

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transportasi darat memiliki dua aspek penting, yaitu sarana prasarana transportasi. jika kebutuhan sarana transportasi (angkutan jalan) tidak diimbangi dengan sarana transportasi (jalan) maka akan timbul masalah transportasi. Terciptanya suatu sistem transportasi yang menjamin pergerakan manusia, kendaraan, dan barang secara lancar, aman, cepat, murah, dan nyaman sesuai dengan lingkungan sudah merupakan tujuan dari pembangunan dalam sektor transportasi.

Masalah transportasi yang dapat ditimbulkan akibat ketidakseimbangan antara sarana transportasi dan prasarana transportasi adalah kemacetan lalu lintas. Tingkat fungsional sasaran jaringan jalan akan ditentukan oleh tinggi rendahnya arus lalu lintas yang melalui jaringan jalan tersebut. Dengan kata lain, lalu lintas akan menterjemahkan tingkat efisiensi dari suatu jaringan jalan dan fungsi jaringan jalan dan fungsi jaringan jalan tersebut. data lalu lintas diperlukan untuk kebutuhan sesuai maksud dan tujuan yang jelas, misalnya untuk memperbaiki kinerja jalan tersebut akibat adanya pertumbuhan yang pesat pada jumlah kendaraan tapi tidak diimbangi dengan kemajuan sarana dan prasarana jalan.

Peran jalan sebagai prasarana transportasi harus memiliki kondisi yang ideal agar mampu memberikan kenyamanan, kelancaran, dan keamanan bagi pengguna jalan. Transportasi yang baik haruslah didukung dengan sarana dan prasarana

transportasi yang baik pula serta penyelenggaraan yang menerapkan manajemen aset infrastruktur dalam pengelolaan aset jalan di bawah kewenangannya. Faktor penting yang menentukan baik tidaknya operasional jalan adalah aspek geometri serta perkerasan jalan yang baik dan ekonomis.

Berdasarkan PP No 30 Tahun 2021 Penyelenggara Bidang lalu lintas dan Angkutan jalan mendefinisikan jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap yang diperuntukan bagi lalu lintas umum, yang berada pada permukaan tanah, dibawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel dan jalan kabel. Perasarana lalu lintas dan angkutan jalan adalah ruang lalu lintas, termianal dan perlengkapan jalan yang meliputi marka, rambu, dan pemberi isyarat lalu lintas, alat pengendali dan pengaman pengguna jalan, alat pengawasan dan pengamanan jalan serta fasilitas pendukung. Jalan sebagai bagian prasarana transportasi mempunyai peran penting dalam bidang ekonomi, sosial budaya, lingkungan hidup, politik, pertahanan dan keamanan, serta dipergunakan untuk sebesar-besar kamakmuran rakyat.

Mengingat kabupaten Gayo Lues provinsi Aceh adalah Kabupaten yang masih mau berkembang naik secara infrastruktur dan ekonomi. Kabupaten Gayo Lues adalah pemekaran dari Aceh Tenggara yang berdiri sekitar 20 tahun memiliki 15 Kecamatan dan 145 Desa, memiliki luas wilayah 5.719 km². Berpusat ibu kota kabupaten di Kecamatan Blangkejeren. Mayoritas penduduk Kabupaten Gayo Lues adalah petani. Salah satu komoditi unggul adalah Serewangi, Kopi, Kakao, Getah pinus, palawija dan banyak komoditi lain-lainnya. memiliki tanah yang terhitung subur sehingga banyak masyarakat gayo lues banyak menggantungkan diri sebagai

petani. Dan seluruh hasil komoditi akan dibawa ke pusat kota. Kota kabupaten Gayo Lues untuk di lakukan transaksi antara petani dan penampung hasil pertanian dan melihat semakin bagusnya harga pasar komoditi pertanian Indonesia maka semakin besar masyarakat untuk menjdikan pertanian sebagai usaha utama dan meningkat lah volume lalu lintas yang membawa barang maupun masyarakat yang melakukan transaksi jual beli barang di pusat kota, oleh karena terjadinya peningkatan volume lalu lintas. Di ruas jalan Blangkejeren ada persimpang untuk menuju pasar tradisional dan merupakan salah satu pasar tradisional yang lumayan sibuk terjadinya transaksi jual beli barang hasil komoditi pertanian dan lain sebagainya.

Kesibukan ruas jalan yang merupakan salah satu akses menuju pasar tradisional, terminal blangkejeren, perkantoran dan sekolah. Perlu dilakukan analisis untuk mengantisipasi lebih dini agar ruas Jalan lintas takengon - blangkejeren tidak mengalami penurunan kinerja jalan tersebut, terutama pada jam sibuk sering terjadi kemacetan. Oleh karena itu penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “ANALISA KAPASITAS BERDASARKAN PEMODELAN GREENSHIELD, GREENBERG, DAN UNDERWOOD PADA RUAS JALAN JALAN TENGKU MUHAMMAD LUDDIN KOTA BLANGKEJEREN (Studi Kasus)”

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun masalah studi ini sehingga peneliti tertarik untuk menjadikan bahasan dalam pengerjaan tugas akhir, adalah sebagai berikut:

1. Padatnya arus lalu lintas pada jam sibuk.
2. Adanya kendaraan umum yang menaik dan menurunkan penumpang atau barang pada ruas jalan tersebut.
3. Kapasitas jalan rendah, karena adanya hambatan samping disebabkan kendaraan yang keluar masuk dan parkir di bahu jalan.

1.3 Rumusan Masalah

Dari identifikasi masalah di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah besar volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan Tengku Muhammad Luddin saat ini?
2. Berapakah nilai kapasitas dan tingkat pelayanan pada ruas jalan Tengku Muhammad Luddin ?
3. Bagaimana hubungan volume(Q), kecepatan (V) dan kepadatan (D) menggunakan metode *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood* ?

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini di batasi pada hal berikut:

1. Lokasi penelitian diambil pada segmen jalan Tengku Muhammad Luddin tepatnya berawal dari simpang empat lampu merah sampai simpang pasar pagi.
2. Pengambilan data dilakukan selama 3 (tiga) hari dalam seminggu mulai dari hari minggu sampai hari selasa (pukul 07.00 – 18.00).

3. Perhitungan kapasitas jalan dilakukan dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia tahun 1997 (MKJI 1997) dan di modelkan dengan Model Greenshield, Greenberg dan Underwood.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini merupakan jawaban dari pertanyaan pada rumusan masalah di atas, dimana tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk dapat menganalisis (kapasitas) pada ruas jalan Tengku Muhammad Luddin Kota Blangkejeren dengan metode MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) 1997.
2. Menentukan parameter kapasitas ruas jalan hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas dengan model Greenshield, Greenberg dan Underwood.
3. Mengetahui tingkat pelayanan di ruas jalan jalan Tengku Muhammad Luddin.

1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat, antara lain yaitu:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan di bidang rekayasa lalu lintas.
2. Dapat mengetahui kapasitas ruas jalan yang di teliti sebagai masukan bagi perencanaan kota.
3. Dapat memberi masukan bagi instansi terkait agar memperhatikan kinerja dan tingkat pelayanan jalan terhadap pemakai jalan sehingga di harapkan bisa dijadikan referensi untuk penanganan yang di perlukan ke depan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum dari keseluruhan penelitian ini, maka saya membuat dengan sistematika penulisan seperti berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pelaksanaan proses penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan tentang tempat pelaksanaan penelitian serta metode yang diterapkan dalam tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan di bahas tentang tiga parameter matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan dengan model Greensheild, Greenberd, dan Underwood. Dan kapasitas derajat kejenuhan dan tingkat pelayanan jalan.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini akan di bahas pembahasan atau kesimpulan dan saran akhir dari hasil penelitian kapasitas dan kinerja ruas jalan. Jl lintas takengon – belangkejeren. Kota blangkejeren

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jalan

Menurut peraturan pemerintah nomor 34 tahun 2006, jalan adalah prasarana Transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang di peruntukan bagi lalulintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel.

Jalan raya adalah jalur jalur tanah di atas permukaan bumi yang di buat oleh manusia dengan bentuk, ukuran ukuran dan jenis kontruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat (clarkson H. Oglesby,1999).

Untuk perencanaan jalan raya yang baik, harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga jalan yang disangkutan dapatkan memberikan pelayanan yang optimal kepada lalu lintas sesuai dengan fungsinya, sebab tujuan akhir dari perencanaan geometrik ini adalah menghasilkan infrastruktur yang aman.

2.2 Karakteristik Jalan

Menurut MKJI (1997) jalan perkotaan didefenisikan sebagai jalan yang berkembang secara permanen dan menerus sepanjang seluruh atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, baik berupa perkembangan lahan atau bukan.

1. Tipe jalan

Berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja yang berbeda pada pembebanan lalu lintas tertentu. Tipe jalan di tentukan dengan potongan leintang jalan yang ditunjukkan setiap segmen jalan (MKJI,1997)

2. Jalur dan lajur

Jalur dan lajur adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang dipruntukan untuk lalu lintas kendaraan. Jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur (lane) kendaraan. Lajur dan lalu lintas yaitu bagian dari jalur lalu lintas yang khusus diperuntukan untuk dilewati oleh satu rangkaian kendaraan dalam satu arah lebar lalu lintas merupakan bagian jalan yang penting menentukan lebar melintukan lebar melintang secara keseluruhan (sukirman 1994)

3. Bahu jalan

Menurut sukirman (1994) bahu jalan adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas. Dan jalan berfungsi sebagai:

- a) Ruangannya untuk tempat berhenti sementara kendaraan yang mogok atau yang sekedar berhenti karena pengemudi ingin berorientasi mengenai jurusan yang akan ditempuh, atau untuk beristirahat.
- b) Ruangannya untuk menghindari diri saat – saat darurat, sehingga dapat mencegah kecelakaan yang terjadi.

4. Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan

Manusia sebagai pengemudi kendaraan merupakan bagian dari arus lalu lintas yaitu sebagai pemakai jalan. Faktor psikologis, fisik pengemudi sangat mempengaruhi dalam menghadapi situasi arus lalu lintas yang dihadapi.

2.2.1 Geometrik Jalan

Geometrik jalan merupakan suatu bangunan jalan yang menggambarkan tentang ukuran atau bentuk jalan, baik yang menyangkut penampang melintang, memanjang atau pun aspek lain yang terkait dengan bentuk atau fisik jalan. Sebagai gambaran dari penampang melintang jalan dapat dilihat juga pada MKJI 1997 yang dikutip sebagai berikut:

1. Tipe jalan: Berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja berbeda-beda pada pembebanan lalu lintas tertentu, misalnya jalan terbagi dan tak terbagi, jalan satu arah. Tipe jalan perkotaan yang tercantum dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKJI 1997 adalah sebagai berikut:
 - a. Jalan dua-lajur dua-arah tanpa median (2/2 UD)
 - b. Jalan empat-lajur dua arah
 - 1) Tak terbagi (tanpa median) (4/2 UD)
 - 2) Terbagi (dengan median) (4/2 UD)
 - c. Jalan enam-lajur dua-arah terbagi (6/2 D)
 - d. Jalan satu arah (1-3/1)
2. Lebar jalur lalu lintas: Kecepatan arus bebas dan kapasitas meningkat dengan penambahan lebar jalur lalu lintas. Menurut pandangan Sukirman (1994) jalur lalu lintas adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukan untuk

lalu lintas kendaraan. Lebar jalur lalu lintas merupakan bagian jalan yang paling menentukan lebar melintang jalan secara keseluruhan.

- a. Kereb: Sebagai batas antara jalur lalu lintas dan trotoar sangat berpengaruh terhadap dampak hambatan samping jalan pada kapasitas dan kecepatan. Kapasitas jalan dengan kereb lebih kecil dari jalan dengan bahu. Selanjutnya kapasitas berkurang jika terdapat penghalang tetap dekat tepi jalur lalu lintas, tergantung apakah jalan mempunyai kereb atau bahu.
- b. Bahu: Jalan perkotaan tanpa kereb kecepatan dan kapasitas jalan akan meningkat bila lebar bahu semakin lebar. Lebar dan kondisi permukaannya mempengaruhi penggunaan bahu, berupa penambahan lebar bahu, terutama karena pengaruh hambatan samping yang disebabkan kejadian di sisi jalan seperti kendaraan umum berhenti, pejalan kaki dan sebagainya.
- c. Ada atau tidaknya median, median yang direncanakan dengan baik meningkatkan kapasitas.



Gambar 2.1 Potongan Melintang Jalan Untuk Jalan Perkotaan

Sumber: Google Images

2.2.2 Pengaruh lalu lintas

Batas kecepatan jarang diberlakukan di daerah perkotaan di Indonesia dan karenanya hanya sedikit berpengaruh pada kecepatan arus bebas. Aturan lalu lintas lainnya yang berpengaruh pada kinerja lalu lintas adalah pembatasan parkir berhenti di sepanjang sisi jalan. Pembatasan akses tipe kendaraan tertentu, pembatasan akses dari lahan samping jalan dan sebagainya.

2.3 Klasifikasi Jaringan Jalan Menurut PP No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan

Klasifikasi jaringan jalan menurut PP No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan terbagi dalam 2, yaitu menurut sistem dan fungsinya.

2.3.1 Menurut Sistem

1. Jalan primer

Sistem jaringan jalan primer disusun berdasarkan rencana tata ruang dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat - pusat kegiatan sebagai berikut:

- a. Menghubungkan secara menerus pusat kegiatan nasional, pusat kegiatan wilayah, pusat kegiatan lokal sampai ke pusat kegiatan lingkungan.
- b. Menghubungkan antarpusat kegiatan nasional.

2. Jalan sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder disusun berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat didalam

kawasan perkotaan yang menghubungkan secara menerus kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga, dan seterusnya sampai ke persil.

2.3.2 Menurut Fungsi

1. Arteri primer

- a. Menghubungkan secara berdaya guna antarpusat kegiatan nasional atau antara kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah.
- b. Didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 11 meter.
- c. Berkapasitas lebih besar dari volume LHR.
- d. Lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu dengan lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal.
- e. Jumlah jalan masuk ke jalan primer dibatasi secara efisien dan didesain sedemikian rupa sehingga ketentuan sebagai mana dimaksud dalam ayat (1) dan (2) terpenuhi.
- f. Persimpangan pada jalan arteri primer dengan pengaturan tertentu harus dapat memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), (2) dan (3).
- g. Tidak terputus walaupun masuk kota.

2. Arteri sekunder

- a. Menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, dengan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.

- b. Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 30 km/jam dengan lebar badan tidak kurang dari 11 meter.
 - c. Berkapasitas yang sama atau lebih besar dari volume LHR.
 - d. Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.
 - e. Persimpangan dengan pengaturan tertentu harus dapat memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dan (2).
3. Kolektor primer
- a. Menghubungkan secara berdaya guna antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan wilayah, atau antara pusat kegiatan wilayah dengan kegiatan lokal.
 - b. Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 40 km/jam dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 9 meter.
 - c. Berkapasitas yang sama atau lebih besar dari volume LHR.
 - d. Jumlah jalan masuk dibatasi dan direncanakan sehingga ketentuan sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dan (2) masih terpenuhi.
 - e. Tidak putus walaupun masuk kota.
 - f. Batas luar damaja yang diukur dari as jalan dengan jarak berdasarkan ketentuan tersebut tidak kurang dari 15 meter.
4. Kolektor sekunder
- a. Menghubungkan kawasan sekunder kedua atau dengan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.
 - b. Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 9 meter.

5. Lokal primer
 - a. Menghubungkan secara berdaya guna pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lingkungan, pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lingkungan, antar pusat kegiatan lokal, atau pusat kegiatan lingkungan, serta antar pusat kegiatan lingkungan.
 - b. Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 7,5 meter.
 - c. Tidak terputus walaupun masuk desa.
6. Lokal sekunder
 - a. Menghubungkan antar persil dalam kawasan perkotaan.
 - b. Didesain berdasarkan kecepatan paling rendah 10 km/jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 7,5 meter.

2.4 Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik arus lalu lintas sangat perlu dipelajari dalam menganalisis arus lalu lintas. Untuk dapat merepresentasikan karakteristik arus lalu lintas dengan baik, dikenal 3 (tiga) parameter utama yang harus diketahui di mana ketiga parameter tersebut ternyata saling berhubungan secara matematis satu dengan yang lainnya, yaitu:

2.4.1 Volume Lalu Lintas

Volume adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama periode waktu tertentu. Nilai volume lalu lintas mencerminkan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan arus dalam satuan mobil penumpang (SMP) yang

dikonversikan dengan mengalikan nilai ekivalensi mobil penumpang (EMP).

Volume kendaraan dapat dihitung berdasarkan persamaan. 2.1.

$$Q = \frac{N}{T} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Q = Volume (kend/jam)

N = Jumlah kendaraan (kend)

T = waktu pengamatan (jam)

Pergolongan tipe kendaraan untuk jalan perkotaan berdasarkan MKJI 1997 adalah

sebagai berikut:

1. Kendaraan ringan (LV) yaitu kendaraan bermotor ber as dua dengan 4 roda, dengan jarak as 2,0-3,0 m (meliputi mobil penumpang, mini bus, pick up, oplet dan truk kecil).
2. Kendaraan berat (MHV) yaitu kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,50 m, biasanya beroda lebih dari 4 (termasuk bis, truk 2 as, truk 3 as dan truk kombinasi).
3. Sepeda motor (MC) yaitu kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda (meliputi sepeda motor dan kendaraan roda 3).
4. Kendaraan tak bermotor (UM) dimasukkan sebagai kejadian terpisah dalam factor penyesuaian hambatan samping.

Berbagai jenis kendaraan diekivalensikan ke satuan mobil penumpang dengan menggunakan factor ekivalen mobil penumpang (EMP), EMP adalah factor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan dengan kendaraan ringan.

2.4.2 Kecepatan Arus Bebas Dasar (FVo)

Kecepatan arus bebas adalah segmen jalan pada kondisi ideal tertentu (geometri, pola arus lalu dan factor lingkungan), dinyatakan dalam km/jam. Penentuan kecepatan arus bebas (FVo) untuk jalan perkotaan terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kecepatan Arus Besar Dasar (FVo) Untuk Jalan Perkotaan Berdasarkan (MKJI 1997).

Tipe Jalan	Kecepatan Arus			
	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)	Sepeda Motor (MC)	Rata-rata
Enam-lajur terbagi (6/2 D) atau Tiga-lajur satu arah (3/1)	61	52	48	57
Empat-lajur terbagi (4/2) atau Dua-lajur satu arah	57	50	47	53
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	53	46	43	51
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	44	40	40	42

Sumber: MKJI 1997

Kecepatan arus bebas (FV) didefinisikan sebagai kecepatan pada tingkat arus nol. Kecepatan arus bebas telah diamati melalui melalui pengumpulan data lapangan dimana hubungan antara kecepatan arus bebas dengan kondisi geometrik serta kondisi lingkungan telah ditentukan dengan metode regresi. Kecepatan arus bebas kendaraan ringan telah dipilih sebagai kriteria dasar untuk kinerja segmen jalan pada arus sama dengan nol (=0). Kecepatan arus bebas untuk kendaraan berat dan sepeda motor juga diberikan sebagai referensi. Kecepatan arus bebas untuk mobil penumpang biasanya 10 - 15 % lebih tinggi dari tipe kendaraan ringan lainnya.

Persamaan untuk penentuan kecepatan arus bebas memiliki bentuk umum sebagai berikut:

$$FV = (FV_0 + FVW) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- FV = kecepatan arus bebas kendaraan pada kondisi lapangan (km/jam).
- FV₀ = kecepatan arus bebas dasar kendaraan pada jalan yang diamati.
- FVW = penyesuaian kecepatan untuk lebar jalan (km/jam).
- FFV_{SF} = faktor penyesuaian kecepatan untuk hambatan samping dan lebar bahu atau jarak kereb penghalang.
- FFV = faktor penyesuaian kecepatan untuk ukuran kota.

2.4.3 Kecepatan Untuk Lebar Jalur Lalu Lintas (FV_w)

Adalah penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar berdasarkan pada lebar efektif jalur lalu lintas (W_c). Penyesuaian untuk pengaruh lebar jalur lalu lintas (FV_w) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penyesuaian Untuk Pengaruh Lebar Jalur Lalu Lintas (FVw) (MKJI 1997)

Tipe Jalan	Lebar Jalur Lalu Lintas Efektif (Wc) (m)	FVw (km/jam)
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
Dua-lajur tak-terbagi	4,00	4
	Total	
	5	-9,2
	6	-3
	7	0
	8	3
	9	4
10	6	
11	7	

Sumber: MKJI 1997

2.4.4 Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Untuk Ukuran Kota (FFVcs)

Adalah faktor penyesuaian untuk pengaruh ukuran kota pada kecepatan arus bebas kendaraan ringan, di pengaruhi oleh lebar jalur atau lajur, arah lalu lintas dan gesekan samping. Di daerah perkotaan atau luar kota, faktor penyesuaian untuk pengaruh ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Penyesuaian Untuk Pengaruh Ukuran Kota (MKJI 1997)

Ukuran Kota (Jutaan penduduk)	Faktor penyesuaian Untuk Ukuran Kota
-------------------------------	--------------------------------------

Lanjutan Tabel 2.3

<0,1	0,90
0,1-0,5	0,93
0,5-1,0	0,95
1,0-3,0	1,00
>3,0	1,03

Sumber : MKJI 1997

2.4.5 Hambatan Samping

Hambatan samping yaitu aktifitas samping jalan yang dapat menimbulkan konflik dan berpengaruh terhadap pergerakan arus lalu lintas serta menurunkan fungsi kinerja jalan. Banyak aktifitas samping jalan di Indonesia sering menimbulkan konflik, kadang-kadang besar pengaruhnya terhadap arus lalu lintas. Dalam MKJI (1997), ada pun tipe hambatan samping terbagi menjadi:

1. Pejalan kaki dan penyebrang jalan.

Aktifitas pejalan kaki merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai kelas hambatan samping, terutama pada daerah-daerah yang merupakan kegiatan seperti pusat-pusat perbelanjaan. Atau perkantoran.

2. Jumlah kendaraan berhenti dan parkir

Kendaraan parkir dan berhenti pada samping jalan akan mempengaruhi kapasitas lebar jalan, dimana kapasitas jalan akan semakin sempit karena pada samping jalan tersebut telah diisi kendaraan parkir dan berhenti.

3. Jumlah kendaraan bermotor yang masuk dan keluar dari sisi jalan.

Pada daerah-daerah yang lalu lintasnya sangat padat disertai dengan aktifitas masyarakat cukup tinggi, kondisi ini sering menimbulkan masalah dalam kelancaran lalu lintas.

4. Arus kendaraan lambat.

Laju kendaraan yang berjalan lambat pada suatu ruas jalan dapat mengganggu aktifitas kendaraan-kendaraan yang melewati suatu ruas jalan, juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi tinggi rendahnya kelas hambatan samping.

Tingkat hambatan samping dikelompokkan kedalam lima kelas sebagai fungsi dari frekuensi kejadian hambatan samping sepanjang segmen jalan, yang dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kelas Hambatan Samping (MKJI 1997)

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah bobot Kejadian Per 200 m/jam (dua sisi)	Kondisi Khusus
Sangat rendah	VL	<100	Daerah pemukiman: jalan samping tersedia
Rendah	L	100 - 299	Daerah pemukiman: beberapa angkutan umum dsb
Sedang	M	300 - 499	Daerah industri: Beberapa toko sisi jalan
Tinggi	H	500 - 899	Daerah Komersial Aktifitas sisi jalan tinggi
Sangat Tinggi	VH	> 900	Daerah komersial: Aktifitas pasar sisi jalan

Sumber : MKJI 1997

Hamabatan samping merupakan hal yang utama berpengaruh terhadap kapasitas dan kinerja jalan, sedangkan untuk criteria hambatan samping dibagi menjadi 4 bobot yaitu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Jenis Hambatan Samping Jalan (MKJI 1997)

Tipe Kejadian Hambatan samping	Simbol	Faktor Bobot
Pejalan Kaki	PED	0,5
Parkir	PSV	1,0
Kendaraan Masuk Dan Keluar Dari Sisi Jalan	EEV	0,7
Kendaraan Lambat	SMV	0,4

Sumber : MKJI 1997

2.4.6 Penyesuaian Akibat Hambatan Samping Dan Lebar Bahu (FFVsf)

Adalah faktor penyesuaian akibat hambatan samping sebagai fungsi lebar bahu atau jarak kreb penghalang. Kreb adalah penonjolan tepi perkerasan atau bahu jalan yang dimaksud untuk drainase, mencegah keluarnya dari tepi perkerasan. Faktor penyesuaian untuk hambatan samping berdasarkan lebar bahu efektif dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Untuk Pengaruh Hambatan Samping Dan Lebar Bahu (FFVsf) (MKJI 1997)

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	Faktor Penyesuaian Hambatan Samping Dan Lebar Bahu			
		Lebar Bahu rata-rata W_s (m)			
		d 0,5	1,0	1,5	2
Empat- lajur terbagi 4/2 D	Sangat Rendah	1,02	1,01	1,03	1,04
	Rendah	0,98	1,00	1,02	1,03
	Sedang	0,94	0,97	1,00	1,02
	Tinggi	0,89	0,93	0,96	0,99
	Sangat tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96

Lanjutan Tabel 2.6

Empat- lajur tak-terbagi 4/2 UD	Sangat Rendah	1,02	1,01	1,03	1,04
	Rendah	0,98	1,00	1,02	1,03
	Sedang	0,94	0,97	1,00	1,02
	Tinggi	0,87	0,91	0,94	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,90	0,95
Dua-lajur tak-terbagi 2/2 UD atau Jalan satu arah	Sangat Rendah	1,00	1,01	1,01	1,01
	Rendah	0,96	0,98	1,00	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,96	0,99
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber : MKJI 1997

2.4.7 Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati panjang jalan yang diamati dibagi panjang jalan tersebut. Kepadatan sulit untuk diukur secara pasti. Kepadatan dapat dihitung berdasarkan kecepatan dan volume. Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan adalah:

$$V = D.S \dots\dots\dots(2.3)$$

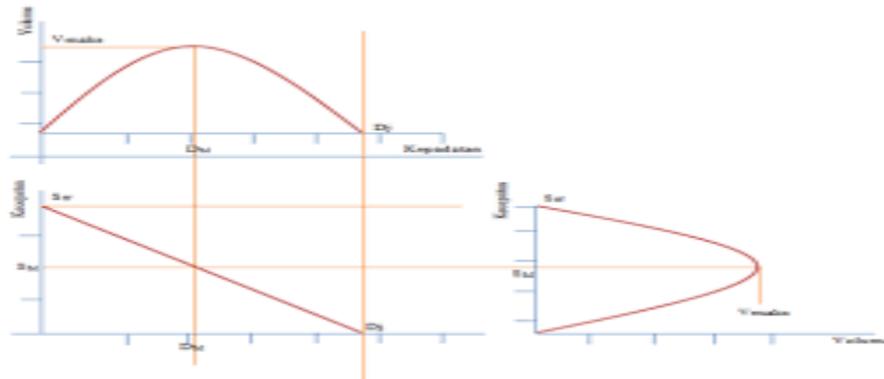
Dimana:

D = Kepadatan lalu lintas (smp/km)

V = Volume lalu lintas (smp/jam)

S = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Hubungan matematis antar parameter tersebut dapat juga dijelaskan dengan menggunakan Gambar 1 yang memperlihatkan bentuk umum hubungan matematis antara kecepatan - kecepatan (S-D), arus kepadatan (V-D), dan arus kecepatan (V-S).



Gambar 2.2 Hubungan Matematis Volume, Kecepatan Dan Kepadatan

Sumber: Buku Ofyar Z Tamin

Dimana:

VM = kapasitas arus maksimum (skr/jam).

SM = kecepatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (skr/jam).

DM = kepadatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (skr/jam).

Sff = kecepatan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati nol atau kecepatan arus bebas (km/jam).

2.5 Kapasitas

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan waktu pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur. Untuk menentukan kapasitas biasanya di pakai Pers. 2.3 adalah sebagai berikut:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_w \times FC_p \times FC_{sf} \times FC_{cs} \text{ (smp/jam)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

C = Kapasitas (smp/jam).

Co = Kapasitas dasar (smp/jam).

FCw = Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas.

FCsp = Faktor penyesuaian pemisah arah.

FCcs = Faktor penyesuaian untuk ukuran kota.

FCsf = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan.

2.5.1 Kapastiras Dasar (Co)

Kapastitas dasar (Co) adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melintasi suatu penampang pada suatu jalur atau jalan selama satuan waktu, dalam keadaan jalan dan lalu lintas yang mendekati ideal yang biasa dicapai. Kapasitas kemampuan ruas jalan untuk menampung arus atau volume lalu lintas yang ideal dalam satuan waktu tertentu. Kapasitas segmen jalan untuk kondisi tertentu (geometri, pola arus lalu lintas dan faktor lingkungan) dinyatakan dalam smp/jam. Kapasitas dasar (Co) kapasitas segmen jalan pada kondisi geometri, ditentukan berdasarkan tipe jalan, dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kapasitas Dasar (Co) Jalan Perkotaan (MKJI 1997)

Tipe Jalan	Kapasitas Dasar smp/jam	Catatan
Empat-lajur terbagi atau jalan satu-arah	1650	Per lajur
Empat-lajur tak-terbagi	1500	Per lajur

Lanjutan Tabel 2.7

Dua-lajur tak-terbagi	2900	Total dua arah
-----------------------	------	----------------

Sumber : MKJI 1997

2.5.2 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pemisah Arah (FCsp)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisah arah adalah faktor penyesuaian kapasitas dasar akibat pemisah arah lalu lintas. Untuk jalan tak terbagi, peluang terjadinya kecelakaan depan lawan depan atau dikenal dengan laga kambing. Faktor penyesuaian pemisah arah dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Penyesuaian Pemisah Arah (MKJI 1997)

Pemisah Arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	60-35	70-30
FCsp	Dua-lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

Sumber : MKJI 1997

2.5.3 Faktor Penyesuaian Untuk Lebar Jalan (FCw)

Faktor penyesuaian untuk lebar jalan adalah faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat lebar jalan, yang berhubungan kepadatan lalu lintas karena jalan yang tidak mampu menampung kendaraan. Faktor penyesuaian lebar jalan ditentukan berdasarkan lebar jalan efektif yang dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalan (FCw) (MKJI 1997)

Tipe	Jalan Lebar Efektif Jalur Lalu lintas (WC)	FCW
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Perlajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
Empat lajur tak terbagi	4,00	1,08
	Perlajur 3,00	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
Dua-lajur tak-terbagi	4,00	1,05
	Total Kedua Arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
10	1,29	
	11	1,34

Sumber : MKJI 1997

2.5.4 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FCcs)

Faktor penyesuaian ukuran kota (FCcs) adalah faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar didasarkan pada jumlah penduduk. Faktor penyesuaian ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FCcs) (MKJI 1997)

Ukuran Kota (Juta penduduk)	Faktor Penyesuaian Untuk Ukuran Kota
<0,1	0,86
0,1-0,5	0,90

0,5-1,0	0,94
1,0-3,0	1,0
>3,0	1,04

Sumber : MKJI 1997

2.6 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan menurut (MKJI, 1997) merupakan rasio arus lalu lintas (smp/jam) terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam menentukan tingkat kinerja pada simpang dan segemen jalan. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus lalu lintas dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam. DS digunakan untuk analisa perilaku lalu lintas berupa kecepatan. Untuk menentukan derajat kejenuhan biasanya di pakai Pers. 2.4 sebagai berikut :

$$DS = Q/C \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

Ds = Derajat kejenuhan

Q = Volume Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Cara yang paling cepat untuk dapat menilai hasilnya adalah dengan melihat derajat kejenuhan dari kondisi yang diamati, dan membandingkan dengan pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur fungsional yang diinginkan dari segmen sebuah jalan tersebut. Jika derajat kejenuhan yang di dapatkan sangat tinggi (DS > 0,75), pengguna Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) mungkin akan

merubah asumsi yang berkaitan dengan penampang melintang jalan dan sebagainya, dan membuat perhitungan baru.

2.7 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan atau Level of Service adalah tingkat pelayanan dari suatu jalan yang menggambarkan kualitas suatu jalan dan merupakan batas kondisi pengoperasian. Tingkat pelayanan suatu jalan merupakan ukuran kualitatif yang digunakan United States Highway Capacity Manual (USHCM 1985) yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas dan penilaian oleh pemakai jalan. Tingkat pelayanan suatu jalan menunjukkan kualitas jalan diukur dari beberapa faktor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pelayanan jalan yaitu:

1. Kondisi Fisik Jalan

a) Lebar Jalan Pada Persimpangan

Pada jalan satu arah lebar jalan yang menuju persimpangan diukur dari permukaan kerb sampai permukaan kerb lainnya. Sedangkan pada jalan dua arah, yang bermaksud dengan lebar jalan adalah jarak dari permukaan kerb sampai pembagi dengan lalu lintas yang berlawanan arah atau median.

b) Jalan Satu Arah Dan Jalan Dua Arah

Pada pengoperasiannya jalan satu arah lebih banyak menguntungkan dari pada jalan dua arah. Hal ini dapat terlihat pada sebagian besar jalan di kota-kota di Indonesia, kebanyakan pada pengoperasiannya jalan satu arah jarang di jumpai

adanya gerakan membelok, sehingga tidak menyebabkan berkurangnya kapasitas suatu jalan.

c) Median

Median merupakan daerah yang memisahkan arah lalu lintas pada segmen jalan. Median yang direncanakan dengan baik meningkatkan kapasitas.

2. Kondisi lingkungan

a) Faktor Jam Sibuk (Peak Traffic Factor, PHF)

Faktor jam sibuk menunjukkan bahwa arus lalu lintas tidak selalu konstan selama 1 jam penuh. Dalam analisa tentang kapasitas dan tingkat pelayanan sebuah ruas jalan, biasanya PHF ditetapkan berdasarkan periode 15 menit.

b) Pejalan Kaki (Pedestrian)

Perlengkapan bagi para pejalan kaki, sebagaimana pada kendaraan bermotor, sangat perlu terutama di daerah perkotaan dan untuk jalan masuk atau keluar dari tempat tinggal. Dalam keputusan Direktur Jendral Bina Marga No. 76/KPTS/Db/1999 jalur pejalan kaki adalah lintasan yang diperuntukan untuk berjalan kaki, dapat berupa trotoar, penyebrangan sebidang (penyebrangan pelican), dan penyeberangan tak sebidang.

c) Kondisi Parkir

Pengaruh dari kendaraan yang parkir diatas lebar efektif jalan seringkali jauh lebih besar dan padat dari ada banyaknya ruang yang digunakan. Oleh karena itu dibutuhkan tempat yang layak yang dapat menampung kendaraan tersebut jika tidak tersedia maka kapasitas jalan tersebut akan berkurang.

d) Pedagang Kaki Lima

Pedagang kaki lima yang berjualan di trotoar, depan toko dan tepi jalan sangat mengganggu aktifitas lalu lintas sehingga mengurangi kapasitas suatu ruas jalan.

Tabel 2.11 Karakteristik Tingkat Pelayanan

V/C	Tingkat Pelayanan Jalan	Keterangan
<0,60	A	Arus lancar, Volume rendah, Kecepatan tinggi
0,60-0,70	B	Arus stabil, Kecepatan terbatas, Volume sesuai untuk jalan luar kota
0,70-0,80	C	Arus stabil, Kecepatan dipengaruhi oleh lalu lintas, Volume sesuai untuk jalan kota
0,80-0,90	D	Arus mendekati tidak stabil, Kecepatan penuh
0,90-0,100	E	Arus tidak stabil, Kecepatan rendah, Volume padat atau mendekati kapasitas
>100	F	Arus yang terhambat, Kecepatan rendah, Volume diatas kapasitas, Banyak berhenti

Sumber : MKJI 1997

2.8 Satuan Mobil Penumpang

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 defenisi dari satuan mobil penumpang (smp) adalah satuan untuk arus lalu lintas dimana arus berbagai tipe kendaraan di ubah menjadi arus kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang (EMP). EMP didefinisikan sebagai faktor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan kendaraan

ringan dalam arus lalu lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan yang sisanya mirip, emp = 1,0). Besaran EMP untuk masing-masing jenis kendaraan pada ruas jalan perkotaan, dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Besaran Ekivalen Mobil Penumpang

Tipe Jalan	Arus lalu lintas dua arah (kend/jam)	HV	EMP	
			MC	
			Lebar jalur lalu-lintas wc (m)	
			≤6	≥6
Dua Lajur Tak Terbagi	0 ≤ 1800	1,3	0,5	0,40
		1,2	0,35	0,25
Empat Lajur Tak Terbagi	0 ≥ 3700	1,3	0,40	
		1,2	0,25	

Sumber : MKJI 1997

2.9 Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan

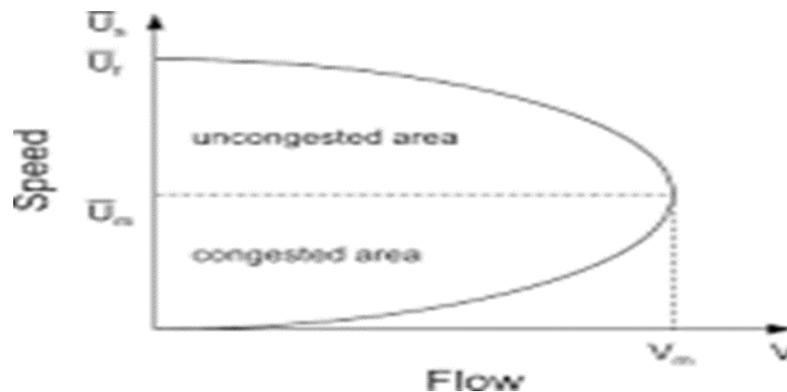
Aliaran lalu lintas pada suatu ruas jalan raya terdapat 3 (tiga) variabel utama yang untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas, yaitu:

1. Volume (flow), yaitu jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tinjau tertentu pada suatu ruas jalan per satuan waktu tertentu.
2. Kecepatan (speed), yaitu jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada ruas jalan per satuan waktu
3. Kepadatan (density), yaitu jumlah kendaraan per satuan panjang jalan tertentu

Hubungan antara satu dengan yang lainnya. Hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat di gambarkan secara grafis dengan menggunakan persamaan matematis.

2.9.1 Hubungan Volume – Kecepatan

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. Hubungan keduanya ditunjukkan pada gambar berikut ini.



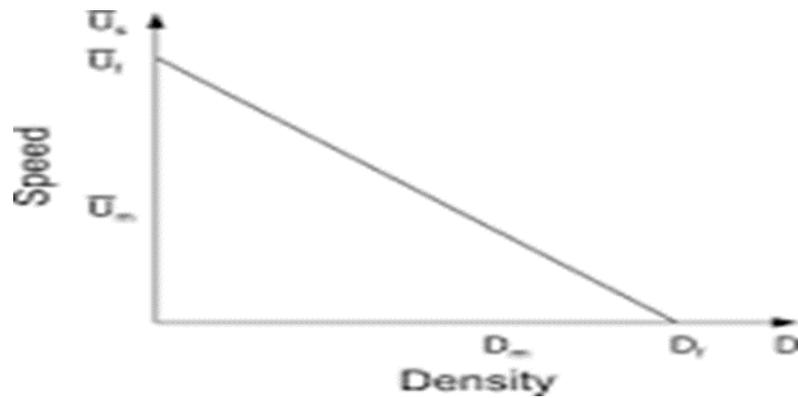
Gambar 2.3 Hubungan Volume – Kecepatan

Sumber: Google Images

Setelah kepadatan kritis tercapai, maka kecepatan rata - rata ruang dan volume akan berkurang jadi kurva diatas menggambarkan dua kondisi yang berbeda, lengan atas menunjukkan kondisi stabil dan lengan bawah menunjukkan kondisi arus padat.

2.9.2 Hubungan Kecepatan - Kepadatan

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

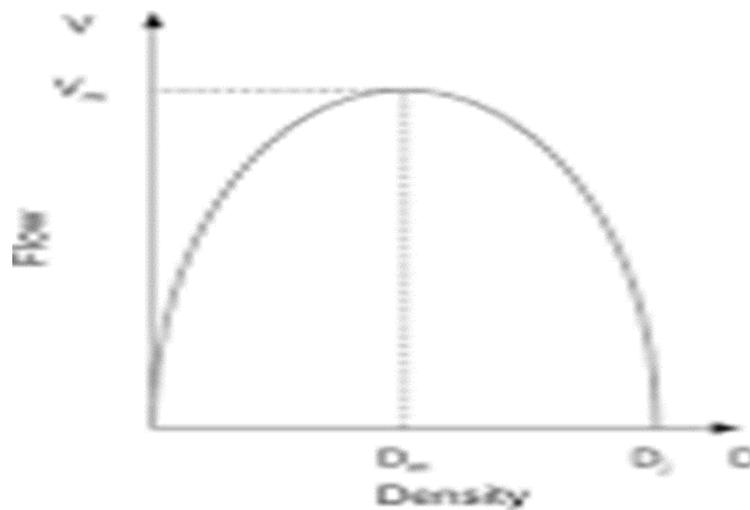


Gambar 2.4 Hubungan Kecepatan – Kepadatan

Sumber: Google Images

2.9.3 Hubungan Volume - Kepadatan

Volume maksimum terjadi (V_m) terjadi pada saat kepadatan mencapai titik D_m (kapasitas jalur jalan sudah tercapai). Setelah mencapai titik ini volume akan menurun walaupun kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan dititik D_j . hubungan keduanya ditunjukkan pada saat gambar berikut.



Gambar 2. 5 Hubungan Volume - Kepadatan

Sumber: Google Images

2.10 Model Greenshield

Greenshield merumuskan bahwa hubungan matematis antara kecepatan - kepadatan (S-D) diasumsikan linear, seperti yang dinyatakan dengan persamaan:

$$S = S_{ff} - \frac{S_{FF}}{D_j} \cdot D \dots\dots\dots(2.5)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kepadatan (V-D) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.5), dan dengan memasukan persamaan (2.6) dan (2.7), maka bisa diturunkan persamaan (2.8).

$$S = \frac{V}{D} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\frac{V}{D} = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Persamaan (2.8) adalah persamaan yang dinyatakan hubungan matematis antara volume - kepadatan (V-D) kondisi volume maksimal (V_M) bisa didapatkan pada saat kepadatan $D=D_M$ bisa didapatkan melalui persamaan (2.9) - (2.10)

$$\frac{\partial V}{\partial D} = S_{ff} - \frac{2 \cdot S_{ff}}{D_j} \cdot D_M = 0 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$D_M = \frac{D_j}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan memasukan persamaan (2.10) ke persamaan (2.8), maka nilai V_M bisa didapa seperti terlihat dalam persamaan (2.11) - (2.12).

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{2} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{(D_j)^2}{4} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \dots\dots\dots(2.12)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-S) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.4), dan dengan memasukan persamaan (2.13) ke persamaan (2.5), maka bisa ditentukan melalui persamaan (2.14) - (2.16).

$$D = \frac{V}{S} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{V}{S} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{V}{S} = S_{ff} - S \dots\dots\dots(2.15)$$

$$V = D_j \cdot S - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Persamaan (2.16) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-S). konsisi volume maksimum (V_M) bisa didapat pada saat kecepatan S=S_M bisa didapat melalui persamaan (2.17) - (2.18)

$$\frac{\partial V}{\partial S} = D_j - \frac{2 \cdot D_j}{S_{ff}} \cdot S_M = 0 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$S_M = \frac{S_{ff}}{2} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan memasukan persamaan (2.18) ke persamaan (2.19), maka persamaan V_M bisa didapatkan seperti terlihat dalam persamaan (2.20) - (2.21) berikut

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{2} - \frac{D_j}{S_{ff}} - \frac{(S_{ff})^2}{4} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \dots\dots\dots(2.21)$$

Sehingga dapat disimpulkan untuk model *Greenshields* bahwa volume

maksimum $V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4}$ dapat dicapai pada kondisi kecepatan $S_M = \frac{S_{ff}}{2}$ dan

kepadatan $D_M = \frac{D_j}{2}$.

Tabel 2.13 Rangkuman Persamaan Yang Dihasilkan Model *Greenshields*.

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D$	V_M	$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4}$
V-D	$V = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D^2$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V-S	$V = S_{ff} - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2$	D_M	$D_M = \frac{D_j}{4}$

Sumber: Buku Ofyar Z Tamin. hal.705

2.11 Model Greenberg

Greenberg mengansumsiakan bahwa hubungan matematis antara kepadatan - kecepatan (D-S) bukan merupakan fungsi linear maliankan fungsi eksponensial persamaan dasar model *Greenberg* dapat dinyatakan melalui persamaan (2.22).

$$D = C \cdot e^{-bS} \dots\dots\dots(2.22)$$

Diamana: C dan b merupakan kostanta.

Jika persamaan (2.22) dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan (2.22) dapat dinyatakan kembali sebagai persamaan (2.23), sehingga hubungan matematis antara kecepatan - kepadatan (S - D) selanjutnya dapat dinyatakan dalam persamaan (2. 26) yang dinyatakan dalam bentuk logaritma natural.

$$\text{Ln } D = \text{Ln } C - bS \dots\dots\dots(2.23)$$

$$bS = \text{Ln } C - \text{Ln } D \dots\dots\dots(2.24)$$

$$S = \frac{\text{Ln } C}{b} - \frac{\text{Ln } D}{b} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S = \frac{1}{b} \text{Ln } \frac{C}{D} \dots\dots\dots(2.26)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kecepatan (V- D) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.7) $S = \frac{V}{D}$ ke persamaan (2.26), maka bisa diturunkan persamaan (2.27) - (2.28).

$$\frac{V}{D} = \frac{1}{b} \text{Ln } \frac{C}{D} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$V = \frac{D}{b} \text{Ln } \frac{C}{D} \dots\dots\dots(2.28)$$

Persamaan (2.28) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara volume - kepadatan V- D_M . bisa didapatkan melalui persamaan (2.29) - (2.33)

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \frac{1}{b} \cdot \text{Ln } \frac{C}{D_M} + \frac{D_M}{b} \cdot \left(\frac{-1}{D_M}\right) = 0 \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\frac{1}{b} \cdot \text{Ln } \frac{C}{D_M} - \frac{1}{b} = 0 \dots\dots\dots(2.30)$$

$$(\ln C - \ln D_M) - 1 = 0 \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\ln D_M = \ln C - 1 \dots\dots\dots(2.32)$$

$$D_M = e^{\ln C - 1} = \frac{C}{e} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.33) ke persamaan (2.28), maka nilai V_M bisa didapat seperti terlihat dalam persamaan (2.35).

$$V_M = \frac{C}{eb} \cdot (\ln C - \ln C + 1) \dots\dots\dots(2.34)$$

$$V_M = \frac{C}{be} \dots\dots\dots(2.35)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kecepatan ($V - S$) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.5) dan selanjutnya dengan memasukkan persamaan (2.14) ($D = \frac{V}{S}$) ke persamaan (2.22), maka bisa diturunkan persamaan (2.36) - (2.37).

$$\frac{V}{S} = C \cdot e^{-Bs} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$V_M = \frac{C}{be} \dots\dots\dots(2.37)$$

Persamaan (2.37) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara volume - kecepatan ($V-S$). kondisi volume maksimum (V_M) bisa didapatkan pada saat kecepatan $S=S_M$ bisa didapatkan melalui persamaan (2.38) -(2.40).

$$\frac{\partial V}{\partial S} = C e^{-bS_M} - S_M C b e^{-bS_M} = 0 \dots\dots\dots(2.38)$$

$$C e^{-bS_M} (1 - S_M b) = 0 \dots\dots\dots(2.39)$$

$$S_M = \frac{1}{b} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dengan memasukan persamaan (2.40) ke persamaan (2.37), maka nilai V_M bisa didapatkan seperti terlihat dalam persamaan (2.42)

$$V_M = \frac{1}{b} \cdot C \cdot e^{-1} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$V_M = \frac{C}{be} \dots\dots\dots(2.42)$$

Sehingga dapat disimpulkan untuk model Greenberg bahwa volume maksimum $V_M = \frac{C}{be}$ dapat dicapai pada kondisi kecepatan $S_M = \frac{1}{b}$ dan kepadatan

$$D_M = \frac{C}{e} .$$

Tabel 2.14 Rangkuman Persamaan Yang Dihasilkan Model *Greenberg*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S - D	$S = S_M \ln \frac{C}{D}$	V_M	$V_M = \frac{C}{be}$
V - D	$V = D S_M \ln \frac{C}{D}$	S_M	$S_M = \frac{1}{b}$
V - S	$V = S \cdot C \cdot e^{-\frac{S}{S_M}}$	D_M	$D_M = \frac{C}{e}$

Sumber: Buku Ofyar Z Tamin. hal.715

2.12 Model Underwood

Underwood mengansumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan - kepadatan (S-D) bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi eksponensial, sebagaimana dinyatakan melalui persamaan (2.43).

$$S = S_{ff} \cdot e^{\frac{D}{D_M}} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana:

S_{ff} = kecepatan arus bebas

D_M = kepadatan pada kondisi volume maksimum (kapasitas)

Jika persamaan (2.43) dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan (2.43) dapat dinyatakan kembali sebagai persamaan (2.44) sehingga hubungan matematis antara kecepatan - kepadatan (S-D) selanjutnya juga dapat dinyatakan dalam persamaan (2.44)

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{D_M} \dots\dots\dots(2.44)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-S) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.5), dan dengan memasukan persamaan (2.7) ke persamaan (2.43), bisa diturunkan persamaan (2.45) - (2.46).

$$\frac{V}{D} = S_{ff} \cdot e^{\frac{-D}{D_M}} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$V = D \cdot S_{ff} \cdot e^{\frac{-D}{D_M}} \dots\dots\dots(2.46)$$

Persamaan (2.46) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-D). Kondisi volume maksimum (V_M) bisa didapat pada saat kepadatan $D=D_M$. dengan memasukan nilai D_M ke persamaan (2.46), maka nilai V_M bisa didapat seperti terlihat dalam persamaan (2.47).

$$V_M = \frac{D_M \cdot S_{ff}}{e} \dots\dots\dots(2.47)$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-S) dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar (2.5) dan selanjutnya dengan memasukan persamaan (2.14) ke persamaan (2.47), bisa diturunkan ke persamaan (2.48) - (2.52).

$$S = S_{ff} \cdot e^{\frac{-V}{S \cdot D_M}} \dots\dots\dots(2.48)$$

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{V}{S \cdot D_M} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$\frac{V}{S \cdot D_M} = \ln S_{ff} - \ln S \dots\dots\dots(2.50)$$

$$V = S \cdot D_M \cdot (\ln S_{ff} - \ln S) \dots\dots\dots(2.51)$$

$$V_M = S D_M \ln \frac{S_{ff}}{S} \dots\dots\dots(2.52)$$

Persamaan (2.52) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara volume - kecepatan (V-S). kondisi volume maksimum (V_M) bisa didapatkan pada saat kecepatan S=S_M. nilai S=S_M bisa dapatkan melalui persamaan (2.53) - (2.56).

$$\frac{\partial V}{\partial S} = D_M(\ln S_{ff} - \ln S_M) + D_M \cdot S_M \left[-\frac{1}{S_M} \right] = 0 \dots\dots\dots(2.53)$$

$$D_M (\ln S_{ff} - \ln S_M) - D_M = 0 \dots\dots\dots(2.54)$$

$$(\ln S_{ff} - \ln S_M) = 1 \dots\dots\dots(2.55)$$

$$S_M = e^{\ln S_{ff} - 1} = \frac{S_{ff}}{e} \dots\dots\dots(2.56)$$

Dengan memasukan persamaan (2.56) ke persamaan (2.52) maka niali V_M bisa didapatkan seperti terlihat dalam persamaan (2.58)

$$V_M = \frac{S_{ff}}{e} \cdot D_M \cdot (\ln S_{ff} - \ln S_{ff} + 1) \dots\dots\dots(2.57)$$

$$V_M = \frac{D_M \cdot S_{ff}}{e} \dots\dots\dots(2.58)$$

Tabel 2.15 memperlihatkan rangkuman beberapa persamaan yang dihasilkan dari model *underwood*.

Tabel 2. 15 Rangkuman Persamaan Yang Dihasilkan Model *Underwood*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} \cdot e^{-\frac{D}{D_M}}$	V_M	$V_M = \frac{D_M \cdot S_{ff}}{e}$
V-D	$V = D \cdot S_f \cdot e^{-\frac{D}{D_M}}$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V-S	$V = S D_M \ln - \frac{S_{ff}}{S}$	D_M	D_M

Sumber: Buku ofyar z tamin. Hal.722

2.13 Regresi Linier Berganda

Analisis regresi secara konseptual merupakan metode sederhana untuk memeriksa hubungan antara variabel (Chatterjee & Hadi, 1986). Hubungan antara variabel yang dimaksudkan tersebut digambarkan dalam bentuk persamaan atau

model yang menghubungkan antara variabel dependen (Y) dan satu atau lebih variabel independen (X).

Variabel dependen dinotasikan dengan Y dan himpunan dari variabel independen dinotasikan dengan X_1, X_2, \dots, X_n , dimana n merupakan jumlah variabel independen. Model regresi linear yang terdiri dari satu variabel dependen dan satu variabel independen disebut dengan regresi linear sederhana, sedangkan model regresi linear yang terdiri dari beberapa variabel independen dan satu variabel dependen merupakan model regresi linear berganda. Model regresi linear berganda (Faraway, 2002):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + e_n \dots \dots \dots (2.59)$$

Dengan Y_i merupakan nilai variabel dependen dalam observasi ke-i, $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ merupakan variabel independen pada observasi ke-i dan parameter ke-n, dan $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \dots \beta_n$ merupakan parameter regresi yang tidak diketahui nilainya dan akan dicari nilai estimasinya, e_n merupakan galat yang berdistribusi normal dengan mean-nya nol dan variansinya $e_n \sim N$.