k \cdot \ln k - B \cdot k \quad (\text{Hubungan antara volume dan kerapatan}) \quad (2.14)$$

### 2.4.3 Model Linier Menurut Underwood

Underwood mengemukakan suatu hipotesa bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah merupakan hubungan eksponensial. Persamaan dasar yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\bar{U}_s = U_f \cdot e^{-k/kc} \quad (\text{Hubungan antara kecepatan dan kerapatan}) \quad (2.15)$$

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

$$\begin{aligned} \ln(\bar{U}_s) &= \ln(U_f \cdot e^{-k/kc}) \\ \ln(\bar{U}_s) &= -\frac{1}{kc} \cdot k + \ln(U_f) \end{aligned}$$

Persamaan ini analog dengan persamaan linier  $y = Ax + B$  dengan  $y = \ln(\bar{U}_s)$  dan  $x = k$ , maka  $A = -\frac{1}{kc}$  atau  $kc = -\frac{1}{A}$  dan  $B = \ln(U_f)$  atau  $U_f = e^B$ . Hubungan antara  $q$  dan  $k$  didapat dari persamaan dasar  $\bar{U}_s = U_f \cdot e^{-k/kc}$  dengan substitusi  $\bar{U}_s = q/k$  sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{q}{k} &= U_f e^{-k/kc} \\ q &= k \cdot U_f e^{-k/kc} \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan substitusi  $U_f = e^B$  dan  $kc = -\frac{1}{A}$  diperoleh :

$$q = k \cdot e^{B+Ak} \quad (\text{Hubungan antara volume dan kerapatan}) \quad (2.16)$$

Hubungan antara  $q$  dan  $\bar{U}_s$  didapat dari persamaan dasar  $\bar{U}_s = U_f \cdot e^{-k/kc}$  dengan substitusi  $k = q/\bar{U}_s$ .

$$\bar{U}_s = U_f \cdot e^{-q/\bar{U}_s k_c} \quad (2.17)$$

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

$$\begin{aligned} \ln(\bar{U}_s) &= \ln(U_f \cdot e^{-q/\bar{U}_s k_c}) \\ \ln(\bar{U}_s) &= -\frac{q}{\bar{U}_s \cdot k_c} + \ln(U_f) \\ q &= -(\bar{U}_s)k_c \cdot \ln(\bar{U}_s) + \bar{U}_s \cdot k_c \ln(U_f) \end{aligned}$$

Dengan substitusi  $k_c = -\frac{1}{A}$  dan  $\ln(U_f) = B$  didapat persamaan :

$$q = \frac{\bar{U}_s}{A} \ln(\bar{U}_s) - \frac{B}{A} (\bar{U}_s) \quad (\text{Hubungan antara volume dan kecepatan}) \quad (2.18)$$

## II.5 Pengujian Statistik

### 2.5.1 Analisa Regresi Linear

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

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

$$Y = Ax + B \quad (2.19)$$

Besarnya konstanta A dan B dapat dicari dengan persamaan-persamaan di bawah ini:

$$A = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.20)$$

$$B = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.21)$$

Dimana :

A = konstanta regresi

B = konstanta regresi

x = variable bebas

y = variable tidak bebas

n = jumlah sampel

### 2.5.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk menentukan kuatnya hubungan antara peubah bebas dan tidak bebas yang dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi r. Nilai koefisien korelasi bervariasi antara -1 sampai +1 ( $-1 < r < +1$ ). Apabila nilai koefisien sama dengan 0 (nol), maka dikatakan tidak terdapat korelasi antara peubah bebas dan peubah tidak bebas, sedangkan apabila nilai koefisien korelasi sama dengan 1 (satu) dikatakan mempunyai hubungan yang sempurna, nilai

koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2.22)$$

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

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