

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Transportasi

2.1.1 Pengertian Sistem Transportasi

Sistem transportasi adalah suatu bentuk keterkaitan dan keterkaitan antara penumpang atau barang, prasarana dan sarana transportasi yang berinteraksi dalam rangkaian perpindahan penumpang atau barang yang tercakup dalam suatu tatanan baik secara alami maupun rekayasa (buatan). Sistem transportasi bertujuan untuk mengoptimalkan proses transportasi penumpang dan barang dalam ruang dan waktu tertentu dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti keamanan, kenyamanan, keselamatan, kelancaran, serta efisiensi waktu dan biaya. (Tamin, 1994)

Menurut Khisty *and* Lall (2003), bentuk fisik dari sistem transportasi tersusun atas empat elemen dasar, diantaranya sebagai berikut:

1. Sarana perhubungan (*link*), yaitu 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, yaitu alat yang memindahkan manusia dan barang dari satu titik ke titik lainnya di sepanjang sarana perhubungan. Contohnya adalah mobil, bis, kapal, dan pesawat terbang.
3. Terminal, yaitu titik-titik dimana perjalanan orang dan barang dimulai atau berakhir. Contohnya adalah garasi mobil, lapangan parkir, gudang bongkar muat, terminal bis, dan bandara.
4. Manajemen dan tenaga kerja, yaitu orang-orang yang membuat, mengoperasikan, mengatur, dan memelihara sarana perhubungan, kendaraan, dan terminal.

Kempat 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 berkaitan satu sama lain. Lalu lintas terbentuk sebagai hasil interaksi antara ketersediaan prasarana (*transport supply*) dan kebutuhan akan pergerakan (*transport demand*).

2.1.2 Komponen Sistem Transportasi

Dalam pemenuhan kebutuhannya, transportasi sangat diperlukan manusia karena sumber kebutuhan manusia tidak selalu berada pada satu tempat saja, tetapi banyak tempat. Menurut Sukarto (2006: 93) terdapat lima unsur pokok transportasi yaitu:

1. Manusia, yang membutuhkan transportasi.
2. Barang, yang diperlukan manusia.
3. Kendaraan, sebagai sarana transportasi.
4. Jalan, sebagai prasarana transportasi.
5. Organisasi, sebagai pengelola transportasi.

Pada dasarnya, kelima unsur di atas saling terkait untuk terlaksananya transportasi, yaitu terjaminnya penumpang atau barang yang diangkut akan sampai ke tempat tujuan dalam keadaan baik seperti pada saat awal diangkut. Sehingga perlu diketahui terlebih dahulu ciri penumpang dan barang, kondisi sarana dan konstruksi prasarana, serta pelaksanaan transportasi.

2.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengendara 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 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 (Oglesby, C.H. & Hicks.R.G. 1998)

2.2.1 Parameter yang Berhubungan dengan Karakteristik Lalu Lintas

Menurut Sundana, G (2004) Karakteristik arus lalu lintas dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu faktor manusia (sebagai pengemudi kendaraan dan pejalan kaki), faktor kendaraan, dan faktor jalan. Faktor-faktor tersebut memberikan variasi terhadap arus lalu lintas setiap kondisi dan keadaan, sehingga diperlukan parameter yang dapat menunjukkan kondisi ruas jalan atau yang akan dipakai untuk dasar perencanaan. Parameter tersebut adalah volume (q), kecepatan (U_s), dan kepadatan (k).

2.2.1.1 Volume

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada ruas jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam satuan kend/jam. Volume lalu lintas yang digunakan adalah saat arus mencapai volume jam puncak, yaitu ketika waktu jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pada ruas jalan selama satu jam saat arus lalu lintas mengalami jumlah kendaraan bermotor terbesar dalam satu hari. Dalam analisis perhitungan arus lalu lintas dengan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 menggunakan ekr atau ekivalensi kendaraan ringan seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Ekivalensi Kendaraan Ringan untuk Jalan Terbagi

Tipe Jalan	Arus Lalu Lintas per Lajur (kend/jam)	EKR	
		KB	SM
2/1T dan 4/2T	<1050	1,3	0,40
	\geq 1050	1,2	0,25
3/1T dan 6/2T	<1100	1,3	0,40
	\geq 1100	1,2	0,25

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Dalam analisis arus lalu lintas, tipe kendaraan yang diamati di lapangan adalah sebagai berikut:

- a. Kendaraan Ringan (KR) seperti mobil penumpang, kendaraan pribadi, dan kendaraan bermotor ber as 2 dengan jarak antar as 2-3 meter.
- b. Kendaraan Berat (KB) seperti bis, truk 2 as, truk 3 as, dan kendaraan bermotor lebih dari 4 roda.
- c. Sepeda Motor (SM) seperti kendaraan bermotor dengan 2 roda.

Analisis volume lalu lintas dilakukan dalam satuan skr/jam dengan melakukan konversi volume lalu lintas hasil survei lapangan dalam satuan kend/jam menggunakan faktor ekr tiap jenis kendaraan bermotor seperti persamaan berikut.

$$q = [(ekrKR \times KR) + (ekrKB \times KB) + (ekrSM \times SM)] \quad (2.1)$$

Dimana:

q = Jumlah arus atau volume kendaraan (skr/jam)

ekr = Ekuivalensi kendaraan ringan

KR = Kendaraan ringan

KB = Kendaraan berat

SM = Sepeda Motor.

2.2.1.2 Kecepatan

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan, dihitung dalam jarak per satuan waktu. Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada jalan yang berbeda. Dengan demikian, dalam arus lalu lintas tidak dikenal karakteristik kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut, jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas.

Kecepatan tempuh kendaraan adalah panjang lintasan perjalanan atau jarak perjalanan yang dapat ditempuh oleh kendaraan dalam satuan waktu (km/jam) yang dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$V_T = \frac{L}{WT} \quad (2.2)$$

Dimana:

V_T = Kecepatan tempuh kendaraan (km/jam, m/dt)

L = Panjang lintasan perjalanan (m)

W_T = Waktu tempuh kendaraan sepanjang lintasan perjalanan (detik).

2.2.1.3 Kepadatan

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam kendaraan per kilometer. Kepadatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus sebagai hubungan sebagai berikut:

$$q = k \cdot \bar{U}_s$$

$$k = \frac{q}{\bar{U}_s} \quad (2.3)$$

Dimana:

q = Arus atau volume (skr/jam)

\bar{U}_s = Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

k = Kepadatan (skr/km).

2.2.2 Pengelompokkan Jenis Kendaraan

Dalam PKJI 2014, yang disebut sebagai unsur lalu lintas adalah benda atau pejalan kaki yang menjadi bagian dari lalu lintas. Sedangkan kendaraan adalah unsur lalu lintas diatas roda. Sebagai unsur lalu lintas yang paling berpengaruh dalam analisis, kendaraan dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Kendaraan Ringan (KR)

Kendaraan bermotor beroda empat, dengan dua gandar berjarak 2-3 m (termasuk kendaraan penumpang, opelet, mikro bis, angkot, pickup, dan truk kecil).

2. Kendaraan Berat (KB)

Kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,5 m biasanya beroda lebih dari empat (bis, dan truk besar atau kontainer).

3. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda (termasuk sepeda motor, kendaraan roda tiga).

2.3 Kinerja Jalan

Kinerja ruas jalan adalah kemampuan dari ruas jalan untuk melayani arus lalu lintas yang membebani ruas jalan tersebut. Kinerja ruas jalan dapat diukur berdasarkan kecepatan rata-rata perjalanan dan derajat kejenuhan, dengan pengukuran semakin tinggi kecepatan rata-rata perjalanan pada suatu ruas jalan dan semakin rendahnya nilai derajat kejenuhan, maka tingkat kinerja ruas jalan menjadi semakin baik.

2.3.1 Kapasitas

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014, Kapasitas didefinisikan sebagai arus lalu lintas maksimum dalam satuan skr/jam yang dapat dipertahankan sepanjang segmen jalan tertentu dalam kondisi tertentu. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas dipisahkan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur. Dalam perhitungan kapasitas digunakan persamaan dasar sebagai berikut:

$$C = C_O \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \quad (2.4)$$

Keterangan:

C = Kapasitas (skr/jam)

C_O = Kapasitas dasar (skr/jam)

FC_{LJ} = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{PA} = Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah

FC_{HS} = Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping

FC_{UK} = Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota.

Kapasitas dasar adalah kapasitas dari suatu segmen jalan saat kondisi geometri, pola arus lalu lintas dan faktor lingkungan dalam kondisi ideal atau telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014.

Besarnya kapasitas dasar jalan perkotaan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Nilai Kapasitas Dasar (C_0)

Tipe Jalan	Kapasitas Dasar (smp/jam)	Catatan
4/2T atau jalan 1 arah	1650	Per lajur (1 arah)
2/2TT	2900	Per jalur (2 arah)

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Nilai untuk faktor penyesuaian kapasitas dasar akibat lebar jalur lalu lintas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (FC_{LJ})

Tipe Jalan	Lebar Efektif Jalur Lalu Lintas, W_c (m)	FC_{LJ}
4/2T dan 6/2T	Per Lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
4/2TT	Per Lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
2/2TT	Total Dua Arah	
	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,0	1,21
11,0	1,27	

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah hanya terdapat pada jalan tak terbagi. Untuk jalan terbagi dan jalan satu arah, faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah tidak dapat diterapkan dan nilainya 1,0.

Tabel 2.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pemisah Arah (FC_{PA})

Pemisah Arah PA %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{PA}	Dua-lajur: 2L2A	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat-lajur: 4L2A	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014, faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping dan bahu jalan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Hambatan Samping (FC_{HS})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	FC_{HS}			
		Lebar Bahu Efektif, W_s (m)			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2T	Sangat Rendah	0,99	1,00	1,01	1,03
	Rendah	0,96	0,97	0,99	1,01
	Sedang	0,93	0,95	0,96	0,99
	Tinggi	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sangat Tinggi	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2TT dan 4/2TT	Sangat Rendah	0,97	0,99	1,00	1,02
	Rendah	0,93	0,95	0,97	1,00
	Sedang	0,88	0,91	0,94	0,98
	Tinggi	0,84	0,87	0,91	0,95
	Sangat Tinggi	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota didasarkan pada jumlah penduduk. Berikut tabel faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota.

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Ukuran Kota (FC_{UK})

Ukuran Kota (Juta Penduduk)	FC_{UK}
< 0,1	0,86
0,1 – 0,5	0,90
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 3,0	1,00
> 3,0	1,04

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.3.2 Hambatan Samping (*Side Friction*)

Hambatan samping adalah kegiatan di samping segmen jalan yang berpengaruh terhadap kinerja lalu lintas. Kategori hambatan samping berdasarkan tipe kejadian dan faktor bobot dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.7 Pembobotan Jenis Hambatan Samping Jalan

Jenis Hambatan Samping Jalan	Faktor Bobot
Pejalan kaki di badan jalan dan yang menyeberang	0,5
Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti	1,0
Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan	0,7
Kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)	0,4

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Kelas hambatan samping untuk jalan perkotaan berdasarkan jumlah bobot kejadian per jam dengan berbagai macam kondisi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Kriteria Kelas Hambatan Samping

Kode Hambatan Samping	Kode	Jumlah Bobot Kejadian/jam	Kodisi Khusus
Sangat Rendah	SR	< 100	Daerah pemukiman, tersedia jalan lingkungan.
Rendah	R	100 – 299	Daerah pemukiman, ada beberapa angkutan umum.
Sedang	S	300 – 499	Daerah industri, ada beberapa toko di sepanjang sisi jalan.
Tinggi	T	500 – 899	Daerah komersial, aktivitas sisi jalan yang tinggi.
Sangat Tinggi	ST	> 900	Daerah komersial, ada aktivitas pasar sisi jalan.

Sumber: Peraturan Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.3.3 Derajat Kejenuhan (D_j)

Derajat kejenuhan (D_j) didefinisikan sebagai rasio arus jalan atau volume kendaraan terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai dari derajat kejenuhan menunjukkan ada atau tidaknya permasalahan kapasitas pada segmen jalan tersebut. Dalam perhitungan derajat kejenuhan digunakan persamaan dasar seperti berikut:

$$D_j = \frac{q}{C} \quad (2.5)$$

Dimana:

D_j = Derajat kejenuhan

q = Volume arus lalu lintas (skr/jam)

C = Kapasitas (skr/jam).

Jika nilai $D_j < 0,75$, maka jalan tersebut masih layak, tetapi jika $D_j > 0,75$, maka diperlukan penanganan pada jalan tersebut untuk mengurangi kepadatan atau kemacetan. Kemacetan lalu lintas pada suatu ruas jalan disebabkan oleh volume lalu lintas yang melebihi kapasitas yang ada. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan menaikkan kapasitas atau mengurangi volume lalu lintas. Biasanya kapasitas dapat diperbaiki dengan mengurangi penyebab gangguan pada jalan,

misalnya dengan memindahkan tempat parkir, mengontrol pejalan kaki atau dengan memindahkan lalu lintas ke rute yang lainnya atau mungkin dengan cara pengaturan yang lain seperti membuat jalan satu arah.

2.3.4 Tingkat Pelayanan (*Level of Service*)

Tingkat pelayanan atau *Level Of Service* (LOS) adalah ukuran kualitatif yang dapat menggambarkan persepsi pengemudi mengenai mutu berkendara pada suatu ruas jalan atau simpang jalan. LOS dapat diketahui dengan melakukan perhitungan perbandingan antara volume lalu lintas dengan kapasitas dasar jalan (q/C). Dengan melakukan perhitungan terhadap nilai LOS, maka dapat diketahui klasifikasi jalan atau tingkat pelayanan pada suatu segmen jalan tertentu.

Tabel 2.9 Tingkat Pelayanan (LOS)

Tingkat Pelayanan (LOS)	q/C	Karakteristik
A	$\leq 0,19$	<ul style="list-style-type: none"> Kecepatan lalu lintas 100 km/jam. Volume lalu lintas sekitar 30% dari kapasitas.
B	0,20 – 0,44	<ul style="list-style-type: none"> Awal dari kondisi arus stabil. Kecepatan lalu lintas sekitar ≥ 90 km/jam. Volume lalu lintas tidak melebihi 50% kapasitas.
C	0,45 – 0,74	<ul style="list-style-type: none"> Arus stabil. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 70 km/jam. Volume lalu lintas tidak melebihi 75% kapasitas.
D	0,75 – 0,84	<ul style="list-style-type: none"> Mendekati arus tidak stabil. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≤ 50 km/jam. Volume lalu lintas sampai 90% kapasitas.
E	0,85 – 1,00	<ul style="list-style-type: none"> Arus tidak stabil, terhambat, dengan tundaan yang tidak dapat ditolerir. Kecepatan perjalanan 40 km/jam.
F	$\geq 1,00$	<ul style="list-style-type: none"> Arus tertahan, kondisi terhambat. Kecepatan perjalanan rata-rata ≤ 40 km/jam.

Sumber: Tamin, 2000

2.4 Metode Survei Lalu Lintas

Survei lalu lintas adalah bagian dari studi transportasi yang bertujuan untuk mengumpulkan data. Data tersebut kemudian dianalisis untuk memperoleh

keputusan pada tingkat perencanaan, perancangan maupun evaluasi. Tujuan survei harus sesuai dengan tujuan studi transportasi dan harus dinyatakan dengan jelas terkait dengan metode transportasi. Tujuan survei juga harus mempertimbangkan waktu dan lokasi, karena berpengaruh terhadap fenomena lalu lintas yang berbeda pada waktu dan lokasi yang berbeda.

Metode survei harus sesuai dengan tujuan survei. Dalam menentukan metode dipengaruhi oleh beberapa aspek diantaranya:

- a) Aspek legalitas, yaitu tidak boleh melanggar hukum, seperti menutup jalur lalu lintas, harus melakukan perijinan dan koordinasi dengan polisi.
- b) Aspek ketersediaan teknologi, misalkan dibutuhkan ketelitian alat sampai 0,1 km/jam maka diperlukan alat yang memenuhi persyaratan tersebut.
- c) Aspek kondisi lokasi, yaitu lokasi survei harus memenuhi kriteria dari tujuan analisis dan diusahakan memiliki jalan yang datar.
- d) Aspek keterbatasan waktu, personil dan biaya

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) dan dapat juga menggunakan berbagai peralatan otomatis seperti alat penghitung lalu lintas (*traffic counting*), *detector*, atau peralatan elektronik lain yang semuanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. 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.

2.4.1 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 beberapa metode, diantaranya:

1. *Manual count*

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

2. *Detector*

Detector adalah alat yang dapat mendeteksi adanya kendaraan yang lewat dan memberi isyarat dalam bentuk tertentu. *Detector* biasanya bekerja dengan sentuhan dari gilasan roda kendaraan, induksi pada gulungan kabel yang ditanam di jalan menyebabkan pemutusan sinar dalam waktu sesaat. Keuntungan metode ini adalah setiap kali kendaraan yang melewati alat dapat tercatat.

3. *Automatic count*

Automatic count adalah peralatan perhitungan secara otomatis yang dapat dilakukan selama 12 jam atau 24 jam.

2.4.2 Metode Survei Waktu Tempuh Kendaraan

Dalam survei waktu tempuh kendaraan dikenal tiga jenis kecepatan, yaitu kecepatan seketika/sesaat (*spot speed*), kecepatan rata-rata kendaraan selama bergerak (*running speed*) dan kecepatan rata-rata kendaraan yang dihitung dari jarak tempuh dibagi dengan waktu tempuh (*journey speed*), jadi termasuk waktu kendaraan berhenti (misalnya berhenti pada lampu lalu lintas). Perhitungan kecepatan kendaraan dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain:

1. *Manual count*

Manual count merupakan pencatatan waktu tempuh kendaraan yang melewati segmen/penggal jalan pengamatan. Pencatatan waktu tempuh ini dilakukan dengan menghidupkan *stopwatch* saat roda depan kendaraan melewati garis injak pertama, seterusnya mengikuti lajur kendaraan, dan

stopwatch dimatikan tepat pada saat roda kendaraan tersebut melewati garis injak kedua.

2. *Enescope*

Enescope adalah kotak cermin yang berbentuk L yang diletakkan di pinggir jalan untuk membelokkan garis pandangan ke arah tegak lurus jalan. Dalam pengukuran waktu tempuh digunakan *stopwatch* yang dimulai pada saat kendaraan melewati pengamat dan dihentikan pada saat kendaraan melewati *enescope*.

3. Radar meter

Radar meter bekerja menurut prinsip efek Doppler, yang mana kecepatan pergerakan proporsional dengan perubahan frekuensi di antara dua radio transmisi target dan radio pemantul. Peralatan ini mengukur perbedaan dan mengubah pembacaan langsung menjadi mph.

4. Pemotretan

Dalam metode ini, kamera foto mengambil gambar pada interval waktu yang ditetapkan. Gambar-gambar yang diperoleh dari hasil survei diproyeksikan dengan menggunakan alat proyektor ke suatu layar yang sudah mempunyai pembagian skala, dengan demikian perpindahan masing-masing kendaraan dapat dihitung.

2.5 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Volume, kecepatan, dan kepadatan merupakan tiga variabel/parameter utama (makroskopis) dalam aliran lalu lintas yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas.

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

Hubungan antara ketiga parameter di atas selanjutnya dapat dinyatakan dalam hubungan matematis sebagai berikut:

$$q = k \cdot \bar{U}_s \quad (2.6)$$

Dimana:

q = Volume (skr/jam)

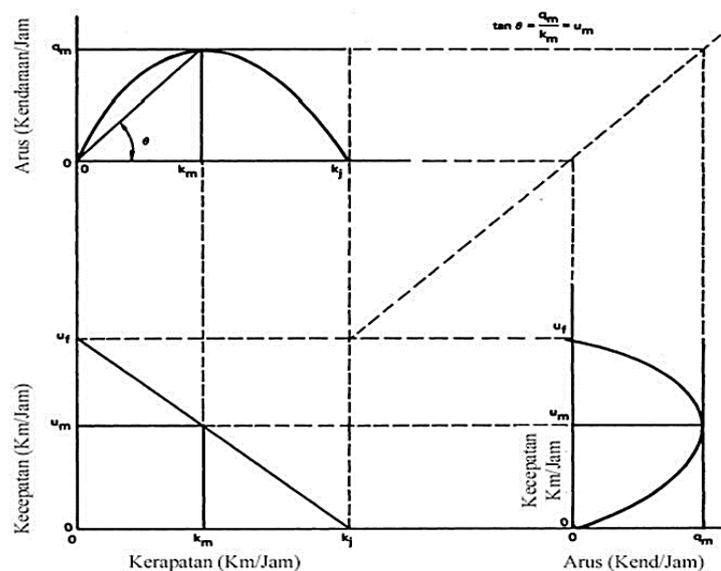
\bar{U}_s = Kecepatan (km/jam)

k = Kepadatan (skr/km)

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

Gambar di bawah mengilustrasikan tentang bentuk umum hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

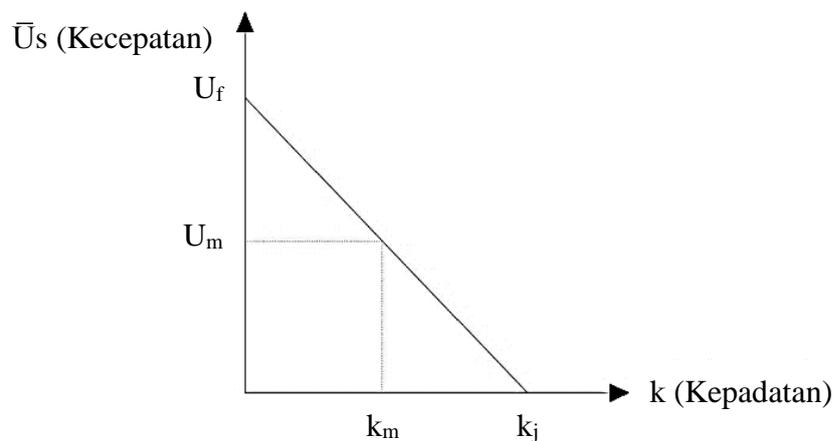
Keterangan:

q_m = Kapasitas, arus maksimum (skr/jam)

- U_m = Kecepatan kritis, kecepatan pada kondisi arus maksimum (km/jam)
 k_m = Kepadatan kritis, kepadatan pada kondisi arus maksimum (skr/km)
 k_j = Kepadatan pada kondisi arus macet total (skr/km)
 U_f = Kecepatan pada kondisi arus sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati nol, kecepatan arus bebas (km/jam).

Perlu diketahui, arus “nol” (tidak ada arus) terjadi dalam 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 menyebabkan 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.

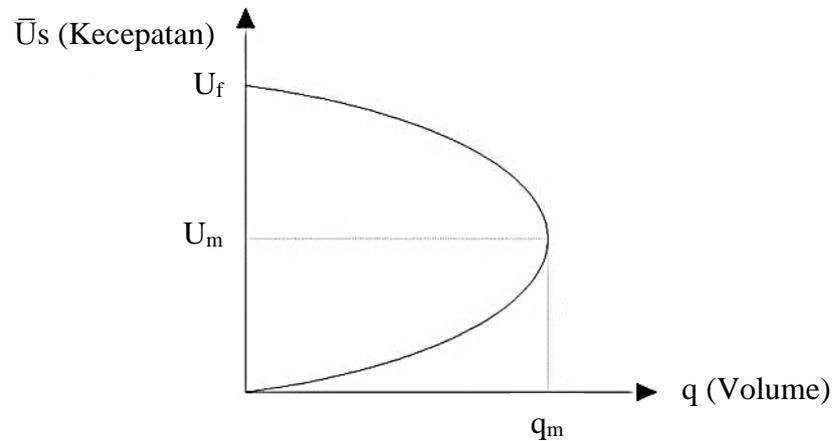
2.5.1 Hubungan antara Kecepatan dan Kepadatan



Gambar 2.2 Grafik Hubungan antara Kecepatan (\bar{U}_s) dan Kepadatan (k)

Kurva ini merupakan diagram yang menjadi dasar penggambaran aliran lalu lintas. Dari kurva terlihat bahwa kecepatan akan menurun apabila kepadatan bertambah. Kecepatan arus bebas (U_f) akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol, sedangkan pada saat kecepatan sama dengan nol maka terjadi kemacetan (*density*).

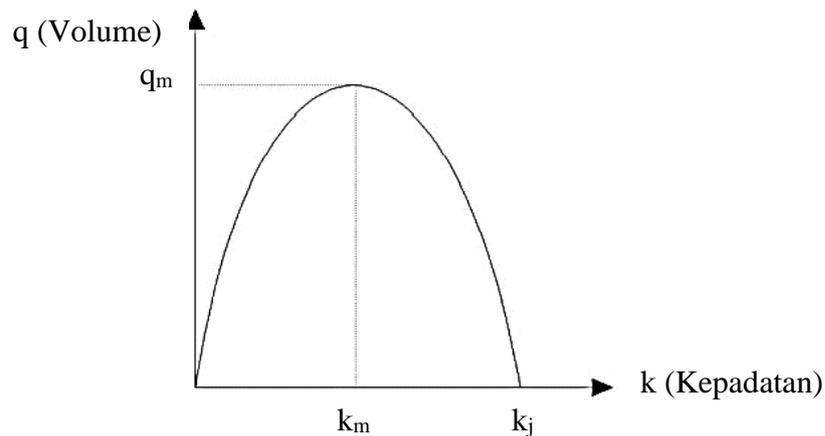
2.5.2 Hubungan antara Volume dan Kecepatan



Gambar 2.3 Grafik Hubungan antara Volume (q) dan Kecepatan (\bar{U}_s)

Dari kurva 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 akan berkurang. Jadi kurva ini menggambarkan dua kondisi yang berbeda dimana lengan atas untuk stabil sedangkan lengan bawah menunjukkan kondisi lalu lintas yang padat.

2.5.3 Hubungan antara Volume dan Kepadatan



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Volume (q) dan Kepadatan (k)

Dari kurva akan terlihat bahwa kepadatan akan bertambah apabila volumenya juga bertambah. Volume maksimum (q_m) terjadi pada saat kepadatan mencapai titik k_m (kepadatan pada saat arus maksimum). Setelah mencapai titik ini

volume akan menurun walaupun kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik k_j .

2.5.4 Perhitungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

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 skr/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;

$$\bar{U}_s = \frac{x}{t} \quad (2.7)$$

Dimana:

- \bar{U}_s = 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 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), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.

Space-mean speed dan *time-mean speed* dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut rumus berikut:

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

$$\bar{U}_s = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_s = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.8)$$

Dimana:

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

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

x = Jarak tempuh (km)

t_i = Waktu tempuh kendaraan (jam)

n = Jumlah kendaraan yang diamati.

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan. Penggunaan rumus di atas dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.10 Contoh Perhitungan *Time-Mean Speed* dan *Space-Mean Speed*

No. kendaraan	Jarak (meter)	Waktu Tempuh (detik)	Kecepatan (km/jam) x 3,6
1	50	3,6	50
2	50	2,0	90
3	50	3,0	60
4	50	3,6	50
5	50	2,0	90
6	50	2,0	90
Total	300	16,2	430
Rata-rata		16,2/6 = 2,7	430/6 = 71,67
$\bar{U}_t = 71,67$ km/jam			
$\bar{U}_s = 300/16,2 = 66,67$ km/jam			

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 kecepatan rata-rata ruang digunakan persamaan berikut:

$$\bar{U}_s = \bar{U}_t - \frac{\sigma t^2}{U t} \quad (2.9)$$

Dimana:

Σt = Deviasi standar dari kecepatan setempat.

3. Perhitungan Kepadatan

Kepadatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kepadatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kendaraan telah diperoleh sebelumnya.

2.6 Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Analisis untuk suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter, yaitu volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas dalam keadaan jalan lalu lintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti definisi dari kriteria tingkat pelayanan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk kendaraan yang tidak sejenis. Terdapat tiga pemodelan yang sering digunakan untuk menyatakan keterkaitan ketiga parameter tersebut, yaitu model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*.

2.6.1 Model *Greenshield*

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang menerangkan hubungan antara volume lalu lintas (q), kecepatan (\bar{U}_s), dan kepadatan (k). *Greenshield* mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshield* mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linear. Berdasarkan penelitian-penelitian selanjutnya, terdapat hubungan yang erat antara model linear dengan keadaan data di lapangan.

Hubungan linear antara kecepatan dan kepadatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan.

Pada perinsipnya, pemakaian model *Greenshield* ini memerlukan pengetahuan tentang parameter-parameter kecepatan arus bebas (U_f) dan kepadatan macet (k_j) dalam menyelesaikan secara numerik hubungan kecepatan dan kepadatan. Kecepatan arus bebas relatif mudah diestimasi di lapangan dan umumnya bernilai antara kecepatan batas dan kecepatan rencana. Oleh karena itu, model ini cocok digunakan pada karakteristik jalan bebas hambatan.

Perhitungan kepadatan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Adapun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kepadatan dengan cara regresi linear adalah sebagai berikut:

$$Y_i = A + BX_i$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y_i = A + BX_i$, maka hubungan antara kecepatan dan kepadatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada U_f dan memotong skala kepadatan pada k_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\bar{U}_s = U_f - \frac{U_f}{k_j} \cdot k \quad (2.10)$$

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

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kepadatan dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$, dan selanjutnya dengan memasukkan persamaan $\bar{U}_s = q/k$ ke Persamaan (2.10), maka dapat diturunkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \bar{U}_s &= \frac{q}{k} \\ \frac{q}{k} &= U_f - \frac{U_f}{k_j} \cdot k \\ q &= U_f \cdot k - \frac{U_f}{k_j} \cdot k^2 \quad (\text{Hubungan antara volume-kepadatan}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $k = k_m$. Nilai $k = k_m$ bisa didapat melalui persamaan di bawah ini:

$$\frac{\partial q}{\partial k} = U_f - \frac{2.Uf}{kj} \cdot k_m = 0$$

$$k_m = \frac{kj}{2} \quad (2.12)$$

Dengan memasukkan Persamaan (2.12) ke Persamaan (2.11), maka nilai q_m bisa didapat seperti terlihat dalam persamaan (2.13).

$$q_m = \frac{kj \cdot Uf}{4} \quad (2.13)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$, dan dengan memasukkan persamaan $k = q/\bar{U}_s$ ke Persamaan (2.10), maka bisa didapatkan persamaan berikut:

$$k = \frac{q}{\bar{U}_s}$$

$$\bar{U}_s = U_f - \frac{Uf}{kj} \cdot \frac{q}{\bar{U}_s}$$

$$\frac{Uf}{kj} \cdot \frac{q}{\bar{U}_s} = U_f - \bar{U}_s$$

$$q = k_j \cdot \bar{U}_s - \frac{kj}{Uf} \cdot \bar{U}_s^2 \quad (\text{Hubungan antara volume-kecepatan}) \quad (2.14)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $\bar{U}_s = U_m$. Nilai $\bar{U}_s = U_m$ bisa didapat melalui persamaan di bawah ini:

$$\frac{\partial q}{\partial \bar{U}_s} = k_j - \frac{2.kj}{Uf} \cdot U_m = 0$$

$$U_m = \frac{Uf}{2} \quad (2.15)$$

Dengan memasukkan Persamaan (2.15) ke Persamaan (2.14), maka nilai q_m bisa didapat seperti terlihat dalam persamaan (2.16).

$$q_m = \frac{kj \cdot Uf}{4} \quad (2.16)$$

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa q_m dapat dicapai pada kondisi $\bar{U}_s = U_m$ dan $k = k_m$.

2.6.2 Model *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 kepadatan dengan mempergunakan asumsi kontinuitas dari persamaan gerakan benda cair.

Greenberg merumuskan bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan bukan merupakan fungsi linear, melainkan fungsi eksponensial. Model *Greenberg* memiliki perhatian khusus pada keadaan macet, dan membutuhkan parameter kecepatan (\bar{U}_s) dan kepadatan optimum (km). Oleh karena itu, model ini cocok digunakan pada karakteristik jalan dengan kepadatan yang tinggi. Persamaan dasar model *Greenberg* adalah sebagai berikut:

$$k = C \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s} \quad (2.17)$$

Dimana: C dan b merupakan konstanta.

Jika Persamaan (2.17) dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan tersebut dapat dinyatakan kembali sebagai Persamaan (2.18). Sehingga, hubungan matematis antara kecepatan dengan kepadatan selanjutnya dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.19).

$$\ln k = \ln C + b \cdot \bar{U}_s \quad (2.18)$$

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

$$\bar{U}_s = \frac{\ln k}{b} - \frac{\ln C}{b} \quad (\text{Hubungan antara kecepatan-kepadatan}) \quad (2.19)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kepadatan dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$, dan dengan memasukkan persamaan $\bar{U}_s = q/k$ ke Persamaan (2.19), maka bisa diturunkan persamaan berikut:

$$\frac{q}{k} = \frac{\ln k}{b} - \frac{\ln C}{b}$$

$$q = \frac{k \cdot \ln k}{b} - \frac{k \cdot \ln C}{b} \quad (\text{Hubungan antara volume-kepadatan}) \quad (2.20)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $k = k_m$. Nilai $k = k_m$ bisa didapat melalui persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}\frac{\partial q}{\partial k} &= \frac{(\ln km+1)}{b} - \frac{\ln C}{b} = 0 \\ (\ln k_m + 1) &= \ln C \\ k_m &= e^{\ln C - 1}\end{aligned}\quad (2.21)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$. Dengan memasukkan persamaan $k = q/\bar{U}_s$ ke Persamaan (2.19), maka bisa diturunkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\frac{q}{U_s} &= C \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s} \\ q &= \bar{U}_s \cdot C \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s} \text{ (Hubungan antara volume-kecepatan)}\end{aligned}\quad (2.22)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $\bar{U}_s = U_m$. Nilai $\bar{U}_s = U_m$ bisa didapat melalui persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}\frac{\partial q}{\partial k} &= C \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s} + \bar{U}_s \cdot C \cdot b \cdot e^{b \cdot \bar{U}_s} = 0 \\ e^{b \cdot \bar{U}_s} (1 + \bar{U}_s \cdot b) &= 0 \\ U_m &= -\frac{1}{b}\end{aligned}\quad (2.23)$$

2.6.3 Model Underwood

Underwood mengemukakan suatu hipotesa bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik. Dimana model ini memerlukan pengetahuan tentang kecepatan arus bebas, yang mana sedikit mudah diamati dan bervariasi tergantung pada lingkungan jalan. Model ini cocok digunakan pada karakteristik jalan bebas hambatan. Persamaan dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\bar{U}_s = U_f \cdot e^{-\frac{k}{km}} \text{ (Hubungan antara kecepatan-kepadatan)} \quad (2.24)$$

Jika Persamaan (2.24) dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan tersebut dapat dinyatakan kembali sebagai Persamaan (2.25).

Sehingga, hubungan matematis antara kecepatan dengan kepadatan dapat juga dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\ln \bar{U}_s = \ln U_f - \frac{k}{km} \quad (2.25)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kepadatan dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$. Dengan memasukkan persamaan $\bar{U}_s = q/k$ ke Persamaan (2.24), maka bisa diturunkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{q}{k} &= U_f \cdot e^{-\frac{k}{km}} \\ q &= U_f \cdot k \cdot e^{-\frac{k}{km}} \quad (\text{Hubungan antara volume-kepadatan}) \end{aligned} \quad (2.26)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $k = k_m$.

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar $q = k \cdot \bar{U}_s$, dan dengan memasukkan persamaan $k = q/\bar{U}_s$ ke Persamaan (2.24), maka bisa didapatkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \bar{U}_s &= U_f \cdot e^{-\frac{q}{\bar{U}_s \cdot km}} \\ \ln \bar{U}_s &= \ln U_f - \frac{q}{\bar{U}_s \cdot km} \\ \frac{q}{\bar{U}_s \cdot km} &= \ln U_f - \ln \bar{U}_s \\ q &= k_m \cdot \bar{U}_s \cdot (\ln U_f - \ln \bar{U}_s) \quad (\text{Hubungan antara volume-kecepatan}) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Kondisi arus maksimum (q_m) bisa didapat pada saat arus $\bar{U}_s = U_m$. Nilai $\bar{U}_s = U_m$ bisa didapat melalui persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial \bar{U}_s} &= k_m \cdot (\ln U_f - \ln U_m) + k_m \cdot U_m \cdot \left(-\frac{1}{U_m}\right) = 0 \\ k_m \cdot (\ln U_f - \ln U_m) - k_m &= 0 \\ (\ln U_f - \ln U_m) &= 1 \\ U_m &= e^{\ln U_f - 1} \end{aligned} \quad (2.28)$$

2.7 Pengujian Statistik

2.7.1 Analisis Regresi Linear

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

Bila variabel tidak bebas Y dan variabel bebas X mempunyai hubungan linear, maka fungsi regresinya:

$$Y_i = A + BX_i \quad (2.29)$$

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

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N X_i \cdot \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N (X_i)^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.30)$$

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (2.31)$$

Dimana:

- A = Konstanta regresi
- B = Konstanta regresi
- X_i = Variabel bebas
- Y_i = Variabel tidak bebas
- N = Jumlah sampel.

2.7.2 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:

$$r = \frac{n \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{[n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.32)$$

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

- 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.

2.8 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang membahas mengenai hubungan kecepatan, kepadatan dan arus lalu lintas dalam berbagai kondisi dan kriteria penelitian. Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan referensi dan sebagai bahan perbandingan dalam melakukan penelitian. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu:

1. M. Isran Ramli et al (2013), Model Karakteristik Makro Lalu Lintas Heterogen Pada Ruas Jalan Satu Arah di Kota Makassar. Melakukan pemodelan hubungan antar karakteristik makro lalu lintas (volume-kecepatan-kepadatan atau V-S-D) pada salah satu ruas jalan yang dikategorikan sebagai tipe jalan satu arah di Kota Makassar, yaitu Jl. Sulawesi. Model hubungan karakteristik makro lalu lintas dibangun dengan mengadopsi pendekatan model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. Kecenderungan perilaku karakteristik lalu lintas pada ruas jalan 1 arah di Kota Makassar memperlihatkan kecepatan maksimum dengan besaran kecepatan 39,10 km per jam, volume puncak yaitu 6091 smp per jam, dan kepadatan maksimum sebesar 186.39 smp per km. Model hubungan antar perilaku karakteristik lalu lintas yang terbaik berdasarkan hasil evaluasi model adalah: model *Underwood* untuk hubungan antara kecepatan dan kepadatan (S-D) dengan persamaan model terpilih adalah $S = 55.81 * e^{-D/0.0031}$; model *Greenberg* untuk hubungan antara volume dan kepadatan (V-

D) dengan persamaan model terpilih adalah $V = 116.508 * D - 16.2942 * D * \ln D$; dan model *Underwood* untuk hubungan antara volume dan kecepatan (V-S) dengan persamaan model terpilih adalah $V = 319.87 * S * \ln (55.81/S)$. Ketiga pendekatan model yang digunakan valid dalam memprediksi pola hubungan kecepatan terhadap kepadatan dan atau volume terhadap kepadatan lalu lintas, namun tidak mencapai tingkat signifikansi yang sama ketika memprediksi model hubungan kecepatan dan volume lalu lintas. Hasil-hasil analisis dan evaluasi model memperlihatkan bahwa terdapat variasi kecocokan model dengan kondisi lalu lintas heterogen yang distudi. Dalam hal ini, model *Underwood* sedikit lebih baik dari kedua model lainnya. Namun, model *Greenberg* dan *Greenshield* juga pada kondisi tertentu sedikit lebih baik validitasnya.

2. Yudi Supriadi dan Dwi Prasetyanto (2015), Model Hubungan Parameter Lalu Lintas Menggunakan Model *Greenshield* dan *Greenberg*. Melakukan penelitian terhadap seberapa besar perbandingan parameter arus kecepatan dan kerapatan dengan metode *Greenshield* dan *Greenberg* di ruas Jalan P.H.H. Mustafa Kota Bandung. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh mereka untuk lalu lintas dua arah dan dengan jenis kendaraan berat, kendaraan ringan dan sepeda motor untuk nilai model linier *Greenshield*, Kapasitas/Volume Maksimum = 3788,37 smp/jam/4lajur, Kepadatan Maksimum (DM) = 163,68 smp/km/4lajur dan Kecepatan saat volume maksimum (SM) = 23,145 km/jam. Untuk model *Greenberg*, Kapasitas/Volume Maksimum = 3491,99 smp/jam/4lajur, Kepadatan Maksimum (DM) = 474,32 smp/km/4lajur dan Kecepatan saat volume maksimum (SM)= 19,96 km/jam. Maka diperoleh kesimpulan bahwa Metode *Greenshield* menghasilkan kecepatan maksimum yang lebih besar dibandingkan metode *Greenberg*, berbanding terbalik dengan volume maksimum yang lebih besar pada metode *Greenberg* dibandingkan dengan metode *Greenshield*.