



ANALISIS HUBUNGAN KARAKTERISTIK ANTARA VOLUME, KECEPATAN, DAN KEPADATAN ARUS LALU LINTAS DENGAN MENGGUNAKAN MODEL UNDERWOOD

(Studi Kasus: Jalan Raya Kletek, Kabupaten Sidoarjo)

Muhammad Yusuf Ramadhan^{1*}, Hendrata Wibisana²

^{1*,2}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Surabaya
Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar Surabaya
Telp. (031) 870 6369
Alamat E-mail : 19035010096@student.upnjatim.ac.id

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Jan 2024
Disetujui: Feb 2024
Dipublikasikan: Des 2024

Keywords:

Underwood, Sistem Informasi Geografis, Volume, Kecepatan, Kepadatan

Jalan Raya Kletek merupakan salah satu jalan yang dikenal dengan jalur pertigaan (simpang tiga) yang menghubungkan antara Surabaya-Sidoarjo kota dan Surabaya-Madiun. Jalan ini termasuk ke dalam tipe lajur 4/2D. Salah satu permasalahan yang sering terjadi disini yaitu kepadatan lalu lintas, dikarenakan pertumbuhan ekonomi serta kepemilikan kendaraan yang menjadi penyebabnya. Melihat kondisi lalu lintas seperti ini perlu dilakukan analisis karakteristik lalu lintas yang mengacu pada tiga parameter utama yaitu, volume, kecepatan, dan kepadatan. Salah satu model yang akan digunakan untuk melakukan analisis ini yaitu model *Underwood*. Dari hasil analisis yang dilakukan di Jalan Raya Kletek didapatkan nilai R^2 terbesar yaitu pada hari Jum'at Segmen 1 Jalur 2 (Arah Surabaya) dengan nilai 0.79. Nilai masing-masing variabel yang didapatkan pada segmen ini yaitu, Q_{maks} sebesar 3099.35 smp/jam, V_f sebesar 36.57 km/jam, V_m sebesar 13.45 km/jam dan D_m sebesar 230.41 smp/km. Dikarenakan nilai R^2 terbesar mendekati nilai +1 maka dapat disimpulkan bahwa pada segmen di Jalan Raya Kletek ini mendekati hasil kondisi lapangan yang sebenarnya.

Kata Kunci: Kerusakan Jalan, *Pavement Condition Index*, Pemetaan, Sistem Informasi Geografi

Abstract

Jalan Raya Kletek is one of the roads known as a T-junction (junction three) that connects Surabaya-Sidoarjo city and Surabaya-Madiun. This road is included in the 4/2D lane type. One of the problems that often occurs here is traffic congestion, due to economic growth and vehicle ownership which is the cause. Seeing traffic conditions like this, it is necessary to analyze traffic characteristics referring to three main parameters, namely, volume, speed and density. One of the models that will be used to carry out this analysis is the Underwood model. From the results of the analysis carried out on Jalan Raya Kletek, it was found that the largest R^2 value was on Friday Segment 1 Line 2 (Surabaya direction) with a value of 0.79. The values for each variable obtained in this segment are, Q_{max} of 3099.35 pcu/hour, V_f of 36.57 km/hour, V_m of 13.45 km/hour and D_m of 230.41 pcu/km. Because the largest R^2

value is close to +1, it can be concluded that this segment on Jalan Raya Kletek is close to the results of actual field conditions.

© 2024

Universitas Abdurrah

Alamat korespondensi:

Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar Surabaya

E-mail : 19035010096@student.upnjatim.ac.id

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Jalan Raya Kletek merupakan salah satu jenis Jalan Nasional di Kabupaten Sidoarjo yang termasuk kedalam kelas jalan kolektor dengan tipe 4/2D (4 lajur 2 arah terbagi). Jalan tersebut menghubungkan antara Surabaya – Sidoarjo Kota dan Surabaya – Madiun. Oleh karena itu, cukup banyak terjadi lonjakan volume kendaraan yang sangat mempengaruhi kondisi arus lalu lintas terutama pada jam-jam tertentu yaitu, pagi dan sore hari. Keadaan tersebut perlu penanganan yang sistematis guna mendapatkan solusi yang efektif dengan keadaan yang terjadi di lapangan.

Permasalahan lalu lintas jalan raya merupakan suatu permasalahan yang kompleks dalam dunia transportasi darat terutama dalam perkotaan [1]. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada kota besar di Indonesia yaitu kepadatan lalu lintas. Pertumbuhan ekonomi dan kepemilikan kendaraan yang meningkat, tingginya tingkat urbanisasi, serta bercampurnya fungsi jalan arteri, kolektor, dan lokal menjadi penyebab permasalahan tersebut [2]. Informasi mengenai karakteristik arus lalu lintas cukup penting untuk diketahui pada setiap daerah.

Salah satu permasalahan lalu lintas yang cukup banyak terjadi yaitu melonjaknya volume lalu lintas yang berakibat terhadap kepadatan. Secara teoritis terdapat tiga parameter hubungan mendasar yang terjadi antara volume (*flow*) dengan kecepatan (*speed*) serta kepadatan (*density*) [3]. Pergerakan lalu lintas sendiri juga memiliki teori sendiri dengan memegang peranan yang sangat penting dalam perencanaan, perancangan, serta penetapan di berbagai kebijakan sistem transportasi. Teori tersebut juga menjelaskan tentang kualitas dan kuantitas sehingga didapatkan kebijakan lalu lintas yang tepat [4]. Arus lalu lintas yang terdapat di lapangan pada kenyataannya adalah berbentuk heterogen [5]. Beragam kendaraan dengan ukuran dan jenisnya bisa berpengaruh dengan keadaan arus lalu lintas [6]. Dengan kondisi tersebut diperlukan suatu besaran jenis kendaraan secara keseluruhan. Satuan mobil penumpang (*smp*) merupakan besaran yang menyatakan ekivalensi pada setiap jenis kendaraan penumpang [7].

Maka dari itu, tujuan penelitian yang dilakukan ini untuk mengetahui informasi tentang pergerakan arus lalu lintas dengan menjabarkan hasilnya dalam bentuk matematis dan grafis. Dengan menggunakan parameter utama yaitu volume, kecepatan, dan kepadatan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengkaji tentang analisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan

lalu lintas. Untuk merepresentasikan hubungan matematis tersebut digunakan metode *Underwood* serta bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG)

TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Pada aliran arus yang terjadi pada lalu lintas terdapat tiga variabel utama yang akan digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui karakteristik lalu lintas tersebut.

- Volume (*flow*)
Jumlah kendaraan yang melewati titik tinjau pada penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan /satuan waktu tertentu
- Kecepatan (*speed*).
Jarak yang ditempuh oleh suatu kendaraan pada ruas jalan penelitian yang akan dilakukan /satuan waktu.
- Kepadatan (*density*)
Jumlah kendaraan /satuan panjang yang akan dilakukan penelitian pada setiap segmen jalan.

Ketiga variabel tersebut memiliki hubungan mendasar antara satu sama lain. Hubungan tersebut dapat digambarkan secara grafis dengan menggunakan persamaan matematis [2].

Model *Underwood*

Model *Underwood* merupakan salah satu bentuk model dalam menganalisis karakteristik arus lalu lintas dengan bentuk persamaan eksponensial. Dalam analisis karakteristik lalu lintas ini digunakan tiga parameter utama yaitu volume, kecepatan, dan kepadatan lalu dapat ditemukan persamaan matematis menggunakan model ini. Dalam persamaan ini dapat diketahui nilai volume maksimum, kecepatan bebas, kecepatan maksimum, kepadatan maksimum dan koefisien determinasi.

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f \cdot \exp\left(\frac{-D}{D_m}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

\bar{V}_s = Kecepatan

\bar{V}_f = Kecepatan pada saat kondisi arus bebas

D = Kepadatan

D_m = Kepadatan pada saat volume maksimum

Untuk mendapatkan nilai \bar{V}_f dan D_m

$$\ln \bar{V}_s = \ln \bar{V}_f - \left(\frac{-D}{D_m}\right) \dots\dots\dots (2)$$

Dengan memisahkan $y = \ln \bar{V}_s$; $a = \ln \bar{V}_f$; $b = \left(\frac{-1}{D_m}\right)$; $x = D$

Hubungan volume dan kepadatan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = D \cdot \bar{V}_f \cdot \exp\left(\frac{-D}{D_m}\right) \quad (3)$$

Hubungan volume dan kecepatan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = \bar{V}_s \cdot D_m \cdot \ln\left(\frac{\bar{V}_f}{\bar{V}_s}\right) \quad (4)$$

METODE

Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data diperoleh menggunakan metode kuantitatif deskriptif yang merupakan perhitungan dan penjabaran data yang diperoleh dilapangan dari setiap titik yang akan ditinjau atau dilakukan analisis. Data yang akan digunakan ada dua (2), yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang dimaksud yaitu data yang dikumpulkan atau diperoleh langsung dari penelitian. Data sekunder sendiri merupakan data jurnal atau tinjauan pustaka yang masih berkaitan dengan pembahasan ini. Ada juga Peta Rupabumi atau Peta (RBI) Kabupaten Sidoarjo.

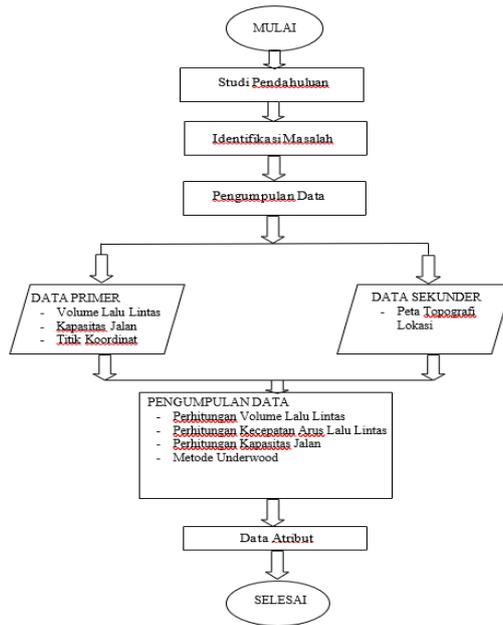
Analisis Data

Analisis data disini bertujuan untuk menganalisis data yang telah diperoleh dari penelitian pada Jalan Raya Kletek, meliputi volume, kecepatan, serta kepadatan. Proses analisis yang dilakukan mengacu pada rumusan MKJI. Selama proses pengolahan data yang dilakukan menggunakan bantuan beberapa *software* agar mempermudah proses analisis dan perhitungan tersebut. Seperti *Microsoft Excel* dan *MapwindowGIS (ArcGis)* untuk pengolahan data spasial yang menjadi acuan dalam pengerjaan penelitian ini.

Pemetaan Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG)

Setelah data perhitungan dilakukan, tahapan selanjutnya adalah pemetaan dalam bentuk SIG. Pemetaan ini dibantu dengan menggunakan Peta RBI Indonesia yang akan dijadikan bahan dasar atau acuan untuk mengolah peta tematik.

Diagram Alir Penelitian

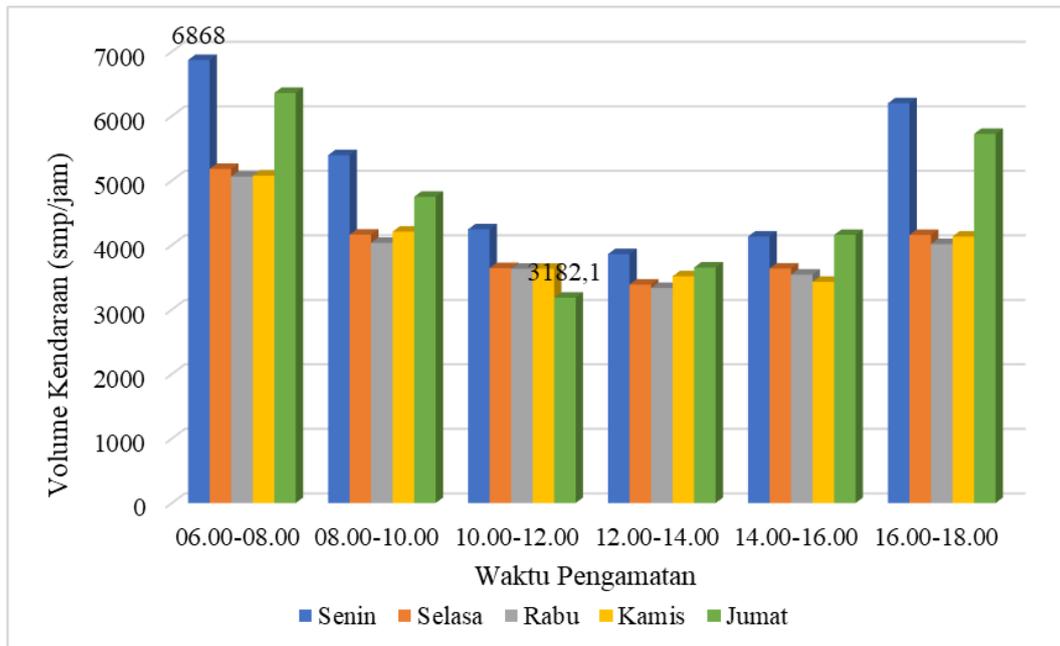


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Volume Lalu Lintas

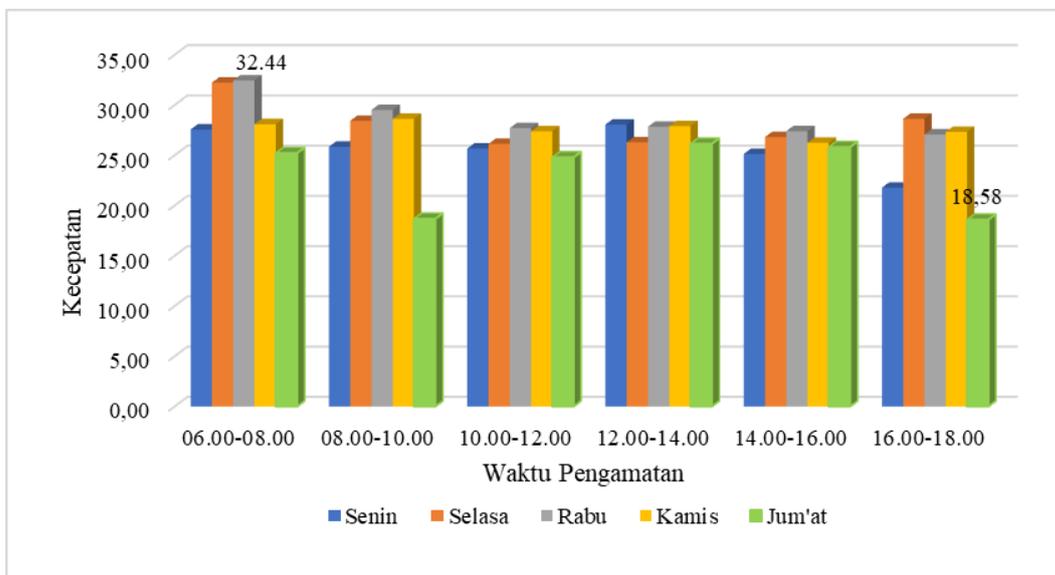
Data dari volume dan kecepatan lalu lintas ini didapat dari pengamatan langsung atau survei di lapangan pada jalan dan segmen yang sudah ditentukan.



Sumber: Survey Penelitian

Gambar 2 Grafik Data Volume Kendaraan

Berikut grafik perbandingan volume kendaraan setiap hari dengan interval waktu 2 jam. Dapat diketahui bahwa nilai volume kendaraan tertinggi terdapat pada hari Senin pukul 06.00-08.00 WIB sebesar 6868 smp/jam. Hal ini dapat diperkirakan dengan banyaknya aktivitas pada arus lalu lintas yang terjadi pada waktu tersebut.



Sumber: Survey Penelitian

Gambar 3 Grafik Data Volume Kendaraan

Lalu ada juga grafik perbandingan kecepatan kendaraan setiap hari dengan interval waktu 2 jam. Dapat diketahui bahwa nilai kecepatan kendaraan terendah terjadi pada hari Jum'at pukul 16.00-18.00 WIB sebesar 18.58 km/jam. Hal ini dapat diperkirakan dengan melonjaknya volume yang mengakibatkan menurunnya kecepatan. Dikarenakan hubungan volume dan kecepatan berbanding terbalik, semakin tingginya volume maka semakin rendahnya kecepatan begitu juga dengan sebaliknya.

Analisis Hasil Perhitungan Model Underwood

Model ini berpendapat bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan berbentuk eksponensial. Dibawah ini terdapat tabel perhitungan untuk mencari karakteristik lalu lintas pada Jalan Raya Kletek Sidoarjo.

Tabel 1. Data Regresi Linear Metode *Underwood*

No	Periode	Volume (Q)	RoF	Vs	D = (X1)	Ln VS = (Y1)	X1 . Y1	X1^2	Y1^2
		(smp/15 mnt)	(smp/jam)	(km/jam)					
		(1)	(2)	(3)	(4) = (2)/(3)	(5) = Ln (3)	(6) = (4)*(5)	(7) = (4)^2	(8) = (5)^2
1	06.00 - 06.15	770,8	3083,2	43,73	70,50	3,78	266,36	4970,27	14,27
2	06.15 - 06.30	817,2	3268,8	36,92	88,54	3,61	319,51	7838,92	13,02
3	06.30 - 06.45	759,05	3036,2	20,67	146,89	3,03	444,89	21577,59	9,17
4	06.45 - 07.00	819,5	3278	17,62	186,01	2,87	533,69	34598,85	8,23
5	07.00 - 07.15	791,7	3166,8	29,59	107,02	3,39	362,54	11454,22	11,47
6	07.15 - 07.30	795,2	3180,8	19,88	160,01	2,99	478,38	25604,61	8,94
7	07.30 - 07.45	792,8	3171,2	21,26	149,18	3,06	456,00	22254,75	9,34
8	07.45 - 08.00	810,55	3242,2	12,00	270,29	2,48	671,54	73057,84	6,17
9	08.00 - 08.15	855,2	3420,8	11,94	286,55	2,48	710,57	82112,79	6,15
10	08.15 - 08.30	755,55	3022,2	15,08	200,39	2,71	543,75	40155,70	7,36
11	08.30 - 08.45	604,95	2419,8	10,79	224,32	2,38	533,52	50321,48	5,66
12	08.45 - 09.00	580,2	2320,8	11,95	194,20	2,48	481,76	37712,04	6,15
13	09.00 - 09.15	528,45	2113,8	23,93	88,34	3,17	280,49	7804,78	10,08
14	09.15 - 09.30	468,2	1872,8	23,85	78,51	3,17	249,04	6164,58	10,06
15	09.30 - 09.45	470,65	1882,6	27,80	67,71	3,33	225,15	4584,62	11,06
16	09.45 - 10.00	484,65	1938,6	23,99	80,80	3,18	256,75	6527,99	10,10
17	10.00 - 10.15	445,75	1783	33,27	53,59	3,50	187,83	2872,35	12,28
18	10.15 - 10.30	453,25	1813	22,37	81,05	3,11	251,88	6569,18	9,66
19	10.30 - 10.45	424,45	1697,8	31,38	54,10	3,45	186,44	2926,73	11,88
20	10.45 - 11.00	415,4	1661,6	21,18	78,43	3,05	239,48	6151,94	9,32
21	11.00 - 11.15	398,3	1593,2	23,86	66,76	3,17	211,79	4456,87	10,06
22	11.15 - 11.30	342,45	1369,8	22,77	60,17	3,13	188,05	3620,40	9,77
23	11.30 - 11.45	337,95	1351,8	22,03	61,37	3,09	189,77	3765,89	9,56
24	11.45 - 12.00	364,55	1458,2	21,39	68,16	3,06	208,78	4646,01	9,38
25	12.00 - 12.15	382,6	1530,4	29,13	52,53	3,37	177,12	2759,31	11,37
26	12.15 - 12.30	449,6	1798,4	29,62	60,71	3,39	205,72	3685,53	11,48
27	12.30 - 12.45	473,15	1892,6	26,57	71,24	3,28	233,63	5074,56	10,76
28	12.45 - 13.00	528,9	2115,6	24,21	87,39	3,19	278,50	7637,76	10,15
29	13.00 - 13.15	456,05	1824,2	28,27	64,52	3,34	215,61	4162,36	11,17
30	13.15 - 13.30	419,9	1679,6	21,80	77,06	3,08	237,47	5937,51	9,50
31	13.30 - 13.45	465,8	1863,2	26,94	69,17	3,29	227,81	4784,33	10,85
32	13.45 - 14.00	475,9	1903,6	22,53	84,49	3,11	263,17	7138,22	9,70
33	14.00 - 14.15	468,45	1873,8	25,75	72,77	3,25	236,39	5295,39	10,55
34	14.15 - 14.30	429,9	1719,6	24,51	70,16	3,20	224,44	4922,11	10,23
35	14.30 - 14.45	518,15	2072,6	19,09	108,59	2,95	320,22	11791,25	8,70
36	14.45 - 15.00	478,65	1914,6	28,60	66,94	3,35	224,47	4480,32	11,25
37	15.00 - 15.15	491,95	1967,8	28,77	68,39	3,36	229,76	4677,45	11,29
38	15.15 - 15.30	580,8	2323,2	26,03	89,27	3,26	290,93	7968,78	10,62
39	15.30 - 15.45	594,2	2376,8	29,96	79,34	3,40	269,75	6295,37	11,56
40	15.45 - 16.00	594,2	2376,8	23,72	100,22	3,17	317,31	10044,20	10,02
41	16.00 - 16.15	673,3	2693,2	30,88	87,22	3,43	299,16	7606,94	11,77
42	16.15 - 16.30	575,85	2303,4	22,78	101,10	3,13	316,04	10220,61	9,77
43	16.30 - 16.45	712,15	2848,6	24,66	115,51	3,21	370,24	13342,64	10,27
44	16.45 - 17.00	749,85	2999,4	22,13	135,54	3,10	419,75	18370,15	9,59
45	17.00 - 17.15	780,05	3120,2	12,37	252,29	2,52	634,53	63651,08	6,33
46	17.15 - 17.30	764,35	3057,4	10,80	283,10	2,38	673,64	80145,40	5,66
47	17.30 - 17.45	718,25	2873	10,21	281,44	2,32	653,83	79206,11	5,40
48	17.45 - 18.00	748,55	2994,2	14,78	202,58	2,69	545,61	41039,25	7,25
Jumlah		27817,30		1113,36	5604,45	148,43	16343,05	881987,06	464,41

Sumber: Perhitungan dan Analisis Penelitian

Setelah dilakukan perhitungan regresi linear maka didapatkan:

- $$b = \frac{n \sum X.Y - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$b = -0.00434$

- $$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X}$$

Dimana:
$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$a = 3.599$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Maka,

$a = 3.599$ $V_f = \exp(a) = 36.566 \text{ km/jam}$

$b = -0.00434$ $D_m = -1/b = 230.405 \text{ smp/jam}$

Didapat persamaan eksponensial dengan memasukkan persamaan (1):

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f \cdot \exp\left(\frac{-D}{D_m}\right)$$

$$\bar{V}_s = 36.566 \cdot \exp\left(\frac{-D}{230.405}\right) \tag{5}$$

Koefisien determinasi (R^2) dapat dicari dengan persamaan berikut:

- $R = \frac{n \sum X.Y - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$
- $R = -0.891$
- $R^2 = 0.79$

1. Hubungan Volume dan Kecepatan

$$Q = \bar{V}_s \cdot Dm \cdot \ln\left(\frac{\bar{V}_f}{\bar{V}_s}\right)$$

$$Q = \bar{V}_s \cdot 230.405 \cdot \ln\left(\frac{36.566}{\bar{V}_s}\right) \tag{6}$$

2. Hubungan Volume dan Kepadatan

$$Q = D \cdot \bar{V}_f \cdot \exp\left(\frac{-D}{D_m}\right)$$

$$Q = D \cdot 36.566 \cdot \exp\left(\frac{-D}{230.405}\right) \tag{7}$$

3. Volume Maksimum

$$Q_M = Dm \cdot \left(\frac{\bar{V}_f}{exp}\right)$$

$$Q_M = 3099.35 \text{ smp/jam}$$

4. Kecepatan Maksimum

$$V_M = \frac{\bar{V}_f}{exp}$$

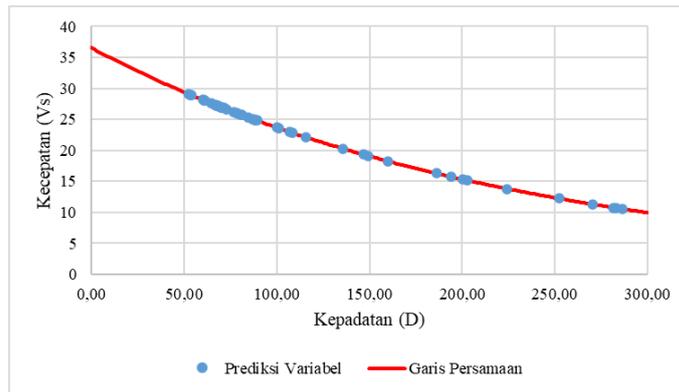
$$V_M = 13.45 \text{ km/jam}$$

Tabel 2. Persamaan Hubungan Karakteristik *Underwood*

Segmen	Hubungan	Model <i>Underwood</i>
	$V_s - D$	$36,566 \times \exp(-D/230,405)$
Segmen 1 (Jalur 2)	$Q - V_s$	$V_s \times 230,405 \times \ln(36,566/V_s)$
	$Q - D$	$D \times 36,566 \times \exp(-D/230,405)$

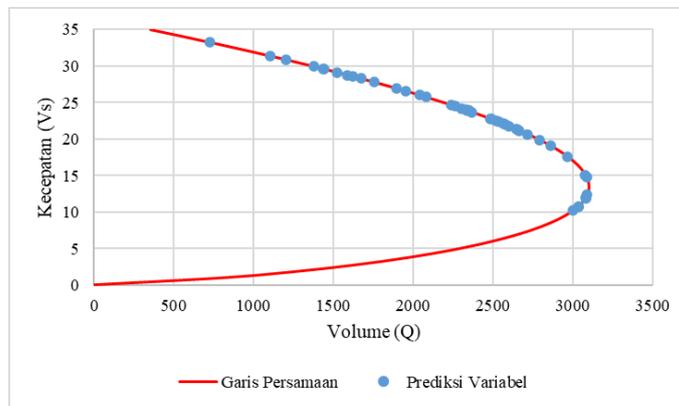
Sumber: Perhitungan penelitian

Dari tabel 2. persamaan hubungan karakteristik didapatkan model grafik pada setiap persamaannya, berikut:



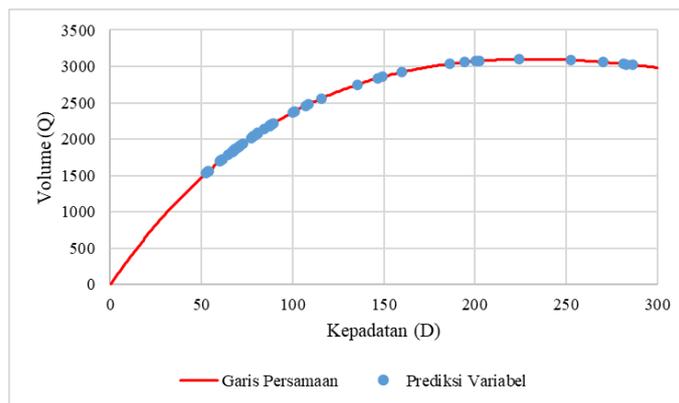
Sumber: Survey Penelitian

Gambar 4. Grafik Kecepatan – Kendaraan



Sumber: Survey Penelitian

Gambar 5. Grafik Volume – Kecepatan

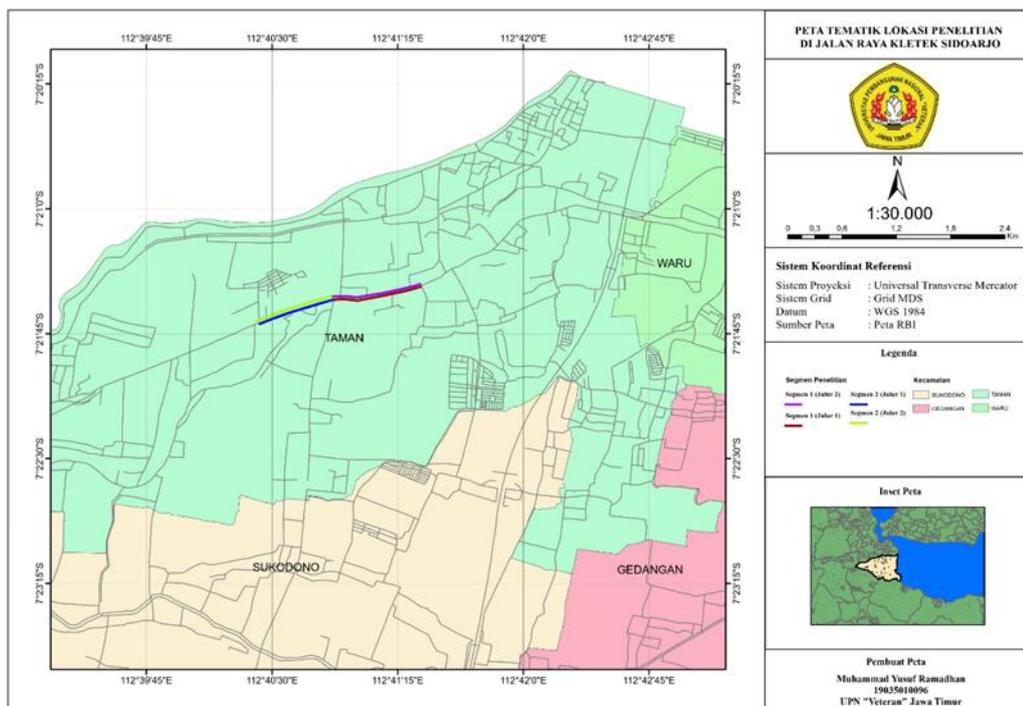


Sumber: Survey Penelitian

Gambar 6 Grafik Volume – Kepadatan

Peta Tematik Berbasis Sistem Informasi Geografi

Peta tematik ini dibuat dengan menggunakan bantuan *software* perangkat lunak yaitu, ArcGis 10.7.1. Berikut hasil dari peta tematik yang telah dibuat:



Sumber: Pengolahan Penelitian

Gambar 6. Lokasi Penelitian

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan pada ruas Jalan Raya Kletek Sidoarjo menggunakan model *Underwood*. Didapatkan beberapa nilai variabel sebagai berikut:

1. Nilai Q_{maks} = 3099.35 smp/jam
2. Nilai V_f = 36.57 km/jam
3. Nilai V_m = 13.45 km/jam
4. Nilai D_m = 230.41 smp/km

Lalu ada nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.79, yang artinya bahwa semakin mendekati +1 maka nilai tersebut menggambarkan keadaan nyata atau kondisi lapangan yang sebenarnya pada arus lalu lintas tersebut. Maka pemilihan model ini masih belum dikatakan tepat. Untuk lebih tepatnya sebaiknya membandingkan dengan menggunakan metode yang lainnya agar bisa mendapatkan nilai R^2 yang lebih tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan juga pihak terkait yang telah mendukung dalam menyusun jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Saputra and D. Savitri, “Analisis Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu-Lintas Berdasarkan Model Greenshield, Greenberg dan Underwood,” *J. Manaj. Aset Infrastruktur Fasilitas*, vol. 5, no. 1, pp. 43–60, 2021, doi: 10.12962/j26151847.v5i1.8742.
- [2] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan pemodelan transportasi*. Penerbit ITB, 2000.
- [3] Y. Indrajaya, B. Riyanto, and D. Widodo, “Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas.” Tesis Program Pasca Sarjana, 2012.
- [4] G. P. UTAMA, “Analisa Perhitungan Hubungan Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Arus Kendaraan pada Ruas Jalan Muhamad Yamin Kota Samarinda,” *KURVA Mhs.*, vol. 2, no. 1, p. 1567, 2016.
- [5] J. Zhao and J. Wu, “Analysis of pedestrian behavior with mixed traffic flow at intersection,” in *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2003, vol. 1, pp. 323–327.
- [6] E. N. Julianto, “Hubungan Antara Kecepatan, Volume dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang,” *J. Tek. Sipil dan Perenc.*, vol. 12, no. 2, 2010.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, “MANUAL KAPASITAS JALAN INDONESIA (MKJI) 1997,” *departemen pekerjaan umum*, “*Manual Kapasitas Jalan Indonesia.*” pp. 1–573, 1997.