

**ANALISIS PENGGUNAAN MODEL *GREENSHIELDS*
UNTUK PERHITUNGAN VOLUME, KECEPATAN,
DAN KERAPATAN ARUS LALU LINTAS
(STUDI KASUS DI JALAN TOL JAGORAWI)**

Rulhendri

Jurusan Teknik Sipil — Fakultas Teknik — UIKA Bogor

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN MODEL *GREENSHIELDS* UNTUK PERHITUNGAN VOLUME, KECEPATAN, DAN KERAPATAN ARUS LALU LINTAS (STUDI KASUS DI JALAN TOL JAGORAWI). Tiga variabel lalu lintas, yaitu (volume atau *flow*), (kerapatan atau *density*), dan (kecepatan atau *speed* rerata ruang) menggambarkan berapa banyak kendaraan yang bergerak pada saat bersamaan dan kualitas kapasitas dan tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi masing-masing kendaraan. Pada makalah ini dilakukan analisis terhadap ketiga variabel dimaksud dengan data yang dicatat secara langsung di lokasi *Rest II* (sejauh 30 km dari pintu gerbang Bogor) Jalan Tol Jagorawi. Hasil analisis tersebut dituangkan dalam bentuk suatu model matematis **Greenshields**, sehingga dapat diketahui variasi hubungan antara ketiga variabel tersebut dan nilai maksimumnya. Pengamatan dilakukan di Jalan Tol Jagorawi Rest II. Hubungan - digambarkan sebagai sebuah garis lurus atau fungsi linier, yaitu $Q = 86,5695 - 0,4306 V$ dengan $V = -0,2995$ (untuk 5 menit), $Q = 109,4953 - 1,2257 V$ dengan $V = -0,5035$ (untuk 10 menit), dan $Q = 78,2423 - 0,1209 V$ dengan $V = -0,0996$ (untuk 15 menit). Hubungan - digambarkan sebagai garis lengkung, yaitu $Q = 86,5695 - 0,4306 V$ (untuk 5 menit), $Q = 109,4953 - 1,2257 V$ (untuk 10 menit), dan $Q = 78,2423 - 0,1209 V$ (untuk 15 menit). Hubungan - juga digambarkan sebagai garis lengkung, yaitu $Q = 201,0439 - 2,3223 V$ (untuk 5 menit), $Q = 89,3329 - 0,8159 V$ (untuk 10 menit), dan $Q = 647,1654 - 8,2713 V$ (untuk 15 menit). Sedangkan untuk nilai-nilai maksimum berupa nilai (kerapatan maksimum saat volume maksimum) diperoleh hasil 100,5219 smp/km (periode 5 menit), 44,6664 smp/km (periode 10 menit), dan 329,5827 smp/km (periode 15 menit); Nilai (kecepatan pada saat volume maksimum) diperoleh hasil 43,2847 km/jam (periode 5 menit), 54,7476 km/jam (periode 10 menit), 39,1211 km/jam (periode 15 menit); Nilai yang terjadi yaitu 4351,0602 smp/jam (periode 5 menit), 2445,3782 smp/jam (periode 10 menit), dan 12658,9110 smp/jam (periode 15 menit).

Kata-kata kunci: Model *Greenshields*, volume, kecepatan, kerapatan arus lalu lintas.

ABSTRACT

ANALYSIS OF USING OF GREENSHIELDS MODELS FOR CALCULATION OF VOLUME, SPEED, AND DENSITY OF TRAFFIC (CASE STUDY AT JAGORAWI

FREEWAY). The three variables of traffic, i.e. (volume or flow), (density), and (speed mean space) are due to perform the quantity of vehicles in a certain time and the quality of capacity and the service of driver too. This paper presents an analysis for the variance of three variables with the datas has recorded directly at Rest II (is 30 kms from Bogor gate) Jagorawi freeway. The result of the analysis is performed by a mathematical model called **Greenshields**, than the relationship between three variables and maximum values are known.

- relationships is discribed as linear function, i.e: $Q = 86.5695 - 0.4306 V$ and $Q = 0.2995 (5 \text{ minutes period}), Q = 109.4953 - 1.2257 V$ and $Q = - 0.5035 (10 \text{ minutes period}),$ and $Q = 78.2423 - 0.1209 V$ and $Q = - 0.0996 (15 \text{ minutes period}).$ - relationships is discribed as curved line, i.e: $Q = 86.5695 - 0.4306 V (5 \text{ minutes period}), Q = 109.4953 - 1.2257 V (10 \text{ minutes period}),$ dan $Q = 78.2423 - 0.1209 V (15 \text{ minutes period}).$ - relationships is discribed as curved line, i.e: $Q = 201.0439 - 2.3223 V (5 \text{ minutes period}), Q = 89.3329 - 0.8159 V (10 \text{ minutes period}),$ dan $Q = 647.1654 - 8.2713 V (15 \text{ minutes period}).$ values (maximum density in maximum volume) are 100.5219 pcu/km (5 minutes period), 44.6664 pcu/km (10 minutes period), and 329.5827 pcu/km (15 minutes period); values (maximum speed in maximum volume) are 43.2847 km/hour (5 minutes period), 54.7476 km/hour (10 minutes period), 39.1211 km/hour (15 minutes period); values are 4351.0602 pcu/hour (5 minutes period), 2445.3782 pcu/hour (10 minutes period), 12658.9100 pcu/hour (15 minutes period).

Keywords: Greenshields Model, traffic flow, speed, density.

1 PENDAHULUAN

Fungsi jaringan jalan dalam ilmu rekayasa transportasi merupakan sarana transportasi secara khusus dan lalu lintas secara umum. Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut, maka suatu ruas jalan harus dirancang agar semua pengguna jalan baik jenis kendaraan bermotor maupun tidak bermotor termasuk pula para pejalan kaki dapat bergerak cepat, biaya relatif murah, dapat sampai di tempat tujuan dengan aman dan lancar, dan sesuai kondisi lingkungan[1].

Arus lalu lintas yang berkenaan dengan teori-teori lalu lintas saat ini dikonsentrasikan kepada variabel-variabel (volume atau *flow*), (kerapatan atau *density*), dan (kecepatan atau *speed*). Ketiga variabel lalu lintas tersebut semakin hari semakin mendapat perhatian khusus di mana kesemuanya menggambarkan berapa banyak kendaraan yang bergerak pada saat bersamaan. Disamping itu, hubungan ketiga variabel tersebut menggambarkan kualitas kapasitas dan tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi masing-masing kendaraan[2].

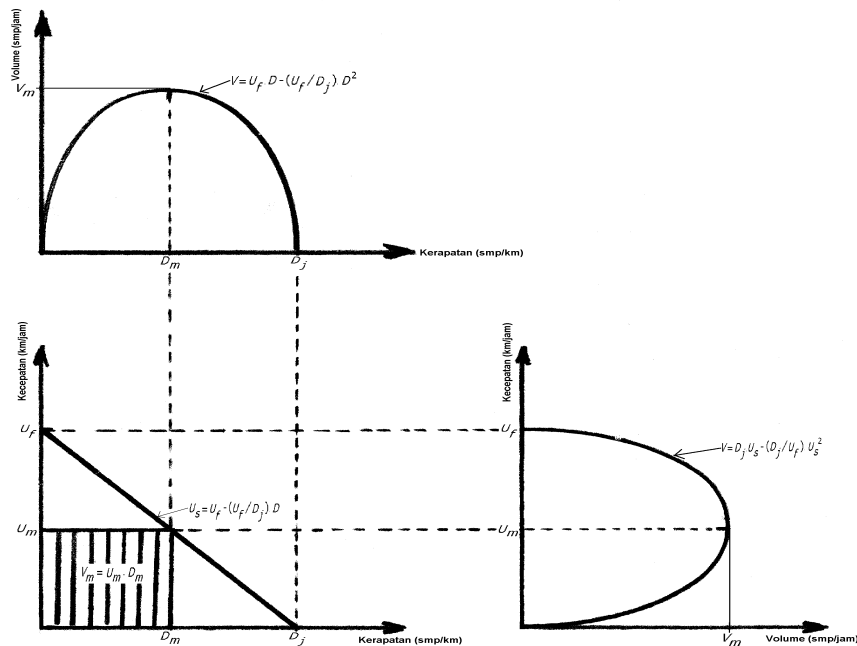
Dalam makalah ini dikemukakan variasi hubungan di antara ketiga variabel arus lalu lintas (volume, kerapatan, dan kecepatan) dalam pendekatan matematis dilengkapi penggambaran secara grafikal dengan ketiga variabel tersebut diasumsikan linier.

2 TEORI

Dua hal penting yang dapat digunakan sebagai gambaran kendaraan dan biasa terjadi dalam aliran arus lalu lintas (terutama pada kondisi yang sangat padat), yaitu:

1. (kerapatan) mendekati nilai nol, di mana suatu keadaan lalu lintas sangat sepi yang mengakibatkan kecepatan rerata kendaraan pada kondisi arus bebas dan mendekati nilai tertinggi, dan
2. Bilamana nilai kerapatan tersebut mendekati nilai tertinggi (maksimum), keadaan tersebut dinamakan kerapatan jenuh (*saturated density*), sehingga kecepatan rerata perjalanannya mendekati nilai nol[2].

Hubungan antara ketiga variabel (volume, kecepatan, dan kerapatan) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Hubungan antara volume, kecepatan, dan kerapatan

2.1 Model Hubungan

Daniel dan **Matthew** menyatakan, bahwa seseorang pengemudi akan menaikkan kecepatannya sebagaimana halnya sejumlah kendaraan di sekitarnya naik kecepatannya, sehingga terjadi interaksi peka antara kecepatan dan kerapatan dan keduanya berasal dari arus yang dapat dihitung. Oleh karena itu, pada awalnya investigator mengeksplorasi hubungan antara kecepatan dan kerapatan. Beberapa teori yang terkait dengan hubungan antara kecepatan dan kerapatan, antara lain teori-teori yang dikembangkan **Greenshields**, **Greenberg**, dan **Underwood**.

2.1.1 Hubungan dan 1

Hubungan yang paling sederhana dan sangat jelas adalah hubungan linear seperti dikemukakan oleh **Greenshields** (salah satu dari beberapa peneliti di bidang karakteristik lalu lintas pada studi jalan-jalan di luar kota Ohio, Amerika Serikat). **Greenshields** mengusulkan sebuah hubungan linier antara arus (dalam hal ini kecepatan rerata ruang lalu lintas yang lewat) dan kerapatan pada lalu lintas tersebut (*density*). Hubungan antara keduanya dirumuskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\dots\dots\dots(1),$$

dengan:

=kecepatan rerata ruang (*space mean speed*), (km/jam),

=kecepatan pada kondisi arus bebas, (km/jam),

=kerapatan dalam kondisi waktu macet, (smp/km),

=kerapatan lalu lintas, (smp/km).

Model **Greenshields** tersebut dikenal dengan *Greenshields Linear Speed Concentration Models*. Model ini mudah digunakan dan beberapa penelitian telah menemukan adanya hubungan (korelasi) antara model dan data lapangan. Persamaan dasar sebagai persamaan yang menggambarkan hubungan antara v dan k , adalah:

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_m} \right) \tag{2}$$

Menggunakan persamaan (1) tersebut terhadap nilai v dan k pada persamaan (2) dapat dijelaskan dengan mengasumsikan $v = 0$, maka diperoleh:

$$0 = v_f \left(1 - \frac{k}{k_m} \right) \tag{3}$$

sedangkan jika $k = 0$, maka:

atau

$$v = v_f \tag{4}$$

Hasil yang telah diperoleh sebagai persamaan (3) dan (4) tersebut disubstitusikan ke persamaan (2), sehingga terbentuk persamaan baru seperti ditunjukkan pada persamaan (1).

Hubungan antara variabel v , k , dan k_m seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

atau

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_m} \right) \tag{5}$$

2.1. Hubungan v dan k

2

Menggunakan persamaan (5) yang disubstitusikan ke persamaan (1) akan diperoleh hubungan antara v dan k , yaitu:

, atau

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_m} \right) \tag{6}$$

Untuk mendapatkan suatu kondisi dengan nilai v maksimum (v_{max}), mula-mula dilakukan diferensiasi terhadap persamaan (6) menggunakan persamaan:

$$\frac{dv}{dk} = 0 \tag{7}$$

sehingga diperoleh:

$$, \text{ atau } , \text{ atau } , \text{ atau}$$

$$\dots\dots\dots(8).$$

Nilai ini merupakan nilai kerapatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (), sehingga dapat ditulis:

$$\dots\dots\dots(9).$$

Selanjutnya nilai pada persamaan (8) disubstitusikan kembali ke persamaan (6) untuk mendapatkan :

$$, \text{ atau } , \text{ atau}$$

$$, \text{ atau}$$

$$\dots\dots\dots(10).$$

2.1. Hubungan dan 3

Menggunakan persamaan (5) yang disubstitusikan ke persamaan (1) akan diperoleh hubungan antara dan , yaitu atau , atau

$$, \text{ atau}$$

$$\dots\dots\dots(11).$$

Untuk mendapatkan suatu kondisi dengan nilai maksimum (), mula-mula dilakukan diferensiasi terhadap persamaan (6) menggunakan persamaan:

$$\dots\dots\dots(12),$$

sehingga diperoleh:

$$, \text{ atau } , \text{ atau}$$

$$\dots\dots\dots(13)$$

Nilai ini merupakan nilai kecepatan rerata pada kondisi arus lalu lintas maksimum (), sehingga dapat ditulis:

$$\dots\dots\dots(14).$$

Selanjutnya nilai yang telah diperoleh pada persamaan (13) disubstitusikan kembali ke persamaan (11) untuk mendapatkan :

$$\dots\dots\dots, \text{ atau } \dots\dots\dots, \text{ atau } \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots(15).$$

Persamaan (15) ini merupakan persamaan (10) yang telah dikemukakan terdahulu.

2.2 Faktor Konversi Kendaraan

Lalu lintas yang ada pada suatu ruas jalan pada kenyataannya tidak homogen. Aliran lalu lintas yang terjadi merupakan gabungan antara gerakan moda dengan karakteristik masing-masing, sehingga keanekaragaman ini membentuk perilaku yang berbeda-beda untuk setiap komposisi dan berpengaruh pula terhadap arus lalu lintas secara keseluruhan. Untuk memudahkan dalam analisis perhitungan dan keseragaman, maka pengaruh tersebut menurut **Indonesia Highway Capacity Manual Part 1 Urban Road No. 09/T/BNKT/1993**[4] dikonversikan terhadap kendaraan ringan (*Light Vehicle Unit/ LVU*) ini seperti yang sudah lazim digunakan, digantikan dengan smp (satuan mobil penumpang), sehingga timbul nilai faktor jenis kendaraan tersebut terhadap smp. Menggunakan ekivalensi tersebut kita dapat menilai setiap komposisi lalu lintas ke dalam smp. Untuk pemakaian praktis nilai smp tiap jenis kendaraan digunakan nilai standar seperti ditunjukkan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Konversi jenis kendaraan ke smp (satuan mobil penumpang)

No.	Jenis Kendaraan	Smp
1.	Kendaraan Ringan	1,00
2.	Kendaraan Berat	1,20
3.	Sepeda Motor	0,25
4.	Kendaraan Tidak Bermotor	0,80

2.3 Regresi dan Korelasi

Model pendekatan arus lalu lintas yang telah banyak digunakan dalam menentukan karakteristik hubungan kecepatan dan kerapatan adalah menggunakan analisis regresi. Dalam hubungan yang disajikan dalam bentuk persamaan regresi linier, maka variabel (tidak bebas, *dependent*) adalah linear terhadap variabel (bebas, *independent*), sehingga hubungan kedua variabel (kecepatan dan kerapatan) itu adalah linier dan ditulis dalam fungsi regresi seperti berikut[3]:

$$\dots\dots\dots(16),$$

dengan:

=konstanta regresi ,

=konstanta regresi ,

=jumlah data atau sampel.

Untuk mengetahui sejauh mana ketepatan fungsi regresi dilakukan dengan melihat nilai (koefisien determinasi), yaitu suatu parameter yang didapat dengan cara mengkuadratkan nilai (koefisien korelasi). Nilai tersebut dihitung dengan persamaan:

$$\dots\dots\dots(17).$$

Kuat tidaknya hubungan antara variabel dan dapat dilihat dari besar nilai tersebut. Besar nilai terletak , jika nilai mendekati -1 atau +1 maka persamaan regresi yang dihasilkan adalah kuat. Sebaliknya, jika nilai tersebut mendekati 0 (nol) maka persamaan regresi yang dihasilkan lemah.

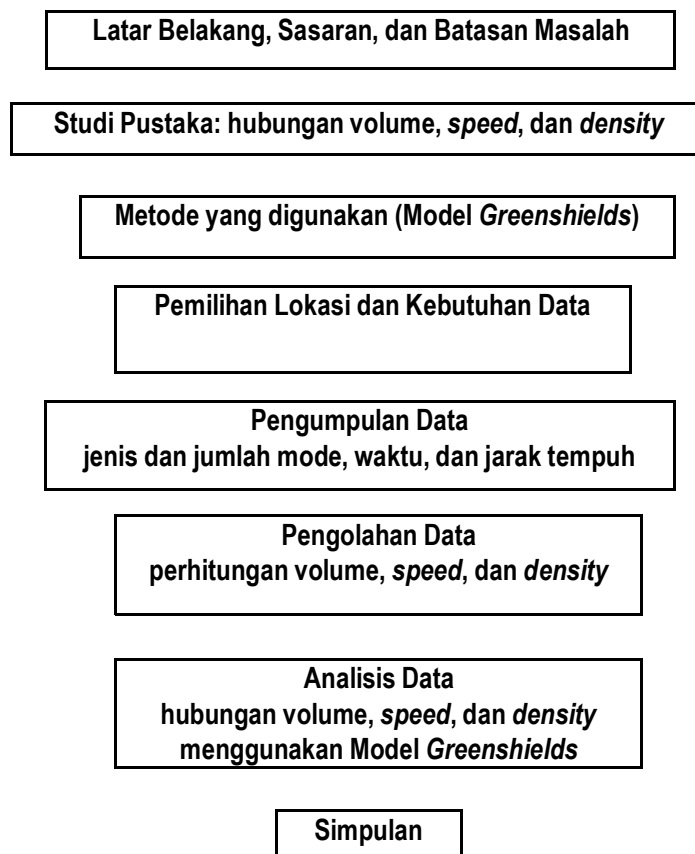
3 METODOLOGI

3.1 Bagan Metodologi

Untuk melakukan dan memperlancar kegiatan harus dilakukan upaya secara teratur dan dalam bentuk tahapan-tahapan yang sistematis, baik sebelum kegiatan tersebut dilakukan (dalam bentuk gagasan), perencanaan, pelaksanaan, dan pembuatan keputusan. Tahapan-tahapan dimaksud secara garis besar, meliputi:

- Penuangan ide atau gagasan yang selanjutnya dituangkan ke dalam bentuk latar belakang yang meliputi sasaran atau tujuan, batasan masalah, penentuan lokasi penelitian dan keterangan pendukung lainnya.
- Melakukan pengkajian atau studi pustaka yang berhubungan dengan penelitian, rumus-rumus yang dipakai, termasuk hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan dan perlu untuk dipelajari demi lengkapnya pengetahuan tentang penelitian tersebut.
- Kemudian dilakukan penelitian di lapangan untuk mendapatkan data-data yang harus didapatkan.
- Data lapangan kemudian diolah ke dalam bentuk penghitungan terkait yang dipakai sebagai dasar analisis.
- Melakukan analisis dengan rumusan yang telah didapat dari pengkajian pustaka.
- Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar pembuatan simpulan.

Untuk lebih memperjelas tahapan-tahapan, secara ringkas ditunjukkan dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir metodologi

3.2 Variabel Yang Diukur

Variabel yang diukur dalam kegiatan penelitian ini adalah volume, kerapatan, dan kecepatan kendaraan. Dalam menentukan volume kendaraan yang dilakukan di lapangan harus diingat berbagai moda kendaraan, kemudian dikonversikan ke smp. Untuk kecepatan kendaraan dipakai kecepatan rerata ruang yang didapat dari kecepatan rerata yang ditempuh kendaraan, yaitu jarak dibagi waktu tempuh kendaraan tersebut melewati panjang lintasan yang telah ditentukan. Untuk mengetahui besar nilai kecepatan rerata ruang (*space mean speed*) menggunakan persamaan:

$$\dots\dots\dots(18),$$

dengan:

=jumlah data atau sampel.

=kecepatan rerata waktu tempuh kendaraan.

Untuk mendapatkan nilai kerapatan kendaraan dilakukan melalui dua variabel yang telah diperoleh, yaitu membagi volume kendaraan dengan kecepatan rerata waktu tempuh kendaraan.

3.3 Pemilihan Lokasi, Survei Pendahuluan, dan Pengambilan Data

Pemilihan lokasi sangat menentukan hasil yang akan diperoleh dalam penghitungan, sehingga penentuan lokasi ditetapkan ketentuan sebagai berikut:

- Dilakukan pada ruas jalan yang lurus dengan arus lalu lintas berupa aliran konstant, pengaruh akibat adanya persimpangan dan gangguan lainnya harus dibuat sekecil mungkin.
- Lebar jalan yang dipakai sebagai pengamatan adalah lebar efektif jalan pada jalur lalu lintas yang tidak terganggu.
- Kondisi lapisan perkerasan (lapisan permukaan) dan keadaan geometrik jalan baik.
- Lalu lintas yang melewati lokasi bervariasi dalam hal jenis, kecepatan, dan ukuran kendaraan (kendaraan ringan dan berat).

Dalam penelitian ini ditetapkan lokasi yang dipilih adalah Jalan Tol Jagorawi di daerah Cibinong (Rest II sejauh 30 km dari pintu gerbang Bogor).

Sebelum dilakukan pengambilan data secara lengkap, dilakukan kegiatan survei pendahuluan sebagai bahan pertimbangan dan bersifat penjajakan, meliputi:

1. Menetapkan pemilihan metode yang didasarkan pada kemampuan data yang akan digunakan
2. Menaksir keadaan (mutu) dan kebutuhan data yang akan diambil.
3. Menentukan pembagian periode pengamatan atau observasi yang dipandang penting.

Periode pengamatan, macam dan banyaknya data yang akan diambil ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 2. Periode pengambilan data 5 menitan.

No	Waktu	No.	Waktu	No.	Waktu
1	06.00-06.05	49	10.00-10.05	77	14.00-14.05
2	06.05-06.10	50	10.05-10.10	78	14.05-14.10
3	06.10-06.15	51	10.10-10.15	79	14.10-14.15
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
46	09.45-09.50	74	13.45-13.50	142	17.45-17.50
47	09.50-09.55	75	13.50-13.55	143	17.50-17.55
48	09.55-10.00	76	13.55-14.00	144	17.55-18.00

Tabel 3. Periode pengambilan data 10 menitan

No.	Waktu	No.	Waktu	No.	Waktu
1	06.00-06.10	25	10.00-10.10	49	14.00-14.05
2	06.10-06.20	26	10.10-10.20	50	14.05-14.10
3	06.20-06.30	27	10.20-10.30	51	14.10-14.15
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
22	09.30-09.40	46	13.30-13.40	70	17.45-17.50
23	09.40-09.50	47	13.40-13.50	71	17.50-17.55

24	09.50-10.00	48	13.50-14.00	72	17.55-18.00
----	-------------	----	-------------	----	-------------

Tabel 4. Periode pengambilan data 15 menitan

No.	Waktu	No.	Waktu	No.	Waktu
1	06.00-06.15	16	10.00-10.15	33	14.00-14.15
2	06.15-06.30	17	10.15-10.30	34	14.15-14.30
3	06.30-06.45	18	10.30-10.45	35	14.30-14.45
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
14	09.15-09.30	30	13.15-13.30	46	17.15-17.30
15	09.30-09.45	31	13.30-13.45	47	17.30-17.45
16	09.45-10.00	32	13.45-14.00	48	17.45-18.00

4 HASIL DAN BAHASAN

Untuk mengetahui karakteristik arus lalu-lintas pada umumnya dilakukan atas dua hal pokok yang digunakan sebagai data dasar pekerjaan perencanaan, yaitu volume arus lalu-lintas dan waktu tempuh yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan perjalanan.

4.1 Penggolongan Kelompok Jenis Kendaraan

Dalam tata cara pelaksanaan survei dan penghitungan arus lalu lintas secara manual disebutkan, bahwa jumlah contoh yang diambil adalah seluruh kendaraan yang lewat dan dikelompokkan dalam:

- a) Kendaraan Ringan (*Light Vehicle, LV*), adalah semua jenis kendaraan bermotor roda empat, meliputi:
 - Mobil penumpang, yaitu kendaraan bermotor yang beroda empat yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan maksimum sepuluh orang termasuk pengemudi (*sedan, station wagon, jeep, combi, opelet, minibus*, dan *sub urban*).
 - *Pick Up*, mobil hantaran, dan truk, di mana kendaraan jenis ini beroda empat dan dipakai untuk angkutan barang dengan berat total (kendaraan + barang) kurang dari 2,5 ton.
- b) Kendaraan Berat (*Heavy Vehicle, HV*), adalah semua jenis kendaraan bermotor beroda empat atau lebih, meliputi
 - *Minibus*, semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk 20 buah (termasuk pengemudi).
 - Bis, semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk untuk 40 orang atau lebih (termasuk pengemudi).
 - Truk, termasuk dalam golongan dalam kendaraan ini adalah semua kendaraan angkutan bermotor beroda empat atau lebih dengan berat total lebih dari 2,5 ton; misalnya truk 2 as, truk 3 as, truk tanki, mobil gandeng, *triller*, dan semi *triller*.

4.2 Volume Lalu Lintas

Pengambilan data yang telah dilakukan menghasilkan data waktu () dan jumlah arus lalu lintas () untuk perhitungan lebih lanjut ke volume, kecepatan, maupun kerapatannya. Data volume lalu lintas dihitung berdasarkan data jumlah lalu lintas () pada waktu pengamatan dalam 5,10, dan 15 menitan. Volume yang diamati dalam pengamatan ini terdiri dari dua jenis mode, yaitu kendaraan ringan (*LV*) dan kendaraan berat (*HV*). Hasil pengamatan lalu lintas disebut data satuan kendaraan per 5,10, dan 15 menitan. Data volume lalu lintas tersebut harus disesuaikan

lebih dahulu ke dalam smp per 5,10, dan 15 menit, maka data tersebut harus dikalikan dengan smp atau nilai konstanta *pcu* (*passanger car unit*).

Penyajian contoh perhitungan penyesuaian satuan data volume lalu lintas menjadi smp per 5, 10, dan 15 menit dari data yang diambil pada pukul 06.00–06.05. Pada waktu tersebut teramati 77 untuk kendaraan ringan dan 32 untuk kendaraan berat, sehingga didapatkan:

- kendaraan ringan: $77 \times 1,00 = 77$ smp per 5 menit, dan

- kendaraan berat: $32 \times 1,20 = 38,4$ smp per 5 menit.

Setelah diperoleh hasil perhitungannya, maka hasil masing-masing dijumlahkan (kendaraan ringan + kendaraan berat), sehingga pada periode data terambil (06.00-06.05) adalah $77 + 38,4 = 115,4$ smp per 5 menit. Untuk perhitungan data selanjutnya sama dengan perhitungan tersebut, yaitu kendaraan berat dikalikan faktor 1,2. Hasil keseluruhan ditunjukkan dengan satuan yang digunakan adalah smp per jam (60 menit). Untuk menjadikan smp per jam, maka hasil pada 5 menitan dikalikan dengan 12, yaitu $115,4 \times 12 = 1380$ smp per jam; Untuk 10 menitan (06.00-06.10), yaitu $259,0 \times 6 = 1554$ smp per jam; Sedangkan untuk 15 menitan (06.00-06,15), yaitu $394,8 \times 4 = 1579,2$ smp per jam. Selanjutnya data-data lain diperlakukan hal yang sama.

4.3 Penyusunan Data Kecepatan

Kecepatan yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari data kecepatan hasil pengamatan untuk mendapatkan (kecepatan rerata ruang). Data yang didapatkan adalah data waktu () untuk dua jenis mode, yaitu kendaraan ringan (*LV*), dan kendaraan berat (*HV*).

4.3.1 Kecepatan rerata waktu tempuh

1

Untuk mendapatkan (kecepatan rerata ruang), terlebih dahulu dihitung kecepatan rerata waktu tempuh kendaraan dari panjang penggal jalan dibagi waktu tempuh kendaraan sepanjang penggal jalan yang ditentukan. Untuk mempermudah perhitungan, satuan data disamakan terlebih dahulu, yaitu detik ke jam dan meter ke km.

4.3.2 Kecepatan rerata ruang

2

Kecepatan rerata ruang () diperoleh dengan menggunakan persamaan (15). Langkah-langkah perhitungan untuk kecepatan rerata ruang pada pukul 6.15 sebagai berikut:

1. Dihitung dahulu kendaraan ringan, kemudian kendaraan berat.

2. Selanjutnya dihitung dengan data:

$$- = (1/61,64) + (1/42,86) + (1/77,14) + (1/68,53) + (1/60) + (1/57,45) + (1/39,13)$$

$$+ (1/58,32) + (1/73,37) + (1/73,37) + (1/54,99) + (1/63,53) + (1/50,85) + (1/46,67) = 0,2326$$

$$- = (1/61,09) + (1/49,09) + (1/49,09) + (1/55,10) + (1/43,83) + (1/45,30) + (1/55,67)$$

$$+ (1/58,44) + (1/43,62) = 0,1781$$

$$- \text{ merupakan (ringan + berat) } = 13 + 9$$

– Untuk pukul 6.15 diperoleh

– Seterusnya dilakukan hal yang sama untuk mendapatkan .

4.4 Penyusunan Data Kerapatan

Kerapatan merupakan variabel lain yang harus dihitung menggunakan variabel volume dan kecepatan seperti persamaan (11). Untuk contoh perhitungan diambil:

*) pukul 06.00-06.05, diperoleh $V = 1384,80$ $t = 5$ $K = 61,6967$

;

*) pukul 06.00-06.10, diperoleh $V = 1554,00$ $t = 10$ $K = 61,7284$

;

*) pukul 06.00-06.15, diperoleh $V = 1579,20$ $t = 15$ $K = 62,0615$

.

Hasil perhitungan kerapatan di atas untuk 5,10, dan 15 menit dengan smp per km.

4.5 Hubungan Antar Variabel

Pada perhitungan tentang volume, kecepatan rerata ruang, dan kerapatan dapat diambil hubungan yang bervariasi antara ketiga variabel tersebut. Jenis hubungan tersebut:

- 1) Hubungan antara V (kecepatan) dan K (kerapatan),
- 2) Hubungan antara V (volume) dan K (kerapatan), dan
- 3) Hubungan antara V (volume) dan t (kecepatan).

4.5. Hubungan V dan K (kecepatan-kerapatan)

1

Hubungan kecepatan-kerapatan diperoleh dengan persamaan regresi linier seperti persamaan (1) yang digunakan oleh **Greenshields**. Pada perhitungan ini didapatkan hasil:

*) untuk 5 menit ($t = 144$), diperoleh $a = 86,5695$ $b = - 0,4306$, dan $K = 86,5695 - 0,4306V$
atau ditulis $K = 86,5695 - 0,4306V$

*) untuk 10 menit ($t = 72$), diperoleh $a = 109,4953$ $b = - 1,2257$, dan $K = 109,4953 - 1,2257V$
atau ditulis $K = 109,4953 - 1,2257V$

*) untuk 15 menit ($t = 48$), diperoleh $a = 78,2423$ $b = - 0,1209$, dan $K = 78,2423 - 0,1209V$
atau ditulis $K = 78,2423 - 0,1209V$

Hasil ketiga fungsi tersebut disatukan menjadi data grafik hubungan kecepatan dan kerapatan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Hubungan kecepatan dan kerapatan

Untuk mengetahui validitas grafik tersebut, maka dilakukan uji korelasi menggunakan persamaan (16) dengan hasil $r = -0,2995$ (untuk 5 menit), $r = -0,5035$ (untuk 10 menit), dan $r = -0,0996$ (untuk 15 menit). Hasil uji korelasi tersebut menunjukkan, bahwa validitas grafik dapat diterima. Tanda negatif menunjukkan nilai berkebalikan, yaitu variabel V bernilai tinggi akan diikuti variabel D bernilai rendah dan sebaliknya.

4.5. Hubungan V - (volume-kerapatan)

2

Hubungan V - D dihitung berdasarkan hasil yang diperoleh dari regresi linier (4.5.1. tersebut), sehingga:

*) untuk 5 menit $V = 86,5695 - 0,4306 D$, maka nilai $V = 86,5695$ (km/jam) dan nilai

$$= 0,4306;$$

*) untuk 10 menit $V = 109,4953 - 1,2257 D$, maka nilai $V = 109,4953$ (km/jam) dan nilai $D =$

$$1,2257;$$

*) untuk 15 menit $V = 78,2423 - 0,1209 D$, maka nilai $V = 78,2423$ (km/jam) dan nilai

$$= 0,1209.$$

Menggunakan persamaan (6), uraian tersebut menghasilkan persamaan yang menyatakan hubungan antara volume dan kerapatan seperti berikut:

*) untuk 5 menit $= 86,5695 - 0,4306$,

*) untuk 10 menit $= 109,4953 - 1,2257$, dan

*) untuk 15 menit $= 78,2423 - 0,1209$.

Hasil ketiga fungsi tersebut disatukan menjadi bentuk grafik hubungan volume-kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Hubungan volume dan kerapatan

4.5. Hubungan dan (volume-kecepatan)

3

Hubungan - dihitung berdasarkan hasil yang diperoleh dari persamaan volume-kecepatan, yaitu:

*) untuk 5 menit nilai $= 86,5695$ (km/jam) dan nilai $= 0,4306$, maka

smp/km, sehingga diperoleh

*) untuk 10 menit nilai $= 109,4953$ (km/jam) dan nilai $= 1,2257$, maka

smp/km, sehingga diperoleh

*) untuk 15 menit nilai $\rho = 78,2423$ (km/jam) dan nilai $\rho = 0,1209$, maka

smp/km, sehingga diperoleh

Menggunakan persamaan (11), uraian tersebut menghasilkan persamaan yang menyatakan hubungan ρ - v seperti berikut:

*) untuk 5 menit $\rho = 201,0439 - 2,3223 v$,

*) untuk 10 menit $\rho = 89,3329 - 0,8159 v$, dan

*) untuk 15 menit $\rho = 647,1654 - 8,2713 v$.

Hasil ketiga fungsi tersebut disatukan menjadi bentuk grafik hubungan volume-kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Hubungan volume dan kecepatan

4.6 Nilai Maksimum

Penjabarkan pada perhitungan terhadap ketiga variabel (volume, kecepatan, dan kerapatan) yang telah menghasilkan satu persamaan linier dan dua persamaan parabola beserta grafiknya. Ketiga persamaan tersebut mempunyai nilai-nilai maksimum yang meliputi kerapatan, kecepatan, dan volume maksimum.

Untuk mengetahui nilai maksimum kerapatan, digunakan persamaan (9) dan diperoleh:

$\rho = 100,529$ smp/km (periode 5 menit),

$\rho = 44,6664$ smp/km (periode 10 menit),

$\rho = 329,5827$ smp/km (periode 15 menit).

Untuk mengetahui nilai maksimum kecepatan, digunakan persamaan (14) dan diperoleh:
 = 43,2847 km/jam (periode 5 menit),
 = 54,7476 km/jam (periode 10 menit),
 = 39,1211 km/jam (periode 15 menit).

Untuk mengetahui nilai maksimum volume, digunakan persamaan (10) atau (15), dan diperoleh:

= 4351,0602 smp/jam (periode 5 menit)
 = 2445,3782 smp/jam (periode 10 menit)
 = 12658,9110 smp/jam (periode 15 menit).

5 SIMPULAN

Berdasarkan persamaan yang ada, data yang diperoleh secara langsung di lapangan (lokasi *Rest II* sejauh 30 km dari pintu Bogor Jalan Tol Jagorawi) dan diolah, dan melalui berbagai perhitungan, maka dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Hubungan Q - V digambarkan sebagai sebuah garis lurus atau fungsi linier, yaitu $Q = 86,5695 - 0,4306V$ (periode 5 menit), $Q = 109,4953 - 1,2257V$ (periode 10 menit), dan $Q = 78,2423 - 0,1209V$ (periode 15 menit). Sehingga dapat dikatakan, bahwa hubungan tersebut sebagai sebuah fungsi linier. Untuk mengetahui validitas grafik tersebut, maka dilakukan uji korelasi dengan hasil $r = -0,2995$ (periode 5 menit), $r = -0,5035$ (periode 10 menit), dan $r = -0,0996$ (periode 15 menit). Hasil tersebut menunjukkan, bahwa validitas grafik dapat diterima. Tanda negatif menunjukkan nilai berkebalikan, yaitu variabel Q bernilai tinggi akan diikuti variabel V bernilai rendah dan sebaliknya.
2. Hubungan Q - V digambarkan sebagai sebuah garis lengkung atau fungsi parabola, yaitu $Q = 86,5695 - 0,4306V$ (periode 5 menit), $Q = 109,4953 - 1,2257V$ (periode 10 menit), dan $Q = 78,2423 - 0,1209V$ (periode 15 menit).
3. Hubungan Q - V digambarkan sebagai sebuah garis lengkung atau fungsi parabola, yaitu $Q = 201,0439 - 2,3223V$ (periode 5 menit), $Q = 89,3329 - 0,8159V$ (periode 10 menit), dan $Q = 647,1654 - 8,2713V$ (periode 15 menit).
4. Nilai Q (kerapatan maksimum saat volume maksimum) diperoleh hasil 100,5219 smp/km (periode 5 menit), 44,6664 smp/km (periode 10 menit), dan 329,5827 smp/km (periode 15 menit). Nilai V (kecepatan pada saat volume maksimum) diperoleh hasil 43,2847 km/jam (periode 5 menit), 54,7476 km/jam (periode 10 menit), 39,1211 km/jam (periode 15 menit). Nilai Q yang terjadi, yaitu 4351,0602 smp/jam (periode 5 menit), 2445,3782 smp/jam (periode 10 menit), dan 12658,9110 smp/jam (periode 15 menit).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MORLOK, Edward K., *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985, hal. 187.
- [2] WOHL, Martin, and Grian V. Martin, *Traffic System Analysis*, McGraw-Hill Series In Transportation, 1967, p. 322.
- [3] GERLOUGH, Daniel L., and Mattew J. Hubber, *Traffic Flow Theory*, Transportation Research Board, 1975, p. 7,49.
- [4] DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGANA, *Panduan Survei dan Perhitungan Lalu Lintas Cara Manual*.

BIODATA PENULIS

Rulhendri, S.T.

Lulus S1 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 16 April 1998.