

ANALISIS HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN LALU LINTAS RUAS JALAN SOLO – PURWODADI

*) Arif Irfan Syah¹, Sumina¹, Herman Susila¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

*) Email: Arifsyah990@gmail.com

ABSTRACT

Jalan Solo - Purwodadi is a road with the status of a collector road using a two-lane two-way traffic system that connects the cities of Surakarta and Purwodadi, Grobogan Regency. The problems on the Solo – Purwodadi road are caused by the high traffic volume which is dominated by heavy vehicles and two-wheeled vehicles (motorcycles), therefore it is necessary to analyze the relationship between volume, speed and traffic density on the Solo - Purwodadi road. The data used in this study are primary & secondary data from the research results, then analyzed using three methods, namely the Greenshield, Greenberg and Underwood methods. The results showed that the volume of vehicles on the Solo – Purwodadi road was quite dense, the results from the calculation of the observational data showed that the road capacity was 2300.471 smp/hour. Analysis of traffic relations on Jalan Solo - Purwodadi based on the three models obtained the closest relationship between speed and density using the Greenberg model with model $V_s = 7.416 \ln (9465.99/D)$. The highest volume was obtained using the Greenberg model of 25.826,68 smp/hour. With a value of $r^2 = 0.986$, it means that the suitability of the model is 98.60% with a level of confidence or confidence in describing the relationship between speed and density. The relationship between volume and velocity is a logarithmic function. The relationship between volume and density is also a logarithmic function.

Keywords: Greenshield, Greenberg, Underwood, Volume, Speed, Density

ABSTRAK

Jalan Solo - Purwodadi adalah jalan dengan status jalan kolektor dengan menggunakan sistem arus dua arah dua lajur yang menghubungkan antara kota Surakarta dan Purwodadi, Kabupaten Grobogan. Permasalahan di ruas jalan Solo - purwodadi disebabkan karena tingginya volume lalu lintas yang didominasi kendaraan berat dan roda dua (sepeda motor), oleh karena itu perlu dilakukan Analisis hubungan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas di ruas jalan Solo - Purwodadi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer & sekunder dari hasil penelitian, kemudian dianalisis dengan menggunakan tiga metode, yaitu metode Greenshield, Greenberg dan Underwood. Hasil penelitian didapat bahwa volume kendaraan pada jalan Solo – Purwodadi termasuk padat, hasil dari perhitungan data pengamatan menunjukkan kapasitas jalan sebesar 2300,471 smp/jam. Analisis hubungan lalu lintas di ruas Jalan solo - purwodadi berdasarkan ketiga model diperoleh hubungan yang paling erat antara kecepatan dan kepadatan menggunakan model Greenberg dengan model $V_s = 7,416 \ln \left(\frac{9465,99}{D} \right)$. Volume tertinggi diperoleh dengan menggunakan model Greenberg yaitu sebesar 25.826,68 smp/jam. Dengan nilai $r^2 = 0,986$ memiliki arti bahwa kesesuaian model sebesar 98,60 % dengan tingkat kepercayaan atau meyakinkan dalam menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kepadatan. Hubungan antara volume dan kecepatan merupakan fungsi logaritmik. Hubungan antara volume dan kepadatan juga merupakan fungsi logaritmik.

Kata Kunci: Greenshield, Greenberg, Underwood, Volume, Kecepatan, Kepadatan

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prioritas utama dalam perkembangan suatu negara serta sebagai prasarana untuk masyarakat dalam beraktifitas. Kesejahteraan masyarakat yang meningkat mengakibatkan intensitas penggunaan jalan juga akan meningkat. Pertumbuhan tingkat kepadatan penduduk sangat mempengaruhi tingkat kebutuhan transportasi dan tentunya berpengaruh pada permasalahan yang semakin kompleks. Khususnya peningkatan arus lalu lintas yang tidak seimbang dengan ketersediaan kapasitas jalan yang tergolong kecil sehingga mengakibatkan kemacetan. Tingginya aktifitas kehidupan masyarakat yang beraneka ragam maka membutuhkan terpenuhinya sarana transportasi yang memadai demi kelancaran, kenyamanan, dan keamanan. (Bagas Saputra dan Dian Savitri, 2021).

Jalan Solo - purwodadi merupakan jalan kolektor sistem arus dua arah dua lajur tak terbagi yang menghubungkan masyarakat Surakarta dan sekitarnya menuju kecamatan Purwodadi, Kabupaten Grobogan. Ruas ini merupakan salah satu pusat kuliner makanan, tempat usaha dan pendidikan sehingga sepanjang hari banyak kendaraan yang melewati ruas jalan ini. Dengan demikian jalan Solo - purwodadi sangat berperan penting untuk melewatkan arus lalu lintas yang cukup besar, namun seiring waktu kendaraan yang melewati ruas ini semakin banyak. Kendaraan besar dengan kecepatan rendah dan arus yang tidak stabil sehingga terjadi penumpukan dan antrian kendaraan, diperparah dengan adanya hambatan samping sehingga menyebabkan menurunnya kinerja ruas jalan.

Permasalahan di ruas jalan Solo - purwodadi disebabkan oleh banyaknya kendaraan yang melintas / tingginya volume lalu lintas yang didominasi kendaraan berat dan roda dua (sepeda motor), oleh karena itu perlu melakukan Analisa

hubungan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas di ruas jalan Solo - purwodadi. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memahami karakteristik lalu lintas dan model hubungan antar karakteristik tersebut, sehingga dapat menjadi pedoman dalam mengatasi masalah kemacetan yang ada.

Dari pedoman Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 hubungan untuk prinsip dasar Analisa kapasitas jalan adalah kecepatan akan berkurang jika arus bertambah. Pengurangan kecepatan akibat penambahan arus adalah kecil pada arus rendah tetapi lebih besar pada arus yang lebih tinggi. Pertambahan arus yang sedikit akan menghasilkan pengurangan kecepatan yang besar. Hubungan ini telah ditentukan secara kuantitatif untuk kondisi standar untuk setiap tipe jalan. (Grisela Nurinda Abdi, Sigit Priyanto, Siti Malkamah, 2019)

Arus lalu lintas

Karakteristik lalu lintas terjadi karena adanya interaksi antara pengendara dan kendaraan dengan jalan dan lingkungannya. Pembahasan tentang arus lalu lintas harus dikonsentrasikan pada variabel-variabel arus (*flow, volume*), kecepatan (*speed*), dan kepadatan (*density*). Ketiga komponen itu termasuk pembahasan arus lalu lintas dalam skala makroskopik (Aly, 2012).

Arus Dan Volume

Arus (*flow*) adalah rasio per jam jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pada suatu lajur tertentu, pada periode waktu tertentu, diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu tertentu (Julianto, 2010). Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu arus jalan pada periode waktu tertentu diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu (Morlok, 1991).

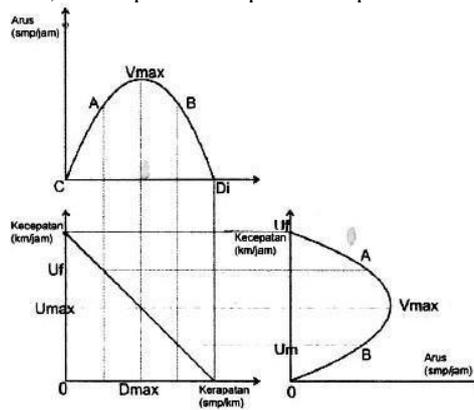
Kepadatan

Kepadatan dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur (Morlok, 1991), secara umum dapat diekspresikan dalam kendaraan per mil (vpm) atau kendaraan per mil per lane (vpmpl). Kepadatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus sebagai hubungan :

$$V = U_S \times D \quad (1)$$

Dengan V : arus lalu lintas; U_S : *Space Mean Speed*; D : Kepadatan

Model hubungan variabel arus, kecepatan, dan kepadatan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Sumber: Indrajaya, Y. 2012

Gambar 1. Hubungan Antara Arus, Kecepatan, dan Kepadatan

Karakteristik hubungan ketiga parameter utama bagi Lalu - Lintas Kendaraan pada Gambar 1 menurut Indrajaya (2012) dapat diterangkan sebagai berikut.

1. Pada kondisi kepadatan mendekati harga nol, arus lalu lintas juga mendekati harga nol, dengan asumsi seakan-akan tidak terdapat kendaraan bergerak. Sedangkan kecepatannya akan mendekati kecepatan rata-rata pada kondisi arus bebas.
2. Apabila kepadatan naik dari angka nol, maka arus juga naik. Pada suatu kepadatan tertentu akan tercapai suatu titik di mana bertambahnya kepadatan akan membuat arus menjadi turun.
3. Pada kondisi kepadatan mencapai kondisi maksimum atau disebut kepadatan kondisi *jam* (kepadatan jenuh) kecepatan perjalanan akan mendekati nilai nol, demikian pula arus lalu lintas akan mendekati harga nol karena tidak memungkinkan kendaraan untuk dapat bergerak lagi.
4. Kondisi arus di bawah kapasitas dapat terjadi pada dua kondisi, yakni:
 - a. Pada kecepatan tinggi dan kepadatan rendah (kondisi A).
 - b. Pada kecepatan rendah dan kepadatan tinggi (kondisi B).

Kecepatan

Kecepatan merupakan parameter utama kedua yang menjelaskan keadaan arus lalu lintas di jalan. Menurut McShane, Roess, dan Prassas (2004) kecepatan didefinisikan sebagai rasio pergerakan kendaraan dalam jarak per satuan waktu.

Dalam pergerakan arus lalu lintas, setiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian pada arus lalu lintas tidak dikenal karakteristik kecepatan tunggal akan tetapi lebih sebagai distribusi dari kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut, jumlah rata-rata dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas (Timpal dkk, 2018). Dalam perhitungannya kecepatan rata-rata dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Time Mean Speed* (TMS), yang didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode tertentu.
2. *Space Mean Speed* (SMS), yakni kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggalan jalan selama periode waktu tertentu.

Kapasitas Jalan

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam 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. Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FCC_s \quad (2)$$

Dimana : C = Kapasitas (smp/jam); C_o = Kapasitas dasar (smp/jam); FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalan; FC_{SP} = Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi); FC_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan/kereb; FCC_s = Faktor penyesuaian ukuram kota.

Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

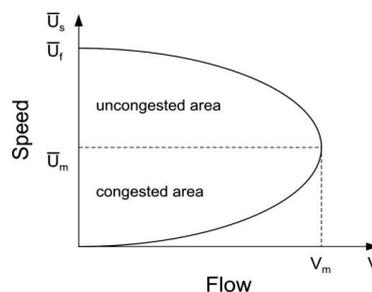
Pada aliran lalu lintas suatu ruas jalan raya terdapat 3 (tiga) variabel utama yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas, yaitu:

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

Variabel-variabel tersebut memiliki hubungan antara satu dengan lainnya. Hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat digambarkan secara grafis dengan menggunakan persamaan matematis (Tamin, 2000).

Hubungan Volume dan 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 (Murniati, Iphan, Arsyad, Muhammad, 2013). Hubungan volume dan kecepatan ditunjukkan pada Gambar 2. 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 (MKJI, 1997).

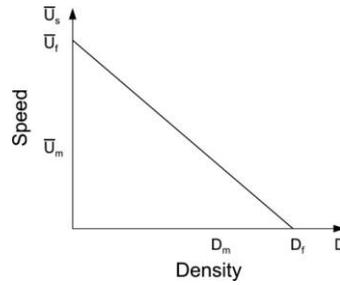


Sumber: Tamin, O.Z. 2000

Gambar 2. Hubungan Volume - Kecepatan

Hubungan Kecepatan dan 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 (MKJI, 1997). Hubungan antara kecepatan dan kepadatan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.

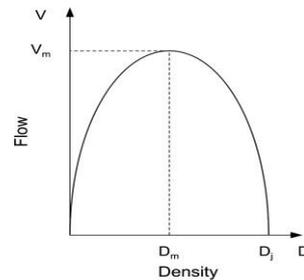


Sumber: Tamin, O.Z. 2000

Gambar 3. Hubungan Kecepatan - Kepadatan

Hubungan Volume dan Kepadatan

Volume maksimum (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 di titik D_j (Sumina, 2021). Hubungan volume dan kepadatan ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Sumber: Tamin, O.Z. 2000

Gambar 4. Hubungan Volume - Kepadatan

2. METODE MODEL HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN, DAN KEPADATAN

Model Greenshield

Model ini adalah model yang paling awal dalam upaya mengamati perilaku lalu lintas. *Greenshield* yang melakukan studi pada jalan-jalan di luar kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshield* mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan linier (Tamin, 2000). Model ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$V_s = V_f - \frac{V_f}{D_j} D \quad (3)$$

Dari persamaan tersebut perlu diketahui bahwa V_s adalah kecepatan rata-rata ruang (km/jam), V_f adalah kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam), D adalah kerapatan (smp/km), dan D_j adalah kerapatan kondisi *jam* (smp/km).

Pada dasarnya persamaan tersebut merupakan suatu persamaan linier $y = a+bx$, dimana V_f dianggap sebagai konstanta a dan $-\frac{V_f}{D_j}$ dianggap sebagai b , sedangkan D dan V_s masing-masing merupakan variabel x dan y . Kedua konstanta tersebut dapat dinyatakan sebagai kecepatan bebas (*free flow speed*) dimana pengendara dapat memacu kecepatan sesuai dengan keinginan dan puncak kepadatan dimana kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali (Tamin, 2000). Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah Persamaan 1 menjadi $V_s = \frac{Q}{D}$ yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (2) sehingga diperoleh :

$$Q = V_f \cdot D - \left(\frac{V_f}{D_j}\right) D^2 \quad (4)$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan parabolik $Q = f(D)$. Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah Persamaan 1 menjadi $D = \frac{Q}{V_s}$ yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (2) maka diperoleh:

$$Q = D_j \cdot V_s - \left(\frac{D_j}{V_f}\right) V_s^2 \quad (5)$$

Persamaan tersebut juga merupakan persamaan parabolik $Q = f(V_s)$.

Volume maksimum (Q_m) untuk model *Greenshield* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_m = D_m \cdot V_m \quad (6)$$

Dari persamaan tersebut perlu diketahui bahwa D_m adalah kepadatan pada saat volume maksimum dan U_m adalah kecepatan pada saat volume maksimum (Tamin, 2000). Kepadatan saat volume maksimum (D_m) untuk model *Greenshield* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$D = D_m = \frac{D_j}{2} \quad (7)$$

Kecepatan saat volume maksimum (U_m) untuk model *Greenshield* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_s = V_m = \frac{V_f}{2} \quad (8)$$

Apabila persamaan (6) dan (7) disubstitusikan ke persamaan (5) , maka volume maksimum (Q_m) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_m = \frac{D_j \cdot Q_f}{4} \quad (9)$$

Model *Greenberg*

Model *Greenberg* adalah model kedua yang mensurvey hubungan kecepatan dan kepadatan pada aliran lalu lintas pada terowongan, dan menyimpulkan bahwa model non linier lebih tepat digunakan yakni fungsi logaritmik (Tamin, 2000). Rumus dasar dari *Greenberg* adalah :

$$D = c \cdot e^{bU_s} \quad (10)$$

dengan c dan b merupakan nilai konstanta dengan menggunakan aliran fluida dengan mengombinasikan persamaan gerak dan kontinuitas untuk satu kesatuan dimensi gerak dan menurunkan persamaan :

$$V_s = V_m \cdot \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) \quad (11)$$

Pada model *Greenberg* ini diperlukan pengetahuan tentang parameter-parameter kecepatan optimum dan kepadatan kondisi *jam*. Sama dengan model *Greenshield*, kepadatan kondisi *jam* sangat sulit diamati di lapangan dan estimasi terhadap kecepatan optimum lebih sulit diperkirakan dari pada kecepatan bebas rata-rata (Tamin, 2000). Estimasi kasar untuk menentukan kecepatan optimum kurang lebih setengah dari kecepatan rencana. Kekurangan lain dari model ini adalah kecepatan bebas rata-rata tidak bisa dihitung (Tamin, 2000). Persamaan (10) diatas dapat ditulis kedalam bentuk persamaan lain yaitu :

$$V_s = V_m \cdot \ln D_j - V_m \cdot \ln D \quad (12)$$

Pada dasarnya persamaan tersebut merupakan suatu persamaan linier $y = a + bx$, dimana $V_m \cdot \ln D_j$ dianggap sebagai konstanta a dan $-V_m$ dianggap sebagai b , sedangkan $\ln D$ dan V_s masing-masing merupakan variabel x dan y . Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah persamaan (1) menjadi $V_s = \frac{Q}{D}$ yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (10) sehingga diperoleh :

$$Q = V_m \cdot D \cdot \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) \quad (13)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah persamaan (1) menjadi yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (10) maka diperoleh :

$$Q = V_s \cdot D_j \cdot e^{\frac{-V_s}{V_m}} \quad (14)$$

Volume maksimum (Q_m) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Untuk menentukan konstanta D_m dan V_m , maka persamaan (12) dan (13) harus dideferensir masing-masing terhadap kepadatan dan kecepatan. Kepadatan saat volume maksimum (D_m) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$D = D_m = \frac{D_j}{e} \quad (15)$$

Kecepatan saat volume maksimum (V_m) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_s = V_m \quad (16)$$

Apabila persamaan (14) dan (15) disubstitusikan ke persamaan (5), maka volume maksimum (Q_m) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_m = \frac{D_j \cdot V_m}{e} \quad (17)$$

Model *Underwood*

Underwood mengemukakan suatu hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan merupakan hubungan eksponensial (Tamin, 2000) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$V_s = V_f \cdot e^{\frac{D}{D_m}} \quad (18)$$

Untuk mendapatkan konstanta V_f dan D_m , persamaan (17) diubah menjadi persamaan linier $y = a+bx$ berikut :

$$\ln V_s = \ln V_f - \frac{D}{D_m} \quad (19)$$

dimana $\ln V_f$ dianggap sebagai konstanta a dan $-\frac{1}{D_m}$ dianggap sebagai b , sedangkan D dan $\ln V_s$ masing-masing merupakan variabel x dan variabel y . Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah persamaan (1) menjadi $V_s = \frac{Q}{D}$ yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (17) sehingga diperoleh :

$$Q = D \cdot V_f \cdot e^{\frac{-D}{D_m}} \quad (20)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah persamaan (1) menjadi $D = \frac{Q}{V_s}$ yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (17) maka diperoleh :

$$Q = V_s \cdot D_m \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_s}\right) \quad (21)$$

Apabila persamaan (19) dan (20) disubstitusikan ke persamaan (5), maka volume maksimum (Q_m) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_m = \frac{D_m \cdot V_f}{e} \quad (22)$$

Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas berdasarkan model *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood* merupakan data sekunder. Data tersebut kemudian diolah sehingga menghasilkan data volume (Q), kecepatan (V_s), dan kepadatan (D) seperti pada Tabel berikut.

Tabel 1. Hasil survey kendaraan

No	Space Mean Speed (Vs) (km/jam)	Volume (Q) (smp/15 mnt)	Rate Of Flow (smp/jam)	Kepadatan (D) (smp/km)
1	40,14	403,45	1613,8	40,20
2	37,48	586,15	2344,6	62,56
3	34,25	806,75	3227,0	94,22
4	32,11	943,30	3773,2	117,51
5	33,10	847,40	3389,6	102,39
6	33,43	864,05	3456,2	103,37
7	31,91	1034,80	4139,2	129,72
8	31,70	998,40	3993,6	126,00
9	33,90	881,25	3525,0	103,99
10	35,33	706,15	2824,6	79,95
11	36,68	618,70	2474,8	67,48
12	35,72	691,20	2764,8	77,40
13	34,67	746,40	2985,6	86,12
14	35,64	728,55	2914,2	81,77
15	35,52	703,30	2813,2	79,20
16	35,29	737,50	2950,0	83,60
17	35,20	745,50	2982,0	84,72
18	34,60	774,90	3099,6	89,57
19	34,69	766,70	3066,8	88,42
20	33,72	843,85	3375,4	100,09
21	33,06	907,90	3631,6	109,86
22	32,27	984,45	3937,8	122,01
23	31,30	1066,75	4267,0	136,33
24	31,75	1065,05	4260,2	134,16
25	32,67	982,05	3928,2	120,22
26	32,99	911,80	3647,2	110,55
27	33,66	827,30	3309,2	98,30
28	33,31	879,40	3517,6	105,61

Sumber: Hasil perhitungan data lapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang akan digunakan untuk menganalisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yaitu menggunakan model *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood*.

Metode Greenshield

Untuk analisis hubungan variabel volume dan kecepatan serta kepadatan menurut linier *Greenshield* digunakan persamaan (2) sampai dengan persamaan (8) sebagai berikut :

$$V_s = V_f - (V_f / D_j) D$$

Dimana: V_s : Kecepatan rata-rata ruang; V_f : Kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas; D_j : Kepadatan pada saat macet; D : Kepadatan

Untuk mendapatkan nilai konstanta V_f dan D_j maka persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan linier : $V_s = Y = a + bx$, dengan memisalkan $y = V_s$; $a = V_f$; $b = -(V_f / D_j)$; $x = D$

Untuk menentukan nilai konstanta a dan koefisien regresi b digunakan persamaan:

$$b = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} = -0,085$$

$$a = y_1 - b \cdot x_1 \quad \text{dimana: } y_1 = \sum y_1 / n ; x_1 = \sum x_1 / n$$

$$a = 42,41$$

$$\text{Maka } V_f = a = 42,41 \text{ km/jam}$$

$$D_j = V_f / b = 42,41 / 0,085 = 501,348 \text{ smp/km}$$

Jadi persamaan regresinya :

$$V_s = V_f - (V_f / D_j) D$$

$$V_s = 42,41 - (42,41 / 501,348) D$$

(23)

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{\{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\} \{n \sum y_1^2 - (\sum y_1)^2\}}} = -0,981$$

Jadi koefisien determinasi (r^2) = 0.962

Dari koefisien determinasi yang diperoleh dari model *Greenshield* disimpulkan bahwa nilai r mendekati 1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya kecil.

Hubungan Volume dan Kecepatan

Hubungan Volume dan Kecepatan merupakan fungsi parabolik dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q = D_j \cdot V_s - (D_j / V_f) V_s^2$$

$$Q = 501,348 V_s - (501,348 / 42,410) V_s^2$$

(24)

Hubungan Volume dan Kepadatan

Hubungan Volume dan Kepadatan merupakan fungsi parabolik dengan bentuk persamaan berikut :

$$Q = V_f \cdot D - (V_f / D_j) D^2$$

$$Q = 42,410 D - (42,410 / 501,348) D^2$$

(25)

Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{maks} = \frac{D_j \times V_f}{4} = \frac{501,348 \times 42,41}{4} = 5315,552 \text{ smp/jam}$$

Kecepatan pada saat Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$V_s = V_m = \frac{V_f}{2} = \frac{42,41}{2} = 21,21 \text{ km/jam}$$

Metode Greenberg

Untuk analisis hubungan variabel volume dan kecepatan serta kepadatan menurut *Greenberg* digunakan persamaan (10) sampai dengan persamaan (17) sebagai berikut:

Hubungan Kecepatan dan Kepadatan

Greenberg mengemukakan suatu hipotesa bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan berbentuk logaritmik dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_s = V_m \ln \left(\frac{D_j}{D} \right)$$

Dimana : V_m : Kecepatan pada saat volume maksimum ; D_j : Kepadatan pada saat macet

Untuk mendapatkan nilai konstanta V_m dan D_j maka persamaan (11) kemudian diubah menjadi persamaan linier $y = a + bx$ sebagai berikut :

$$V_s = V_m \ln(D_j) - V_m \ln(D)$$

Dengan memisalkan : $y = V_s$; $a = V_m \cdot \ln(D_j)$; $b = -V_m$ dan $X = \ln(D)$.

Berdasarkan persamaan regresi di bawah ini, diperoleh :

$$b = \frac{n\sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} = -7,416$$

$$a = y_1 - b \cdot x_1 \quad \text{dimana : } y_1 = \sum y_1 / n ; x_1 = \sum x_1 / n$$

$$a = 67,901$$

Maka $V_f = a = 67,901$ km/jam

$$V_m = -b = 7,416$$

$$D_j = \exp(a / V_m) = \exp(67,901 / 7,416) = 9465,990 \text{ smp/km}$$

Maka persamaan logaritmiknya didapat :

$$V_s = V_m \ln(D_j / D)$$

$$V_s = 7,416 \ln(9465,990 / D)$$

(26)

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n\sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\} \{n\sum y_1^2 - (\sum y_1)^2\}}} = -0,993$$

Jadi koefisien determinasi (r^2) = 0.986

Koefisien determinasi yang diperoleh dari model *Greenberg* disimpulkan bahwa nilai r mendekati 1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya sangat erat.

Hubungan Volume dan Kecepatan

Hubungan Volume dan Kecepatan pada model *Greenberg* ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = V_s D_j \exp(-V_s / V_m)$$

$$Q = V_s \cdot 9465,990 \exp(-V_s / 7,416)$$

(27)

Hubungan Volume Dan Kepadatan

Hubungan Volume Dan Kepadatan ini berlaku persamaan sebagai berikut :

$$Q = V_m D \ln(D_j / D)$$

$$Q = 7,416 \cdot D \cdot \ln(9465,990 / D)$$

(28)

Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{maks} = \frac{D_j x V_f}{e} = V_m \times D_m = 25826,68 \text{ smp/jam}$$

(catatan : Nilai $e = 2,718282$)

Kecepatan pada saat Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$V_s = V_m = 7,416 \text{ km/jam}$$

Metode Underwood

Untuk mendapatkan hubungan antara variabel volume, kecepatan dan kepadatan menurut model eksponensial *Underwood* digunakan persamaan (18) sampai (22).

Hubungan Antara Kecepatan Dan Kepadatan

Underwood mengemukakan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah eksponensial dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$V_s = V_f \cdot \exp(-D / D_m)$$

Dimana : V_f : Kecepatan pada saat arus bebas; D_m : Kepadatan pada saat volume maksimum

Untuk mendapatkan nilai konstanta V_f dan D_m maka persamaan kemudian diubah menjadi persamaan linier :

$$\ln(V_s) = \ln(V_f) - (D / D_m)$$

asumsi $y = a + bx$ dengan memisalkan : $y = \ln(V_s)$; $a = \ln(V_f)$; $b = -1/D_m$ dan $x = D$

Dari persamaan regresi berikut, diperoleh :

$$b = \frac{n\sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} = -0,002$$

$$a = y_1 - b \cdot x_1 = 3,77 \quad \text{dimana: } y_1 = \sum y_1 / n = 3,529; x_1 = \sum x_1 / n = 97,690$$

Maka $V_f = \exp(a) = 43,25$ km/jam

$$D_m = -1 / b = 410,82 \text{ smp/km}$$

Maka persamaan eksponensialnya diperoleh:

$$V_s = V_f \cdot \exp(-D / D_m)$$

$$V_s = 43,25 \times \exp(-D / 410,82) \tag{29}$$

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n\sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}\{n\sum y_1^2 - (\sum y_1)^2\}}} = -0,986$$

Jadi koefisien determinasi (r^2) = 0.972

Koefisien determinasi yang diperoleh dari model *Underwood* disimpulkan bahwa nilai r mendekati 1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya baik.

Hubungan Volume Dan Kecepatan

Pada hubungan volume dan kecepatan model *Underwood* ini berlaku persamaan sebagai berikut :

$$Q = V_s D_m \ln(V_f / V_s)$$

$$Q = V_s \times 410,82 \times \ln(43,25 / V_s) \tag{30}$$

Hubungan volume dan kepadatan

Hubungan volume dan kepadatan berlaku persamaan berikut :

$$Q = D V_f \exp(-D / D_m)$$

$$Q = D \cdot 43,25 \exp(-D / 410,82) \tag{31}$$

Volume maksimum (Q_{maks}) didapat dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{maks} = \frac{D_m \times V_f}{e}$$

$$Q_{maks} = 6535,84 \text{ smp/jam} \quad (\text{catatan : Nilai } e = 2,718282)$$

Kecepatan pada saat Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

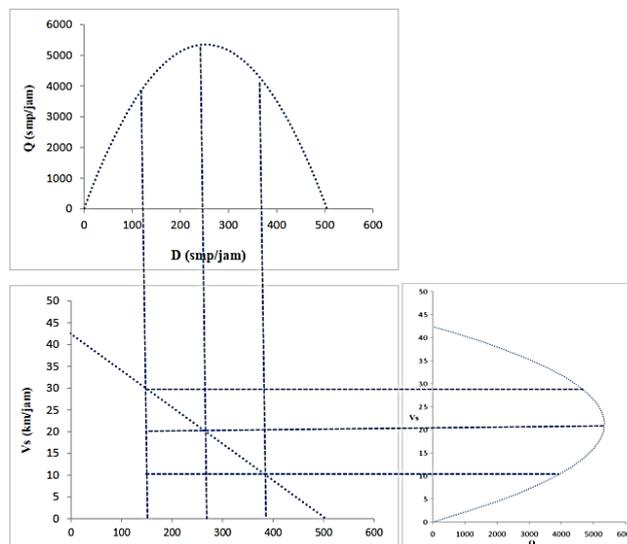
$$V_m = \frac{V_f}{e} = 15,91 \text{ km/jam}$$

Tabel 2. Kesimpulan Perhitungan

Variabel	Satuan	Greenshield	Greenberg	Greenberg
Volume Maksimum (Q_{maks})	Smp/jam	5315,55	25826,68	6535,84
Kecepatan Bebas (V_f)	Km/jam	42,410	67,901	43,25
Kecepatan Maksimum (V_m)	Km/jam	21,21	7,416	15,91
Kepadatan Maksimum (D_j)	Smp/jam	501,348	9465,990	410,82
Koefisien Determinan (r^2)	-	0,962	0,986	0,972

Sumber: Hasil perhitungan data lapangan

Gambaran Ketiga Model Secara Grafis



Gambar 5. Grafik hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan

Kapasitas

Perhitungan kapasitas jalan berdasarkan data penelitian akan didapatkan koefisien dari tabel MKJI sebagai berikut :

$$C = C_O \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

$$C = 2900 \times 0,87 \times 1 \times 0,97 \times 0,94$$

$$= 2300,471 \text{ Smp/Jam}$$

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat disimpulkan beberapa hal utama antara lain:

1. Volume kendaraan pada jalan solo – purwodadi km 5 termasuk padat, namun tidak melebihi kapasitas dasar jalan. Jalan solo – purwodadi km 5 merupakan jalan kolektor menggunakan sistem arus dua arah dua lajur tak terbagi yang memiliki kapasitas dasar 2900 smp/jam, dari hasil pengamatan menunjukkan tidak melebihi dari kapasitas dasar pada MKJI 1997 yaitu 2300,471 smp/jam.
2. Arus lalu lintas Jalan solo - purwodadi berdasarkan ketiga model diperoleh hubungan yang paling erat antara kecepatan dan kepadatan menggunakan model *Greenberg* dengan model
$$V_s = 7,416 \ln \left(\frac{9465,990}{D} \right)$$
3. Volume tertinggi diperoleh dengan menggunakan model *Greenberg* sebesar 25.826,68 smp/jam.
4. Nilai $r^2 = 0,986$ memiliki arti bahwa kesesuaian model sebesar 98,60 % dengan tingkat kepercayaan atau meyakinkan dalam menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kepadatan.
5. Hubungan antara volume dan kecepatan merupakan fungsi logaritmik.
6. Hubungan antara volume dan kepadatan juga merupakan fungsi logaritmik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Grisela Nurinda, Priyanto, Sigit, Malkamah, siti. (2019). *Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan padjajaran (ring road), sleman*. Teknisia, XXVIV(01), 55-64
- Aly, S.H. (2012). Model Hubungan Karakteristik Makro Lalu Lintas yang Bersifat Heterogen di Kota Makassar. *Prosiding Teknik Sipil*. Universitas Hassanudin.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Bina Jalan Kota 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, bekerja sama dengan PT. Bina Karya (Persero).
- Indrajaya, Y. (2012). Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas. *Tesis Program Pasca Sarjana*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Julianto, Eko Nugroho. (2010). *Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas ruas jalan siliwangi semarang*. *Jurnal Teknik sipil*. 2(12). 151-160.
- Murniati, Iphan, Arsyad, Muhammad. (2013). Analisis Karakteristik Lalu Lintas Berdasarkan Tata Guna Lahan (Studi Kasus Ruas Jalan Temanggung Tilung Palangkaraya). *Teknologi Berkelanjutan*, Vol.2 (87-95)
- Morlok Edward K, 1991. *Karakteristik Lalu Lintas*. Erlangga. Jakarta.
- Saputra, Bagas, Savitri, Dian. (2021). Analisa Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Berdasarkan Model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. *Manajemen Aset Infrastruktur dan Fasilitas*, Vol 1(43-57).
- Sumina. 2021. *Buku Ajar Rekayasa Lalu Lintas*. Dosen Pengampu Jurusan Teknik Sipil Universitas Tunas Pembangunan Surakarta
- Tamin, O.Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. ITB. Bandung.
- Timpal, G.S., Sendow, T. K., dan Rumayar, A. L. (2018). Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood* dan Analisa Kinerja Jalan pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 6(8).