



TR-29

ANALISIS HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN, DAN KEPADATAN LALU LINTAS DENGAN MODEL *GREENSHIELDS*, *GREENBERG*, DAN *UNDERWOOD* (Studi Kasus: Jalur *Traffic Jam* pada Rute Kabupaten Cilacap – Kabupaten Bandung)

Saskia Aanisah^{1*}, Juang Akbardin² dan Dadang Mohamad³

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia, Jalan Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung

e-mail: saskia.aanisah@upi.edu

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia, Jalan Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung

e-mail: akbardien@upi.edu

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia, Jalan Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung

e-mail: dadang1712@upi.edu

ABSTRAK

Ruas jalan pada rute perjalanan Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung sebagai Jalan Nasional memegang peranan penting dalam menunjang aktivitas masyarakat, baik dalam segi pergerakan manusia maupun distribusi pergerakan barang. Hal ini menyebabkan permasalahan berupa arus lalu lintas yang tidak lancar karena hambatan samping dan kapasitas jalan tidak mampu melayani volume lalu lintas yang tinggi. Ketidaklancaran tersebut menimbulkan kemacetan (*traffic jam*) di beberapa segmen jalan. Untuk merepresentasikan perilaku karakteristik volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas pada jalan nasional tersebut dalam hubungan matematis, maka diperlukan suatu estimasi hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas dengan pendekatan model *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood* untuk mengetahui model yang paling mendekati kondisi eksisting dan persentase kesesuaian model. Hasil analisis menunjukkan model *Underwood* memiliki hubungan yang paling erat antara kecepatan dan kepadatan. Hal ini dibuktikan dengan nilai R^2 terbesar diperoleh pada model *Underwood*. Hal ini berarti kesesuaian model sebesar persentase nilai R^2 dalam menggambarkan hubungan kecepatan dan kepadatan sesuai dengan kondisi eksisting lalu lintas. Model *Underwood* dianggap paling sesuai dengan kondisi jalan sebagai jalan luar kota, di mana pergerakan lalu lintas bersifat eksponensial bukan linear karena pengaruh kondisi sekitar dan hambatan jalan, sehingga arus lalu lintas tidak bergerak secara tetap (*steady state condition*) atau bebas (*free flow condition*).

Kata kunci: Volume, kecepatan, kepadatan, kemacetan

PENDAHULUAN

Rute perjalanan Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung melalui ruas Jalan Tegal-Cilacap hingga Jalan Raya Cileunyi memegang peranan penting dalam menunjang aktivitas masyarakat, baik dalam segi pergerakan manusia maupun distribusi pergerakan barang. Namun faktanya, ruas jalan penghubung Cilacap-Bandung pada beberapa segmen mengalami arus lalu lintas yang tidak lancar karena hambatan samping dan kapasitas jalan tidak mampu melayani volume lalu lintas yang tinggi.

Ruas jalan yang dilalui pada rute Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung berstatus sebagai Jalan Nasional dan dikategorikan sebagai jalan luar kota yang menjadi penghubung utama Provinsi Jawa Tengah dengan kota-kota lain di Provinsi Jawa Barat. Di sisi lain, beberapa segmen jalan pada rute perjalanan Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung memiliki aktivitas sisi jalan yang cukup padat, sehingga hambatan samping digolongkan cukup tinggi. Tundaan lalu lintas yang terjadi pada beberapa segmen jalan tersebut menyebabkan kecepatan kendaraan menurun dan aktivitas transportasi menjadi tersendat yang mendorong terjadinya kemacetan.

Tujuan dari penulisan artikel ini yaitu untuk mengetahui model hubungan yang paling mendekati kondisi eksisting lalu lintas dan mengetahui berapa persen kesesuaian model dengan tingkat kepercayaan dalam menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas, serta model hubungan yang paling tepat.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik lalu lintas

Arus lalu lintas merupakan bentuk interaksi antara komponen-komponen dalam sistem lalu lintas, yaitu manusia sebagai pengemudi maupun pejalan kaki, kendaraan, jalan, dan lingkungan. Bentuk interaksi tersebut akan menghasilkan arus lalu lintas yang bervariasi. Karakteristik arus lalu lintas menjelaskan ciri arus lalu lintas dalam kaitannya dengan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas serta hubungannya dengan waktu ruang jenis kendaraan yang menggunakan ruang jalan (Akbaridin, 2013).

Volume lalu lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan bermotor yang melalui suatu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kend/jam (Q_{kend}) atau skr/jam (Q_{skr}) (PKJI, 2014). Volume lalu lintas menggambarkan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan arus dalam satuan kendaraan ringan (skr).

$$Q = \frac{N}{T} \quad (1) \text{ dengan } N = \text{jumlah kendaraan (kend)} \text{ dan } T = \text{waktu pengamatan (jam)}$$

Kecepatan lalu lintas

Kecepatan lalu lintas merupakan tingkat pergerakan kendaraan yang dinyatakan dalam jarak tempuh per satuan waktu. Kecepatan diartikan sebagai kecepatan rata-rata dari kendaraan di sepanjang segmen jalan (PKJI, 2014).

$$V = \frac{L}{T_T} \quad (2)$$

dengan L = panjang segmen jalan (km) dan T_T = waktu tempuh (jam)

Kepadatan lalu lintas

Kepadatan lalu lintas merupakan perbandingan antara volume dengan kecepatan lalu lintas pada waktu pengamatan yang sama (Widari et al., 2022). Kepadatan diartikan sebagai jumlah kendaraan rata-rata dalam suatu arus lalu lintas yang dinyatakan dalam satuan kend/km.

$$D = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

dengan Q = volume lalu lintas (skr/jam) dan V = kecepatan rata-rata lalu lintas (km/jam)

Kapasitas jalan

Kapasitas jalan merupakan nilai maksimum kendaraan yang dapat melintas di suatu titik jalan dalam periode satu jam (Jagannathan, 2019).

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{PA} \times FC_{HS} \quad (4)$$

dengan C_0 = kapasitas dasar (skr/jam), FC_W = faktor penyesuaian akibat lebar jalur, FC_{PA} = faktor penyesuaian akibat pemisahan arah dan FC_{HS} = faktor penyesuaian akibat hambatan samping.

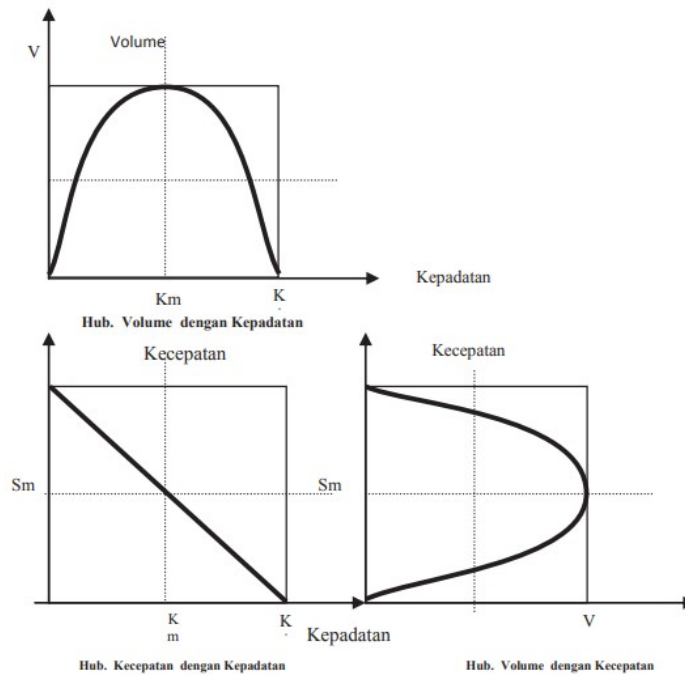
Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan (D_j) merupakan rasio arus terhadap kapasitas jalan. Perbandingan antara volume (*roadway demand*) dan kapasitas (*roadway supply*) menentukan kinerja jalan (Zawawa & Naghawi, 2021).

$$DJ = \frac{Q}{C} \quad (5)$$

dengan Q = volume lalu lintas (skr/jam) dan C = kapasitas jalan (skr/jam)

Hubungan volume, kecepatan, kepadatan



Gambar 8 Grafik Hubungan Volume, Kecepatan, Kepadatan

Sumber: Julianto, 2010

Greenshield

Greenshield mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan linear (Tamin, 2000).

$$U_s = U_f - \left(\frac{U_f}{D_j}\right) \cdot D \quad (6)$$

dengan U_s = kecepatan rata-rata (km/jam), D = kerapatan (skr/km) dan D_j = kerapatan kondisi puncak (skr/km)

Pada dasarnya persamaan tersebut merupakan suatu persamaan linear $y = a + bx$ dimana U_f dianggap sebagai konstanta a dan $-U_f/D_j$ dianggap sebagai b , D sebagai variabel x , dan U_s merupakan variabel y .

Greenberg

Greenberg menyatakan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan menggunakan fungsi logaritmik (Tamin, 2000).

$$U_s = U_m \ln \left(\frac{D_j}{D}\right) \quad (7)$$

dengan U_s = kecepatan rata-rata (km/jam), D = kerapatan (skr/km) dan D_j = kerapatan kondisi puncak (skr/km)

Untuk memperoleh nilai konstanta U_m dan D_j , persamaan sebelumnya diubah menjadi persamaan linear $y = a + bx$, dengan persamaan sebagai berikut.

$$U_s = U_m \ln Dj - U_m \cdot \ln D \quad (8)$$

dengan $U_m \ln Dj = a$, $-U_m = b$, $\ln D = x$ dan $\ln U_s = y$

Underwood

Pendekatan dengan model *Underwood* didasarkan pada asumsi bahwa hubungan kecepatan-kepadatan adalah fungsi eksponensial, bukan fungsi linear (Tamin dalam Saputra & Savitri, 2021).

$$U_s = U_f \cdot e^{-\frac{D}{D_m}} \quad (9)$$

dengan U_s = kecepatan rata-rata (km/jam) dan D = kepadatan (skr/km)

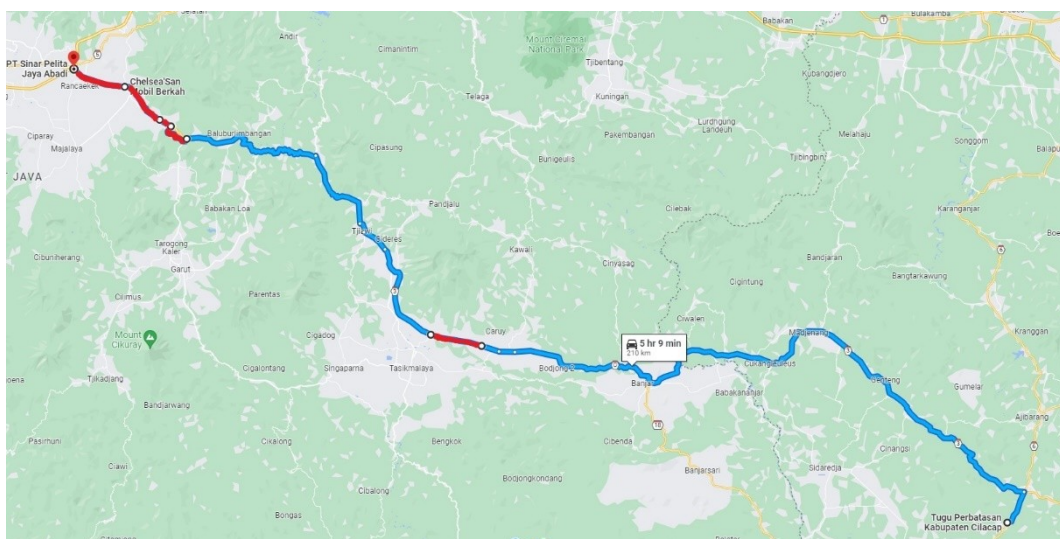
Untuk memperoleh nilai konstanta U_f dan D_m , persamaan sebelumnya diubah menjadi persamaan linear $y = a + bx$, dengan persamaan sebagai berikut.

$$\ln U_s = \ln U_f - \frac{D}{D_m} \quad (10)$$

dengan $\ln U_f = a$, $-\frac{1}{D_m} = b$, $D = x$ dan $\ln U_s = y$

METODE

Studi kasus penelitian ini adalah sepanjang rute perjalanan Kabupaten Cilacap (Jl. Tegal-Cilacap) hingga Kabupaten Bandung (Jl. Raya Cileunyi) dengan panjang jalan 210 km yang terbagi menjadi 23 segmen jalan. Adapun pembagian segmen jalan didasarkan atas pembagian segmen yang ditentukan oleh Sistem Informasi Geografis Metro Bina Marga sesuai dengan derajat kejenuhan dan lebar rata-rata jalan yang kemudian disesuaikan dengan tipe jalan dan kriteria kawasan. Data yang digunakan merupakan data primer berupa hasil survei lalu lintas segmen 10 (Jl. Nasional III Kab. Ciamis: Gapura Galuh Imbanegara – Pertigaan Sukasenang), segmen 21 (Jl. Raya Nagreg Kab. Bandung: Seblah Teh Susan – RETESTER NPSO PT. DHARMA SANGKURINDO RAHARJA), dan segmen 23 (Jl. Raya Cileunyi Kab. Bandung: Chelsea'san Mobil Berkah – PT. Sinar Pelita Jaya Abadi) sejauh masing-masing 7,9 km; 2,1 km; dan 8,4 km sebagai ruas jalan yang mengalami kemacetan (*traffic jam*) pada rute Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung dengan nilai derajat kejenuhan (VCR) melebihi 0,8. Data sekunder berupa derajat kejenuhan masing-masing segmen melalui Sistem Informasi Geografis Direktorat Jenderal Bina Marga.





Gambar 9 Lokasi Studi

Sumber: Google Maps, 2023

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik lalu lintas

Berdasarkan hasil survei lalu lintas yang dilakukan pada segmen 10, 21, dan 23, diperoleh volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas sebagai berikut.

Tabel 41 Volume Lalu Lintas pada Segmen 10

Hari	Waktu	V (kend/jam)	V (skr/jam)
Senin	07.00 – 08.00	2615	2020,3
	16.30 – 17.30	2619	2064,4
Rabu	07.00 – 08.00	1910	1673,9
	16.30 – 17.30	2797	2174,1
Sabtu	09.00 – 10.00	2054	1707,2
	17.00 – 18.00	3063	2406,5
Minggu	09.00 – 10.00	1986	1706,7
	17.00 – 18.00	2431	1922,6

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Tabel 42 Volume Lalu Lintas pada Segmen 21

Hari	Waktu	V (kend/jam)	V (skr/jam)
Senin	07.00 – 08.00	7212	4906,6
	16.30 – 17.30	7134	5462,5
Rabu	07.00 – 08.00	7199	5202,5
	16.30 – 17.30	7337	5285,5
Sabtu	09.00 – 10.00	6959	5113,4
	17.00 – 18.00	8077	5774,9
Minggu	09.00 – 10.00	6336	4741,7
	17.00 – 18.00	8045	5746,3

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Tabel 43 Volume Lalu Lintas pada Segmen 23

Hari	Waktu	V (kend/jam)	V (skr/jam)
Senin	07.00 – 08.00	15538	10727,6
	16.30 – 17.30	15976	11477,6
Rabu	07.00 – 08.00	14383	10327
	16.30 – 17.30	14452	9985,5
Sabtu	09.00 – 10.00	11361	8367,9
	17.00 – 18.00	14981	10384,8
Minggu	09.00 – 10.00	10832	7938,6
	17.00 – 18.00	13026	9287

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Tabel 44 Karakteristik Lalu Lintas pada Segmen 10

Hari	V (skr/jam)	Us (km/jam)	D (skr/km)
Senin	1021,18	28,16	36,26
Rabu	962,00	30,56	31,48
Sabtu	1028,43	27,64	37,21
Minggu	907,33	30,40	29,84

Tabel 45 Karakteristik Lalu Lintas pada Segmen 21

Hari	V (skr/jam)	Us (km/jam)	D (skr/km)
Senin	2592,28	27,75	93,42
Rabu	2622,00	27,85	94,15
Sabtu	2722,08	25,87	105,22
Minggu	2622,00	27,42	95,64

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Tabel 46 Karakteristik Lalu Lintas pada Segmen 23

Hari	V (skr/jam)	Us (km/jam)	D (skr/km)
Senin	5551,30	24,63	225,38
Rabu	5078,13	25,45	199,56
Sabtu	4688,18	26,88	174,42
Minggu	4306,40	27,45	156,86

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Kapasitas jalan

Kapasitas jalan sebagai jalan luar kota diperoleh berdasarkan persamaan PKJI (2014) sebagai berikut.

Tabel 47 Kapasitas Jalan

Segmen	Tipe	HS	Co (skr/jam)	FCw	FCPA	FCHS	C (skr/jam)
Segmen 1	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,88	2402,40
Segmen 2	2/2TT	S	3000	1,00	1,00	0,88	2640,00
Segmen 3	2/2TT	S	3000	1,00	1,00	0,88	2640,00
Segmen 4	2/2TT	S	3000	1,00	1,00	0,88	2640,00
Segmen 5	2/2TT	S	3000	1,08	0,97	0,88	2765,66
Segmen 6	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,88	2402,40
Segmen 7	2/2TT	S	3100	0,91	1,00	0,88	2482,48
Segmen 8	4/2T	T	3800	0,91	1,00	0,90	3112,20
Segmen 9	2/2TT	T	3100	1,08	1,00	0,84	2812,32
Segmen 10	2/2TT	T	3100	0,91	0,97	0,91	2490,10
Segmen 11	2/2TT	S	3100	0,91	1,00	0,94	2651,74
Segmen 12	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,94	2566,20
Segmen 13	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,91	2484,30
Segmen 14	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,94	2566,20
Segmen 15	2/1	R	3700	0,91	1,00	0,97	3265,99
Segmen 16	2/2TT	S	3000	0,91	1,00	0,94	2566,20
Segmen 17	2/2TT	T	3000	0,91	1,00	0,91	2484,30
Segmen 18	2/2TT	T	3000	0,91	1,00	0,91	2484,30
Segmen 19	2/2TT	T	3000	0,91	1,00	0,91	2484,30
Segmen 20	3/1	R	5550	1,00	1,00	0,96	5328,00
Segmen 21	4/2TT	T	6600	1,00	0,98	0,87	5598,45
Segmen 22	4/2T	ST	7400	1,00	1,00	0,96	7104,00
Segmen 23	6/2T	ST	11400	1,00	1,00	0,88	10032,00

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Maka diperoleh kapasitas jalan untuk segmen 10 dengan tipe jalan 2/2TT sebesar 2490,10 skr/jam, segmen 21 dengan tipe jalan 4/2TT sebesar 5598,45 skr/jam, dan segmen 23 dengan tipe jalan 6/2T sebesar 10032,00 skr/jam.

Derajat kejenuhan



Volume lalu lintas terpadat (volume puncak) pada segmen 10 terjadi pada Hari Sabtu pukul 17.00 – 18.00 sebesar 2406,50 skr/jam.

$$Q = 2406,50 \text{ skr/jam}$$

$$C = 2490,10 \text{ skr/jam}$$

$$DJ = \frac{2406,50 \text{ skr / jam}}{2490,10 \text{ skr / jam}} = 0,966$$

Maka diperoleh derajat kejenuhan jalan sebesar 0,966 yang dikategorikan dalam tingkat pelayanan (*Level of Service*) E dengan karakteristik jalan yang berada dalam arus tidak stabil dengan kecepatan yang tersendat-sendat karena volume jalan mendekati kapasitas.

Volume lalu lintas terpadat (volume puncak) pada segmen 21 terjadi pada Hari Sabtu pukul 17.00 – 18.00 sebesar 5774,90 skr/jam.

$$Q = 5774,90 \text{ skr/jam}$$

$$C = 5598,45 \text{ skr/jam}$$

$$DJ = \frac{5774,90 \text{ skr / jam}}{5598,45 \text{ skr / jam}} = 1,032$$

Maka diperoleh derajat kejenuhan jalan sebesar 1,032 yang dikategorikan dalam tingkat pelayanan (*Level of Service*) F dengan karakteristik jalan dengan kinerja yang tidak maksimal karena arus terhambat, kecepatan kendaraan rendah, volume di atas kapasitas, dan terhambatnya lalu lintas menyebabkan antrian sehingga terjadi kemacetan.

Volume lalu lintas terpadat (volume puncak) pada segmen 23 terjadi pada Hari Senin pukul 17.00 – 18.00 sebesar 11477,60 skr/jam.

$$Q = 11477,60 \text{ skr/jam}$$

$$C = 10032 \text{ skr/jam}$$

$$DJ = \frac{11477,60 \text{ skr / jam}}{10032 \text{ skr / jam}} = 1,144$$

Maka diperoleh derajat kejenuhan jalan sebesar 1,144 yang dikategorikan dalam tingkat pelayanan (*Level of Service*) F dengan karakteristik jalan dengan kinerja yang tidak maksimal karena arus terhambat, kecepatan kendaraan rendah, volume di atas kapasitas, dan terhambatnya lalu lintas menyebabkan antrian sehingga terjadi kemacetan.

Pada segmen selanjutnya, digunakan nilai derajat kejenuhan berdasarkan laman SIG Metro Bina Marga sekaligus perhitungan volume lalu lintas dengan mengalikan derajat kejenuhan dengan kapasitas jalan yang dirangkum dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 48 Derajat Kejenuhan dan Tingkat Pelayanan Jalan

Segmen	Tipe	C (skr/jam)	VCR	LOS	V (skr/jam)
Segmen 1	2/2TT	2402,40	0,750	D	1801,80
Segmen 2	2/2TT	2640,00	0,400	B	1056,00
Segmen 3	2/2TT	2640,00	0,350	B	924,00
Segmen 4	2/2TT	2640,00	0,440	B	1161,65
Segmen 5	2/2TT	2765,66	0,497	C	1374,10
Segmen 6	2/2TT	2402,40	0,495	C	1189,95

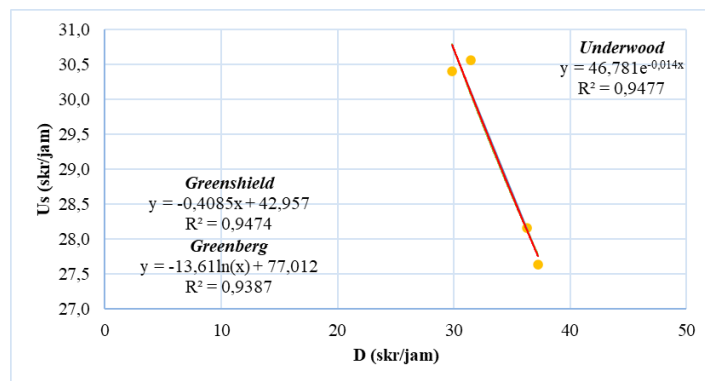
Segmen	Tipe	C (skr/jam)	VCR	LOS	V (skr/jam)
Segmen 7	2/2TT	2482,48	0,272	B	674,69
Segmen 8	4/2T	3112,20	0,440	B	1369,37
Segmen 9	2/2TT	2812,32	0,423	B	1188,35
Segmen 10	2/2TT	2490,10	0,966	E	2406,50
Segmen 11	2/2TT	2651,74	0,742	C	1967,91
Segmen 12	2/2TT	2566,20	0,520	C	1334,42
Segmen 13	2/2TT	2484,30	0,356	B	883,65
Segmen 14	2/2TT	2566,20		C	1401,90
Segmen 15	2/1	3265,99	0,546	C	1784,19
Segmen 16	2/2TT	2566,20		C	1401,90
Segmen 17	2/2TT	2484,30	0,788	D	1958,23
Segmen 18	2/2TT	2484,30	0,280	B	695,60
Segmen 19	2/2TT	2484,30	0,778	D	1933,55
Segmen 20	3/1	5328,00	0,950	E	5061,60
Segmen 21	4/2TT	5598,45	1,032	F	5774,90
Segmen 22	4/2T	7104,00	1,036	F	7327,90
Segmen 23	6/2T	10032,00	1,144	F	11477,60

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh bahwasanya jalur macet (*traffic jam*) berada di segmen 10, 21, dan 23 dengan nilai derajat kejenuhan melebihi 0,8.

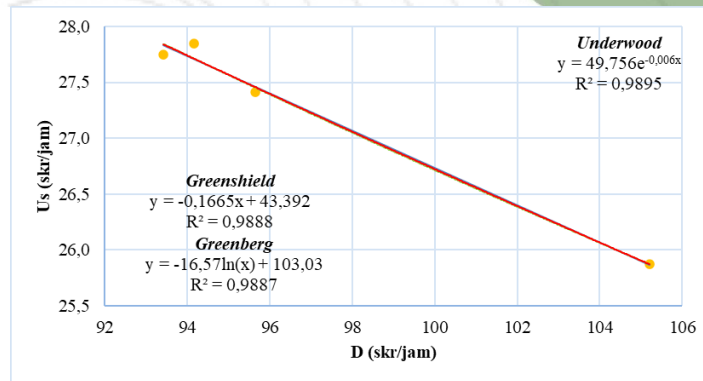
Model hubungan karakteristik lalu lintas

Dengan melakukan transformasi linear, persamaan pada masing-masing model hubungan, baik *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood* dinyatakan dalam persamaan linear $Y = a + bx$ dengan mengasumsikan kecepatan sebagai variabel y dan kepadatan sebagai variabel x , sehingga diperoleh grafik hubungan volume, kepadatan, dan kecepatan lalu lintas sebagai berikut.



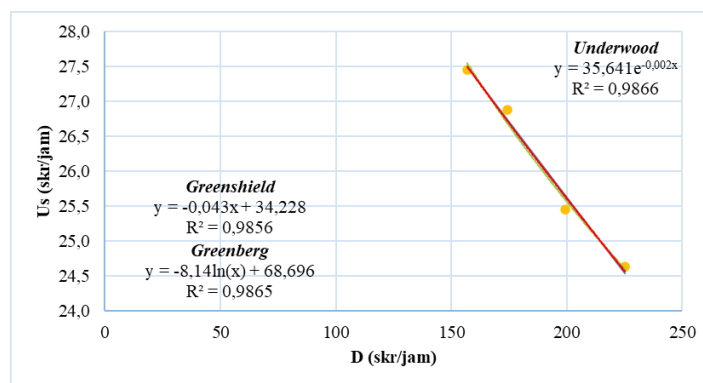
Gambar 10 Hubungan Kecepatan dan Kepadatan pada Segmen 10

Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 11 Hubungan Kecepatan dan Kepadatan pada Segmen 21

Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 12 Hubungan Kecepatan dan Kepadatan pada Segmen 23

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Pada grafik hubungan kecepatan dan kepadatan pada masing-masing segmen, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) pada ketiga model memiliki nilai yang baik dengan rentang yang tidak terlalu jauh berbeda, namun R^2 tertinggi diperoleh dari model hubungan *Underwood*. Model *Underwood* dianggap paling sesuai dengan kondisi jalan sebagai jalan luar kota, di mana pergerakan lalu lintas bersifat eksponensial bukan linear karena pengaruh kondisi sekitar dan hambatan jalan, sehingga arus lalu lintas tidak bergerak secara tetap (*steady state condition*). Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan model *Underwood* untuk mengetahui hubungan volume dan kecepatan, volume dan kepadatan, serta kecepatan dan kepadatan sebagai berikut.

Hubungan kecepatan dan kepadatan (S-D)

Dengan menggunakan metode regresi linear, diperoleh persamaan regresi pada segmen 10 sebagai berikut.

$a = 3,846; b = -0,014$

Karena $a = \ln U_f$ dan $b = \frac{-1}{D_m}$, maka diperoleh $U_f = 46,782 \text{ km/jam}; D_m = 71,429 \text{ skr/km}$.

Maka diperoleh persamaan $U_s = 46,782 e^{\frac{-D}{71,429}}$

dengan $R^2 = 0,948$ dan $R = 0,973$.

Dengan menggunakan metode regresi linear, diperoleh persamaan regresi pada segmen 21 sebagai berikut.

$$a = 3,907; b = -0,0062$$

Karena $a = \ln U_f$ dan $b = \frac{-1}{Dm}$, maka diperoleh $U_f = 49,754$ km/jam; $D_m = 161,290$ skr/km.

$$\text{Maka diperoleh persamaan } U_s = 49,755 e^{\frac{-D}{161,290}}$$

dengan $R^2 = 0,9895$ dan $R = 0,994$.

Dengan menggunakan metode regresi linear, diperoleh persamaan regresi pada segmen 23 sebagai berikut.

$$a = 3,574; b = -0,0017$$

Karena $a = \ln U_f$ dan $b = \frac{-1}{Dm}$, maka diperoleh $U_f = 35,641$ km/jam; $D_m = 588,235$ skr/km.

$$\text{Maka diperoleh persamaan } U_s = 35,641 e^{\frac{-D}{588,235}}$$

dengan $R^2 = 0,987$ dan $R = 0,993$.

Hubungan volume dan kecepatan (V-S)

Berdasarkan analisis dengan menggunakan model Underwood, maka diperoleh model hubungan volume dan kecepatan sebagai berikut.

$$V = D_m \times U_s \times \ln\left(\frac{U_f}{U_s}\right)$$

$$V_{10} = 71,429 \times U_s \times \ln\left(\frac{46,872}{U_s}\right)$$

$$V_{21} = 161,290 \times U_s \times \ln\left(\frac{49,755}{U_s}\right)$$

$$V_{23} = 588,235 \times U_s \times \ln\left(\frac{35,641}{U_s}\right)$$

Hubungan volume dan kepadatan (V-D)

Berdasarkan analisis dengan menggunakan model Underwood, maka diperoleh model hubungan antar karakteristik lalu lintas, yaitu volume dan kepadatan sebagai berikut.

$$V = U_f \times D \times e^{\frac{-D}{Dm}}$$

$$V_{10} = 46,782 \times D \times e^{\frac{-D}{71,429}}$$

$$V_{21} = 49,755 \times D \times e^{\frac{-D}{161,290}}$$

$$V_{23} = 35,641 \times D \times e^{\frac{-D}{588,235}}$$

Volume maksimum

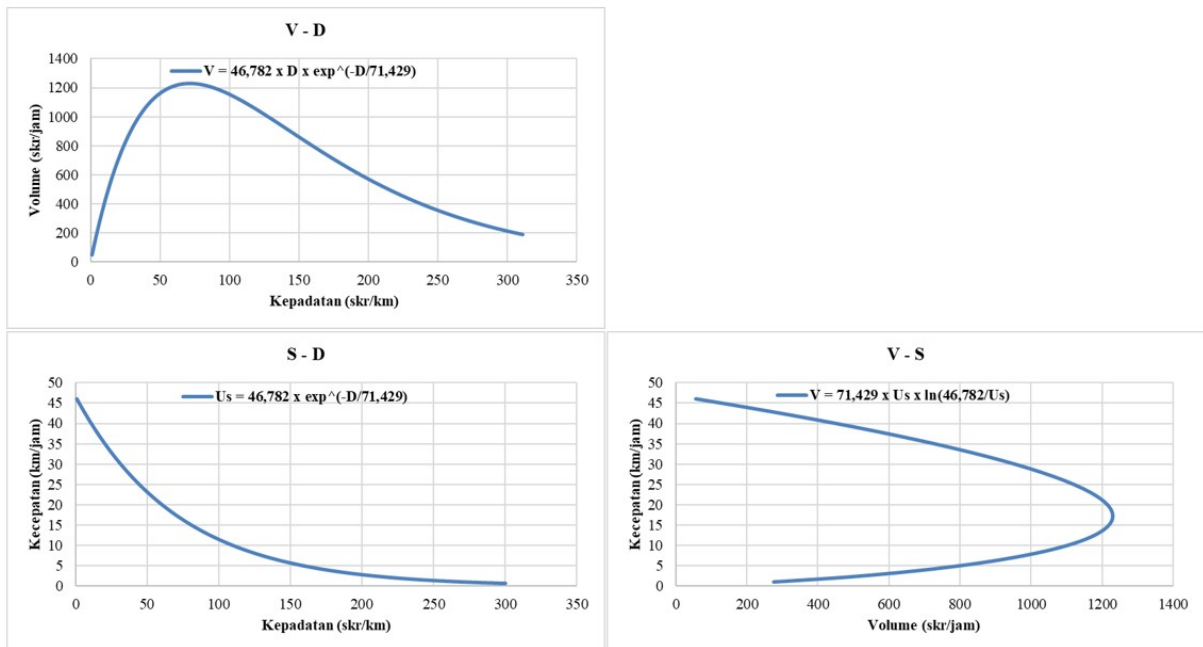
Berdasarkan analisis dengan model *Underwood*, diperoleh volume maksimum pada masing-masing segmen sebagai berikut.

$$V = \frac{Dm \times Uf}{e}$$

$$V_{10} = \frac{71,429 \times 46,782}{e} = 1229,297 \text{ skr/jam}$$

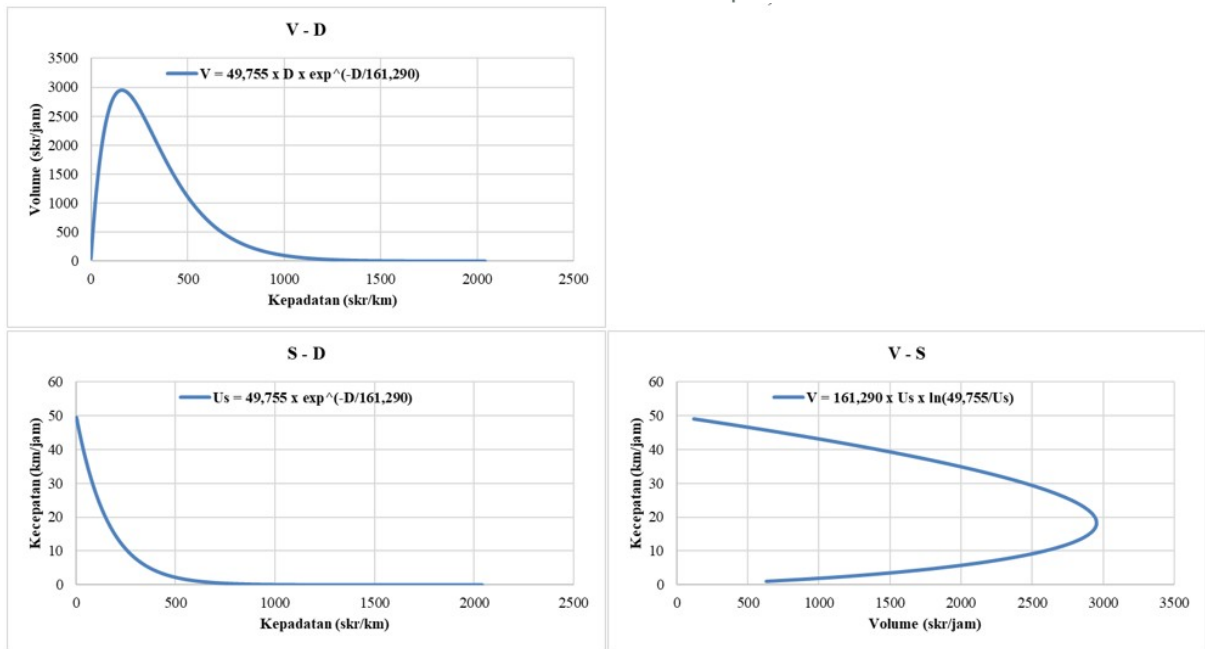
$$V_{21} = \frac{161,290 \times 49,755}{e} = 2952,20 \text{ skr/jam}$$

$$V_{23} = \frac{588,235 \times 35,641}{e} = 7712,73 \text{ skr/jam}$$



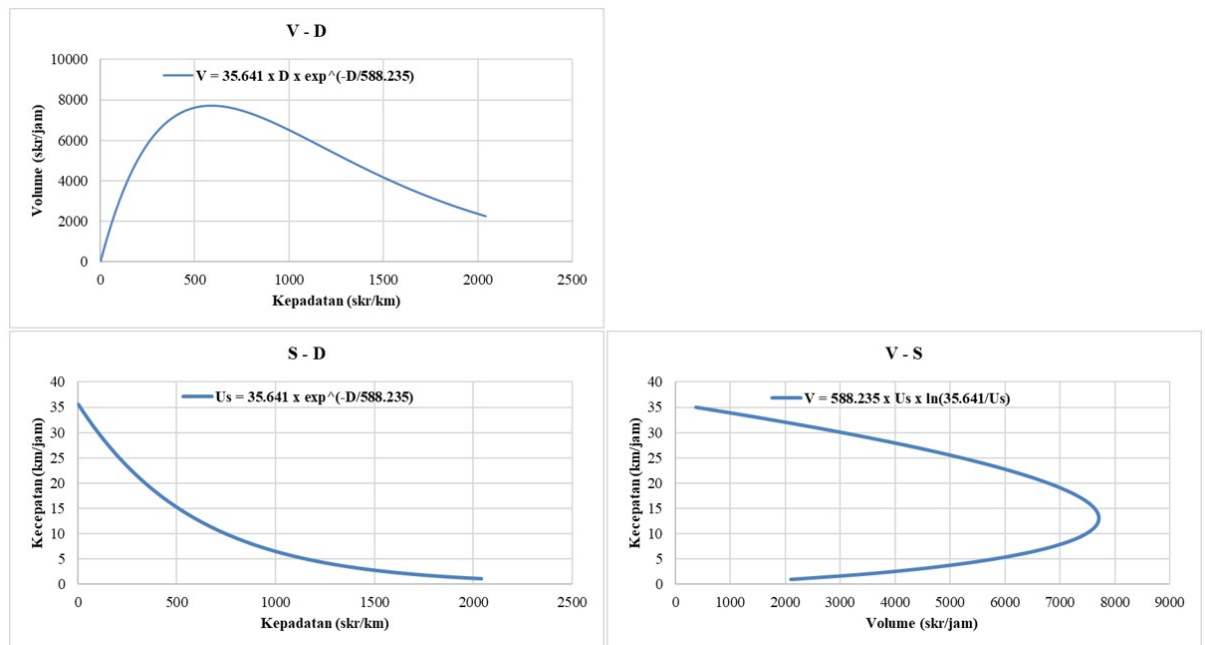
Gambar 13 Hubungan Volume, Kepadatan, dan Kecepatan pada Segmen 10

Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 14 Hubungan Volume, Kepadatan, dan Kecepatan pada Segmen 21

Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 15 Hubungan Volume, Kepadatan, dan Kecepatan pada Segmen 23

Sumber: Hasil Analisis, 2023

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.



- Hubungan paling signifikan antara kecepatan dan kepadatan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi adalah model hubungan *Underwood* pada segmen jalan yang tergolong jalur *traffic jam* pada rute Kabupaten Cilacap ke Kabupaten Bandung.
- Nilai koefisien determinasi memiliki arti bahwa kesesuaian model sebesar persentase nilai koefisien determinasi (R^2) dengan tingkat kepercayaan dalam menggambarkan hubungan kecepatan dan kepadatan sesuai dengan kondisi eksisting lalu lintas.
- Volume maksimum lalu lintas sebesar 1229,297 skr/jam untuk segmen 10, 2952,20 skr/jam untuk segmen 21, dan 7712,73 untuk segmen 23 dengan model *Underwood*.
- Hubungan antara volume dan kecepatan serta volume dan kepadatan merupakan fungsi eksponensial karena pergerakan dipengaruhi kondisi sekitar dan hambatan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A Survey of Road Traffic Congestion Measures Towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su12114660>
- Akbardin, J. (2013). Kajian Hubungan Volume, Kecepatan, Dan Kepadatan Lalu Lintas Model Underwood (Studi Kasus Jalan Lingkar Luar Kota Demak). *ASTONJADRO: Jurnal Rekayasa Sipil*, 2(1), 16–27.
- Jagannathan, A. (2019). *Level of Service (LOS) Effect in Terrain Conditions*. 2(8), 32–36.
- Julianto, E. N. (2010). Hubungan Antara Kecepatan, Volume Dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 12(2), 151–160.
- Saputra, B., & Savitri, D. (2021). Analisis Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu-Lintas Berdasarkan Model Greenshield, Greenberg dan Underwood. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(1), 43–60. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v5i1.8742>
- Suthanaya, P. A., & Petrus, S. (2017). Analisis Biaya Kemacetan Lalu Lintas di Kawasan Pariwisata Kuta, Provinsi Bali. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) 11*, 19–26.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. ITB Press.
- Widari, L. A., Muthmainnah, Fauzan, M., Zuraida, & Manik, S. R. M. (2022). Hubungan Volume Kecepatan dan Kepadatan Berdasarkan Metode Greenshield dan Metode Greenberg. *Jurnal Teknologi Terapan and Sains* 4.0, 3(3), 19–30. <https://doi.org/10.1976/tts.4.0.v3i3.9469>
- Zawawa, G., & Naghawi, H. (2021). View of Evaluation of the Operational Performance of Continuous Green T-Intersection under Different Levels of Congestion. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 49(1), 66–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.3311/PPtr.14032>