

STUDI ANALISIS OPTIMALISASI KINERJA LALU LINTAS PADA RUAS JALAN MUHARTO, KOTA MALANG DENGAN PEMODELAN *GREENSHIELD* DAN *GREENBERG*

Nik Matus Zahria¹, Anang Bakhtiar² dan Ita Suhermin Ingsih³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Malang
e-mail: nikzahria@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: anang.bakhtiar@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: ita.suhermin@unisma.ac.id

ABSTRAK

The growth of activities in Malang City has increased traffic volume, resulting in decreased performance of Jalan Muharto as a secondary collector road. This condition is indicated by congestion during peak hours caused by traffic demand exceeding road capacity. This study aims to analyze traffic flow characteristics and determine the most optimal mathematical model to explain the relationship between traffic volume, speed, and density on Jalan Muharto. The research method used direct field measurements to obtain data on the number of vehicles, speed, and traffic density, which were then analyzed using the Greenshield and Greenberg models through a regression approach. The results show that the degree of saturation is at Level of Service (LOS) F. Based on the r^2 value, the Greenberg model is the most optimal model, with an r^2 value of 98.8% on weekdays and 93.1% on weekends, outperforming the Greenshield model. Based on these findings, short-term traffic management measures include restricting vehicle movements during peak hours and installing right-turn prohibition signs with specific time panels. Meanwhile, the long-term measure involves widening the left road shoulder to improve road capacity and overall road performance.

Keywords: *Traffic Flow Modeling, Greenberg model, level of service*

1. LATAR BELAKANG

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan perekonomian wilayah mendorong aktivitas masyarakat yang belum seimbang dengan penyediaan prasarana transportasi, sehingga menimbulkan masalah kemacetan lalu lintas [1].

Jalan Muharto merupakan jalan kolektor sekunder di Kota Malang yang dan sering mengalami kemacetan pada jam sibuk akibat kurangnya fasilitas pendukung dan aktivitas komersial tanpa dukungan parkir yang memadai. Kondisi ini menunjukkan diperlukan lalu lintas yang terencana dengan analisis karakteristik arus lalu lintas [2].

Penelitian ini mengambil lokasi Jalan Muharto sebagai objek utama, dengan

menggunakan dua model matematis yaitu *Greenshield* dan *Greenberg* untuk menganalisis keterkaitan antara volume, kecepatan dan kepadatan. Analisis dilakukan melalui penerapan metode regresi untuk menggambarkan kondisi eksisting secara akurat [3]. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis dalam menentukan kapasitas dan tingkat pelayanan jalan untuk menangani permasalahan kemacetan di lokasi tersebut [4].

1.2. Identifikasi Masalah

1. Kepadatan arus lalu lintas pada jam sibuk di ruas Jalan Muharto.
2. Terdapat aktivitas komersial yang tidak memiliki lahan parkir serta lebar badan

jalan pada STA 0+200 – 1+100 tidak memenuhi standar minimal lebar jalan kolektor sekunder sesuai Pasal 18 PP RI No.34 Tahun 2006.

3. Belum diketahui karakteristik arus lalu lintas serta keterkaitan antara volume, kecepatan, dan kepadatan kendaraan di Jalan Muharto untuk menggambarkan kondisi eksisting.
4. Belum adanya rekomendasi penanganan lalu lintas yang tepat di ruas Jalan Muharto.

1.3. Rumusan Masalah

1. Berapa nilai arus (Q) dan kapasitas jalan (C) pada ruas Jalan Muharto saat kondisi eksisting?
2. Bagaimana tingkat pelayanan jalan pada ruas Jalan Muharto saat kondisi eksisting?
3. Bagaimana karakteristik lalu lintas yang dihasilkan dengan menggunakan pemodelan *Greenshield* dan *Greenberg*?
4. Bagaimana rekomendasi alternatif yang dihasilkan guna mengatasi permasalahan lalu lintas pada ruas Jalan Muharto berdasarkan hasil analisis?

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui berapa nilai arus (Q) dan kapasitas jalan (C) pada ruas Jalan Muharto saat kondisi eksisting.
2. Untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan pada ruas Jalan Muharto saat kondisi eksisting.
3. Untuk mengetahui bagaimana karakteristik lalu lintas yang dihasilkan dengan menggunakan pemodelan *Greenshield* dan *Greenberg*.
4. Untuk mendapatkan rekomendasi alternatif yang dihasilkan guna mengatasi permasalahan lalu lintas pada ruas Jalan Muharto berdasarkan hasil analisis.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai tolak ukur dan masukan bagi instansi terkait.
2. Memberikan informasi yang akurat mengenai karakteristik arus lalu lintas di ruas Jalan Muharto.
3. Menambah referensi dan pengetahuan bagi peneliti selanjutnya.

1.6. Batasan masalah

1. Penelitian hanya dilakukan pada ruas Jalan Muharto, Kota Malang.
2. Analisis perhitungan untuk hubungan arus lalu lintas menggunakan model *Greenshield* dan *Greenberg*.
3. Tidak dihitung dari segi konstruksi jalan dan rencana anggaran biaya (RAB).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Jalan

Dari penjabaran UU No.38 Tahun 2004, jalan adalah sistem transportasi yang mencakup tidak hanya jalan itu sendiri tetapi juga komponen dan peralatannya, seperti jembatan, terowongan, ponton, jalan layang, jalan lintas, terowongan bawah tanah, tempat parkir, gorong-gorong, dinding penahan, saluran samping, dan sebagainya. Jalan adalah setiap jalur permukaan, bawah tanah, atau perairan yang digunakan untuk lalu lintas kendaraan; satu-satunya pengecualian untuk aturan ini adalah jalur kereta api, jalur truk, dan jalan kabel [5].

2.2. Volume Lalu Lintas

Satuan mobil penumpang (SMP) diterapkan untuk mengukur jumlah total mobil yang melewati sebuah lokasi pada suatu periode waktu, dan volume lalu lintas merupakan indikator dari hal tersebut.

2.3. Kecepatan

Kecepatan kendaraan, yang diukur dalam kilometer per jam, adalah jarak yang ditempuh kendaraan dalam jangka waktu tertentu, yang dihitung dengan rumus berikut:

$$V = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(1)$$

Ket :

V = Kecepatan (km/jam)

s = Jarak yang ditempuh (meter)

t = Waktu yang ditempuh (detik)

2.4. Kepadatan

Dengan menggunakan rumus berikut, kita dapat menentukan kepadatan lalu lintas sebagai jumlah mobil per satuan panjang jalan, yang dinyatakan sebagai kendaraan per kilometer per lajur:

$$D = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots(2)$$

Ket :

D = Kepadatan (smp/jam)

Q = Volume arus lalu lintas (smp/jam)

V = Kecepatan kendaraan (km/jam)

2.5. Kapasitas

Kapasitas jalan, yang dijabarkan menjadi arus lalu lintas maksimum yang diizinkan untuk periode waktu tertentu, ditentukan oleh rumus berikut:

$$C = C_o \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \dots\dots\dots(3)$$

Ket :

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_{LJ} = Faktor penyesuaian untuk lebar jalan

FC_{PA} = Faktor penyesuaian untuk pemisah jalan

FC_{HS} = Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan bahu jalan

FC_{UK} = Faktor penyesuaian untuk ukuran kota

2.6. Derajat kejenuhan

Dengan menggunakan rumus berikut, kita dapat menentukan tingkat kinerja jalan, yang berhubungan langsung dengan tingkat kejenuhan, yang didefinisikan sebagai rasio jumlah mobil terhadap kapasitas jalan:

$$Ds = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots(4)$$

Ket :

Ds = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

2.7. Karakteristik Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat pelayanan jalan menggambarkan seberapa baik kinerja lalu lintas dan pengendara merasa nyaman terhadap kondisi arus kendaraan, seperti di **Tabel 2**.

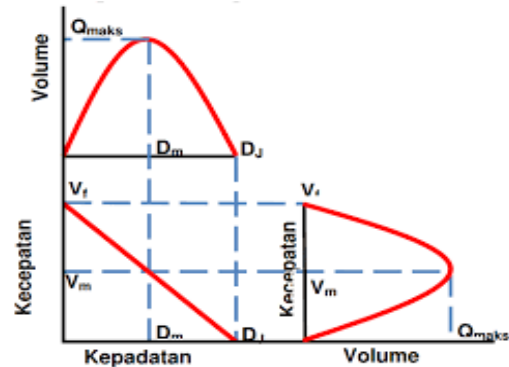
Tabel 2. Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan	Rasio Q/C	Karakteristik
A	0 – 0,20	Arus bebas dengan kecepatan tinggi dan volume
B	0,20 – 0,44	Arus stabil, kecepatan dibatasi oleh kondisi lalu lintas
C	0,45 – 0,74	Arus stabil, kecepatan dapat dikontrol oleh lalu lintas
D	0,75 – 0,84	Arus mulai tidak stabil, kecepatan masih dapat dikendalikan
E	0,85 – 1,00	Arus tidak stabil, kecepatan rendah dan berbeda-beda, volume mendekati kapasitas
F	>1,00	Arus terlambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet)

Sumber : PKJI, 2023

2.8. Hubungan Matematis Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Hubungan antar berbagai variabel lalu lintas dapat dilihat dari **Gambar 1**, yang menunjukkan pola umum hubungan matematis.



Gambar 1. Keterkaitan antara volume, kecepatan dan kepadatan

(Sumber : modul 1. Konsep dasar lalu lintas)

Dimana:

Q_m = Volume maksimal (smp/km)

V_m = Kecepatan saat lalu lintas mencapai volume maksimal (km/jam)

D_m = Kepadatan pada volume lalu lintas maksimal (smp/km)

V_f = Kecepatan dalam kondisi lalu lintas tanpa hambatan (km/jam)

D_j = Kepadatan lalu lintas padat macet total (smp/km)

2.9. Model Greenshield

Model *Greenshield* mengatakan bahwa keterkaitan kecepatan dan kepadatan lalu lintas bersifat linier [6]. Rumus dasar model *Greenshield* bisa dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V_s = V_f - \frac{V_f}{D_j} \cdot D \dots\dots\dots(5)$$

Ket :

V_s = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

V_f = kecepatan bebas (km/jam)

D_j = kepadatan jenuh (smp/km)

D = Kepadatan (smp/km)

Dalam memperoleh skor konstanta V_f dan D_j , persamaan (5) diubah menjadi bentuk persamaan liner yaitu pada persamaan:

$$y = a + b \cdot x$$

$$y = V_s ; a = V_f ; b = - (V_f / D_j) ; \text{ dan } x = D \dots\dots\dots(6)$$

Hubungan antara volume dan kepadatan diperoleh dari persamaan:

$$Q = V_f \cdot D - \left(\frac{V_f}{D_j}\right) \cdot D^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dari persamaan berikut, diperoleh hubungan volume dan kecepatan, sehingga diperoleh persamaan:

$$Q = D_j \cdot V_s - \left(\frac{D_j}{V_f}\right) \cdot V_s^2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

Volume maksimal (Q_m) dalam model *Greenshield* bisa diukur melalui rumus:

$$Q_m = D_m \cdot V_m \quad \dots\dots\dots(9)$$

Kepadatan pada volume maksimal (D_m) dalam model *Greenshield* bisa diukur melalui rumus (9):

$$D = D_m = (D_j / 2) \quad \dots\dots\dots(10)$$

Kecepatan pada volume maksimal (V_m) dalam model *Greenshield* bisa diukur melalui rumus:

$$V_s = V_m = (V_f / 2) \quad \dots\dots\dots(11)$$

Jika rumus (9) dan (10) disubstitusikan ke dalam rumus (8), maka volume maksimal (Q_m) bisa diukur melalui persamaan berikut:

$$Q_m = (D_j \cdot V_f) / 4 \quad \dots\dots\dots(12)$$

2.10. Model Greenberg

Model *Greenberg* mengatakan bahwa keterkaitan antara kecepatan dan kepadatan bersifat logaritmik [7]. Rumus dasar model *Greenberg* bisa dijabarkan dengan persamaan berikut:

$$D = c \cdot e^{bV_s} \quad \dots\dots\dots(13)$$

c dan b ialah konstanta, dan persamaan tersebut dapat diturunkan seperti berikut :

$$V_s = V_m \cdot \ln (D_j / D) \quad \dots\dots\dots(14)$$

Persamaan (14) tersebut dapat ditulis dalam bentuk persamaan matematika lainnya seperti persamaan berikut:

$$V_s = V_m \cdot \ln D_j - V_m \cdot \ln D \quad \dots\dots\dots(15)$$

Dalam memperoleh skor konstanta V_m dan D_j , persamaan (15) diubah ke dalam persamaan linier yakni di persamaan:

$$y = a + b \cdot x$$

$$y = V_s ; a = V_m \ln (D_j) ; b = -V_m \text{ dan } x = \ln (D) \dots\dots\dots(16)$$

Keterkaitan antara volume dan kecepatan kendaraan disubstitusikan dalam rumus berikut:

$$Q = V_m \cdot D \cdot \ln \left(\frac{D_j}{D}\right) \quad \dots\dots\dots(17)$$

Keterkaitan volume dan kecepatan disubstitusikan dalam persamaan (13), maka didapatkan rumus sebagai berikut:

$$Q = V_s \cdot D_j \cdot e^{(-V_s / V_m)} \quad \dots\dots\dots(18)$$

Kepadatan saat volume maksimum (D_m) dalam model *Greenberg* bisa diukur melalui rumus berikut:

$$D = D_m = (D_j / e) \quad \dots\dots\dots(19)$$

Kecepatan saat volume maksimum (V_m) dalam model *Greenberg* bisa diukur melalui rumus berikut:

$$V_s = V_m \quad \dots\dots\dots(20)$$

Volume maksimum (Q_m) dalam model *Greenberg* bisa diukur melalui rumus sebagai berikut :

$$Q_m = (D_j \cdot V_m) / e \quad \dots\dots\dots(21)$$

2.11. Analisis Regresi

Analisis ini merupakan metode statistik yang diterapkan dalam mengetahui keterkaitan variabel terikat terhadap satu atau beberapa variabel bebas.

Keterkaitan variabel bebas dan terikat pada model regresi linier melalui rumus seperti:

$$y = a + b \cdot x \quad \dots\dots\dots(22)$$

Dimana:

x = variabel bebas (kepadatan)

y = variabel terikat (kecepatan)

a = konstanta

b = konstanta koefisien arah

Besaran konstanta a dan b bisa diukur menggunakan rumus (23) dan (24) berikut:

$$b = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$a = y - b \cdot x \quad \dots\dots\dots(24)$$

Nilai koefisien korelasi (r) dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$r = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad \dots\dots\dots(25)$$

Untuk Nilai koefisien korelasi (r) pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Nilai Koefisien Korelasi (r)

Nilai r	Kekuatan hubungan
0	Tidak ada korelasi antar dua variabel
$\pm 0 - 0,25$	Sangat lemah
$\pm 0,25 - 0,5$	Cukup
$\pm 0,5 - 0,75$	Kuat
$\pm 0,75 - 0,99$	Sangat kuat
+1	Sempurna positif
-1	Sempurna negatif

Sumber : (Statistikian, 2012)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Studi analisis dilangsungkan di Jalan Muharto di Kecamatan Blimbing, Kota Malang.

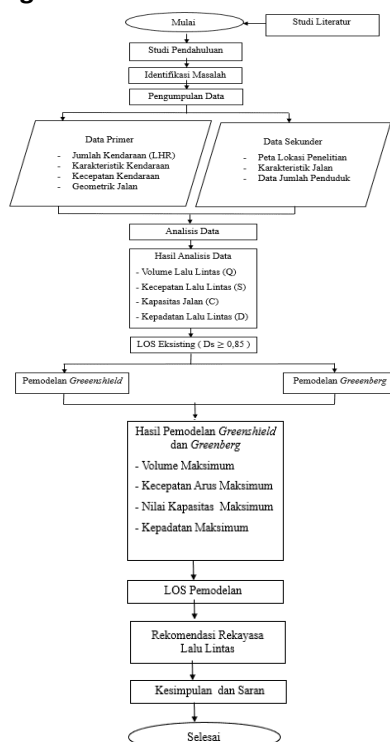


Gambar 2. Peta Wilayah Penelitian

Sumber: Google Earth

Ruas Jalan Muharto adalah jalan kolektor sekunder yang memiliki rentang 1.152,559m dengan tipe lajur dua arah (2/2 UD). Lebar jalan bervariasi, yaitu sebesar 10 meter pada STA 0+000 – 0+200 dan 7,6 meter pada STA 0+200 – 1+100, masing-masing terdiri dari dua lajur dengan lebar 5 meter dan 3,8 meter.

3.2. Diagram Alir Penelitian



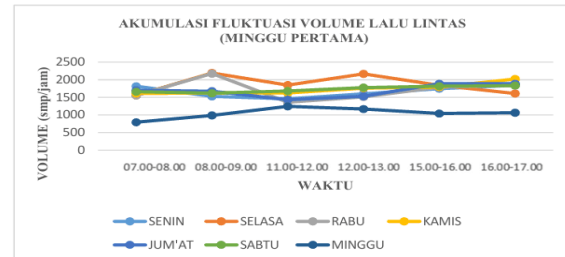
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.3. Pengumpulan Data

Studi ini menerapkan data yang didapat langsung melalui observasi langsung di lokasi, yaitu data primer berupa jumlah kendaraan (LHR), karakteristik kendaraan, serta kecepatan kendaraan, dan data sekunder yakni peta, angka penduduk, serta karakteristik jalan.

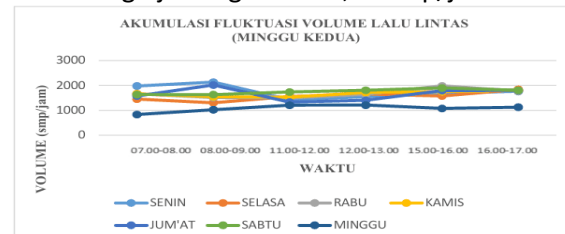
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Volume Lalu Lintas



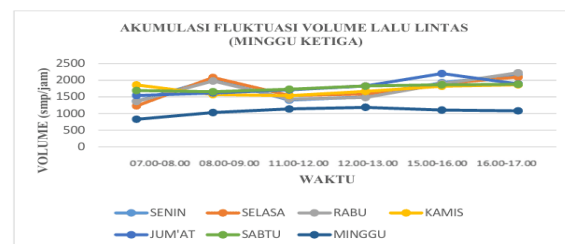
Gambar 4. Fluktuasi volume lalu lintas pada minggu pertama

Pada minggu pertama menunjukkan nilai tertinggi ada pada Selasa (*weekday*) pukul 08.00–09.00 WIB mencapai 2.191,20 smp/jam, dan pada Sabtu (*weekend*) pukul 16.00–17.00 WIB menginjak angka 1.865,65 smp/jam.



Gambar 5. Fluktuasi volume lalu lintas pada minggu kedua

Pada minggu kedua menunjukkan nilai terbesar ada pada Senin (*weekday*) pukul 08.00–09.00 WIB mencapai nilai 2.134,45 smp/jam, dan pada Sabtu (*weekend*) pukul 15.00–16.00 WIB mencapai 1.807,75 smp/jam.



Gambar 6. Fluktuasi volume lalu lintas pada minggu ketiga

Pada minggu ketiga menunjukkan nilai terbesar pada Rabu (*weekday*) pukul 16.00–17.00 WIB mencapai nilai 2.223,15 smp/jam, dan pada Sabtu (*weekend*) pukul 16.00–17.00 WIB menginjak angka 1.878,65 smp/jam.

4.2. Analisis Kecepatan Lalu Lintas

Berdasarkan hasil analisis, kecepatan rata-rata tertinggi pada *weekday* sebesar 27,95 km/jam pada hari Senin, 17 November 2025 (minggu ketiga), sedangkan kecepatan rata-rata terendah pada *weekend* sebesar 24,38 km/jam pada hari Sabtu, 11 Oktober 2025 (minggu pertama).

4.3. Analisis Kapasitas Ruas Jalan

$$C = C_o \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK}$$

$$C = 2800 \times 0,56 \times 1,00 \times 0,82 \times 0,86$$

$$C = 1106 \text{ smp/jam}$$

4.4. Analisis Kepadatan Lalu Lintas

Tabel 4. Hasil Kepadatan Lalu Lintas

Interval Waktu	Volume (Q)		Kecepatan (V)		Kepadatan (D = Q / V)	
	weekda y	weeken d	weekda y	weeken d	weekda y	weeken d
07.00-08.00	1556,45	1633,10	20,24	19,74	76,91	82,74
08.00-09.00	2191,20	1632,45	25,14	20,75	87,16	78,68
11.00-12.00	1849,90	1734,35	36,89	31,47	50,15	55,11
12.00-13.00	2170,55	1805,75	44,17	35,12	49,14	51,41
15.00-16.00	1843,35	1898,95	23,14	20,71	79,67	91,68
16.00-17.00	1610,50	1807,75	18,11	18,51	88,94	97,67
Rata-rata					72,00	76,22

Dari Tabel 4, kepadatan lalu lintas saat volume kendaraan mencapai titik tertinggi adalah 88,94 smp/jam di hari aktif (*weekday*) dan 97,67 smp/jam di akhir pekan (*weekend*). Kepadatan rata-rata sebesar 72,00 smp/jam di hari aktif dan 76,22 smp/jam di akhir pekan.

4.5. Analisis Derajat Kejenuhan

$$Q = \frac{2191,20}{1106} = 1,981$$

$$C = 1106$$

Nilai $D_s = 1,981$, pada hari aktif (*weekday*) telah melampaui batas kapasitas jalan ($D_s > 0,85$)

$$Q = \frac{1898,95}{1106} = 1,716$$

$$C = 1106$$

Nilai $D_s = 1,716$, pada akhir pekan (*weekend*) telah melampaui batas kapasitas jalan ($D_s > 0,85$).

4.6. Analisis Tingkat Pelayanan Jalan

Dari temuan perhitungan, derajat kejenuhan (D_s) mencapai 1,981 pada hari aktif dan 1,716 pada akhir pekan, yang diklasifikasikan dalam tingkat pelayanan F.

4.7. Analisis Karakteristik Lalu Lintas Model Greenshield

Menentukan nilai konstanta b

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(6 \times 11221,95) - (431,98 \times 167,68)}{(6 \times 32700,24) - (431,98)^2} = -0,531$$

Menentukan nilai konstanta a

$$a = \bar{y}_l - b \cdot \bar{x}_l$$

$$a = 27,946 - (-0,531 \times 71,996) = 66,175$$

maka $a = V_f = 66,175 \text{ km/jam}$

Menentukan kepadatan kemacetan (*Jam Density*)

$$D_j = \frac{V_f}{b} = \frac{66,175}{0,531} = 124,623 \text{ smp/km}$$

Menentukan volume maksimum (Q_m)

$$Q_m = \frac{D_j \cdot V_f}{4} = \frac{124,623 \times 66,175}{4} = 2.061,731 \text{ smp/jam}$$

Menentukan Kepadatan maksimum (D_m)

$$D_m = \frac{1}{2} \times D_j = \frac{1}{2} \times 124,623 = 62,311 \text{ smp/km}$$

Menentukan volume maksimum (V_m)

$$V_m = \frac{V_f}{2} = \frac{66,175}{2} = 33,087 \text{ km/jam}$$

Menentukan koefisien kolerasi pearson (r)

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) (n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

$$r = \frac{(6 \times 11221,95) - (431,98 \times 167,68)}{\sqrt{\{(6 \times 32700,24) - (431,98)^2\} \{(6 \times 5216,38) - (167,68)^2\}}} = -0,923$$

$$r^2 = (-0,923)^2 \times 100\% = 85,15\%$$

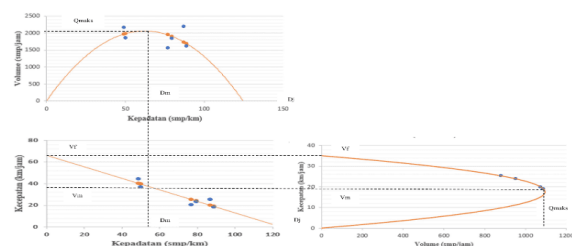
Menghitung koefisien determinasi (r^2)

$$r^2 = (-0,923)^2 \times 100\% = 85,15\%$$

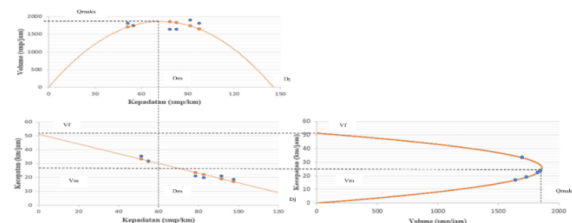
$$r^2 = 0,815 \times 100\% = 81,5$$

Tabel 7. Rekapitulasi Model Greenshield

Variabel	Satuan	Weekday	Weekend
Kecepatan bebas (V_f)	km/jam	66,175	51,210
Kepadatan jenuh (D_j)	smp/km	124,623	145,482
Volume Maksimum (Q_m)	smp/jam	2.061,731	1.862,533
Kepadatan saat Q_m (D_m)	smp/km	62,311	72,741
Kecepatan saat Q_m (V_m)	km/jam	33,087	25,605
koefisien determinasi (r^2)		81,5%	90,4%



Gambar 7. Keterkaitan antara Q, V dan D pada Model Greenshield (Weekday)



Gambar 8. Keterkaitan antara Q, V dan D pada Model Greenshield (Weekend)

4.8. Analisis Karakteristik Lalu Lintas Model Greenberg

Menentukan nilai konstanta b

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(6 \times 699,20) - (25,49 \times 167,68)}{(6 \times 108,62) - (25,49)^2} = -39,88$$

Menentukan nilai konstanta a

$$a = \bar{y}_i - b \cdot \bar{x}_i$$

$$a = 27,946 - (-39,88 \times 4,248) = 197,356$$

maka $a = V_f = 197,356$ km/jam

$$V_m = b = 39,88$$
 km/jam

Menentukan kepadatan kemacetan (*Jam Density*)

$$D_j = \exp\left(\frac{a}{V_m}\right) = \exp\left(\frac{197,356}{39,88}\right) = 140,892 \text{ smp/km}$$

Menentukan Kepadatan maksimum (D_m)

$$D_m = D_j / e = 140,892 / 2,71828 = 51,831 \text{ smp/km}$$

Menentukan volume maksimum (Q_m)

$$Q_m = V_m \times D_m = 39,88 \times 51,831 = 2067,020 \text{ smp/jam}$$

Menentukan koefisien kolerasi pearson (r)

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

$$r = \frac{(6 \times 699,20) - (25,49 \times 167,68)}{\sqrt{((6 \times 108,62) - (25,49)^2)((6 \times 5216,38) - (167,68)^2)}} = -0,994$$

Menghitung koefisien determinasi (r^2)

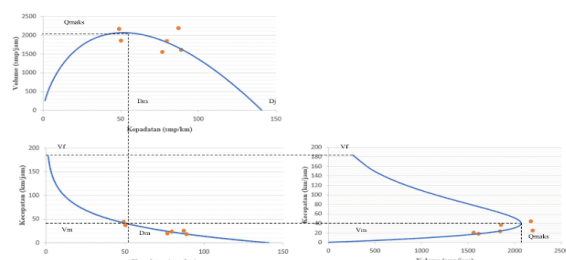
$$r^2 = (r)^2 \times 100\%$$

$$r^2 = (-0,994)^2 \times 100\%$$

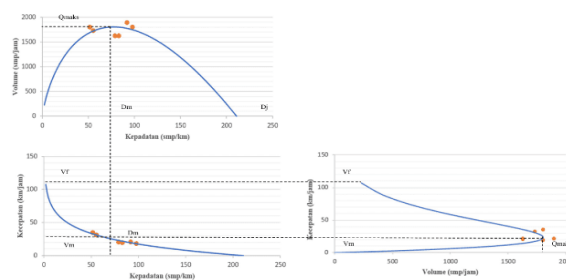
$$r^2 = 0,988 \times 100\% = 98,8$$

Tabel 10. Rekapitulasi Model Greenberg

Variabel	Satuan	Weekday	Weekend
Kecepatan Bebas (V_f)	km/jam	197,356	124,646
Kepadatan Jenuh (D_j)	smp/km	140,892	210,819
Volume Maksimum (Q_m)	smp/jam	2.067,020	1.806,279
Kepadatan saat Q_{max} (D_m)	smp/km	51,831	77,556
Kecepatan saat Q_{max} (V_m)	km/jam	39,88	23,29
Koefisien Determinasi (r^2)		98,8%	93,1%



Gambar 9. Keterkaitan antara Q, V dan D pada Model Greenberg (Weekday)



Gambar 10. Keterkaitan antara Q, V dan D pada Model Greenberg (Weekend)

4.9. Analisis Tingkat Pelayanan Jalan (Eksisting dan Pemodelan)

Berdasarkan hasil perbandingan ruas Jalan Muharto menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan (D_s), baik pada kondisi eksisting maupun hasil perhitungan dengan model *Greenshield* dan *Greenberg* berada pada tingkat pelayanan F.

Tabel 11. Hasil Kinerja Ruas Jalan Muharto (Nilai D_s dan LOS)

Kondisi Analisis	Nilai Derajat Kejenuhan (D_s)	Tingkat Pelayanan Jalan
Eksisting (Weekday)	1,981	F
Eksisting (Weekend)	1,716	F
Pemodelan <i>Greenshield</i> (Weekday)	1,864	F
Pemodelan <i>Greenshield</i> (Weekend)	1,684	F
Pemodelan <i>Greenberg</i> (Weekday)	1,868	F
Pemodelan <i>Greenberg</i> (Weekend)	1,633	F

4.10. Penentuan Model Lalu Lintas yang Optimum

Model Greenberg ditetapkan sebagai model yang paling optimum karena memiliki nilai R^2 tertinggi, yaitu 98,8% pada *weekday* dan 93,1% pada *weekend*, yang lebih unggul dibandingkan Model *Greenshield* dengan nilai R^2 81,5% pada *weekday* dan 90,4% pada *weekend*.

Tabel 12. Korelasi kedua Metode

Kondisi	Model <i>Greenshield</i>	Model <i>Greenberg</i>	Kategori Kolerasi
Weekday	81,5%	98,8%	Sangat Kuat
Weekend	90,4%	93,1%	Sangat Kuat
Rata-rata	85,95%	95,95%	

4.11. Rekomendasi Rekayasa Lalu Lintas

4.11.1 Solusi Jangka Pendek (Rekayasa Lalu Lintas)

Rekayasa dilakukan dengan menerapkan ketentuan teknis sebagai berikut:

1. Larangan belok kanan pada Simpang Empat Jalan Muharto, yaitu dari arah timur Kedungkandang menuju Jalan Puntodewo (arah makam Polehan) serta dari arah barat Pasar Kebalen menuju Jalan Muharto Gang 7.
2. Pembatasan pergerakan kendaraan yang melakukan penyeberangan jalan (*crossing*), termasuk LV dan HV.
3. Ketentuan larangan diberlakukan hanya di waktu sibuk, yaitu 07.00 - 09.00 WIB serta 15.00 - 16.00 WIB, serta didukung dengan

pemasangan rambu larangan belok kanan yang dilengkapi papan informasi waktu.



Gambar 11. Rambu Larangan Belok Kanan

4. Pengalihan rute dilakukan untuk kendaraan yang terkena larangan belok kanan. Arus lalu lintas dari arah timur Kedungkandang yang menuju Jalan Puntodewo dialihkan melalui Jalan Ki Ageng Gribig. Kemudian, arus lalu lintas dari arah barat Pasar Kebalen yang menuju Jalan Muharto Gang 7 dialihkan melalui Jalan Muharto Gang 5.

5. Pemasangan fasilitas penyeberangan berupa APILL penyeberang jalan (*Pelican Crossing*) di depan Masjid Darussalam.



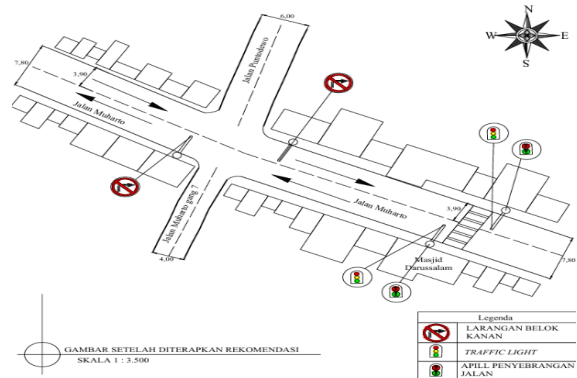
Gambar 12. APILL Penyeberang Jalan (*Pelican Crossing*)

Fasilitas ini juga dilengkapi dengan isyarat bunyi (*buzzer*) yang berfungsi mengatur lalu lintas pejalan kaki.

6. Pemasangan rambu peringatan penyeberangan pejalan kaki sebelum titik penyeberangan untuk mengurangi kecepatan.

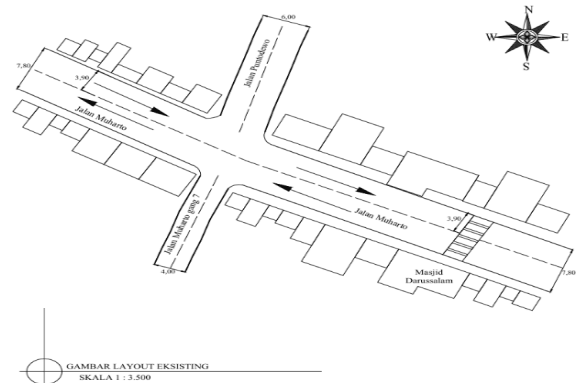


Gambar 13. Rambu Peringatan Penyeberangan Pejalan Kaki

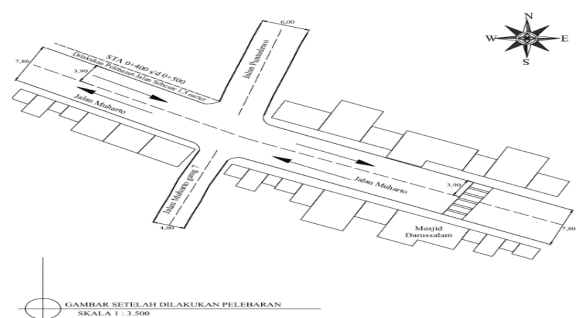


Gambar 14. Kajian Rekayasa Lalu Lintas Ruas Jalan Muharto, Kota Malang.

2. Solusi Jangka Panjang (Perbaikan Fisik Jalan)
Perbaikan fisik jalan yang diusulkan adalah pelebaran bahu sisi kiri sebesar 1,5 meter pada STA 0+400 hingga STA 0+500 dari lebar bahu eksisting 3,8 meter menjadi 5,3 meter.



Gambar 15. Eksisting Ruas Jalan Muharto



Gambar 16. Perbaikan Fisik Ruas Jalan Muharto

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Volume tertinggi di Ruas Jalan Muharto pada *weekday* sebesar 9.665,5 smp/jam, dengan arus maksimum (Q_{maks}) 2.192,20 smp/jam di waktu sibuk yakni 08.00–09.00 WIB. Sedangkan pada *weekend* sebesar 8.852,3 smp/jam dengan arus maksimum (Q_{maks})

1.898,95 smp/jam di jam sibuk yakni 15.00–16.00 WIB, dan kapasitas jalan adalah 1.106 smp/jam.

2. Nilai D_s sejumlah 1,981 di *weekday* dan 1,634 di *weekend*, dengan tingkat pelayanan jalan berada pada kategori F (lalu lintas terlambat, kecepatan rendah, volume melebihi kapasitas, antrian panjang).

3. Berdasarkan model *Greenshield*, karakteristik lalu lintas diperoleh $Q_m = 2.061,731$ smp/jam, $V_m = 33,087$ km/jam, dan $D_m = 62,311$ smp/km pada *weekday*, serta $Q_m = 1.862,533$ smp/jam, $V_m = 25,605$ km/jam, dan $D_m = 72,741$ smp/km pada *weekend*. Sementara model *Greenberg*, diperoleh $Q_m = 2.067,020$ smp/jam, $V_m = 39,88$ km/jam, dan $D_m = 51,831$ smp/km pada *weekday*, serta $Q_m = 1.806,279$ smp/jam, $V_m = 23,29$ km/jam, dan $D_m = 77,556$ smp/km pada *weekend*.

4. Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif penanganan jangka pendek dilakukan melalui larangan belok kanan di Simpang Empat Jalan Muharto, yaitu dari arah timur Kedungkandang menuju Jalan Puntodewo (arah Makam Polehan) dan dari arah barat Pasar Kebalen menuju Jalan Muharto Gang 7, selain itu ada pembatasan bagi kendaraan yang melakukan penyeberangan jalan baik LV dan HV. Aturan tersebut berlaku di jam sibuk, yaitu dari 07.00 - 09.00 WIB dan 15.00 - 16.00 WIB, didukung dengan pemasangan rambu larangan belok kanan yang dilengkapi papan informasi waktu. Kendaraan yang terdampak diarahkan melalui rute alternatif, yaitu arus dari timur Kedungkandang menuju Jalan Puntodewo dialihkan melalui Jalan Ki Ageng Gribig, sedangkan arus dari barat Pasar Kebalen menuju Jalan Muharto Gang 7 dialihkan melalui Jalan Muharto Gang 5. Selain itu, dipasang fasilitas penyeberangan berupa APILL penyeberang jalan (*pelican crossing*) di depan Masjid Darussalam yang dilengkapi isyarat

bunyi (*buzzer*), serta rambu peringatan penyeberangan pejalan kaki sebelum titik penyeberangan. Adapun penanganan jangka panjang berupa pelebaran bahu jalan sisi kiri sebesar 1,5 meter pada STA 0+400 hingga STA 0+500.

5.2 Saran

1. Sebagai bahan masukan kepada pihak berwenang, sebaiknya dilakukan evaluasi dan pengawasan secara berkala pada Ruas Jalan Muharto, Kota Malang.

2. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian dengan menggunakan simulasi lalu lintas berbasis perangkat lunak seperti VISSIM atau SIDRA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bakhtiar, A. (2018). Evaluasi Kinerja Angkutan Umum Kota Malang. *JU-ke*, 2(2), 142-158.
- [2] Kusuma, H. Y., Putra, K. H., & Agusdini, T. M. C. (2024). Analysis of Pedestrian Path Width Requirements In The Manukan Lor Road Rrea, Surabaya City. *Journal Innovation of Civil Engineering (JICE)*, 5(1), 8-15.
- [3] Tamin. (2000). Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Penerbit ITB. Bandung.
- [4] Rokhmawati, A., & Ingsih, I. S. (2025). Evaluasi kinerja lalu lintas pada simpang empat mergan kota malang dengan software vissim. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 14(2), 112-120.
- [5] Caroles, I. L. (2022). *Pengantar preservasi dan survey kondisi jalan*. wawasan Ilmu.
- [6] Agustami, W. M. (2024). *Analisis Karakteristik Lalu Lintas Akibat Hambatan Samping Dengan Pemodelan Greenshield, Greenberg dan Underwood (Studi Kasus : Jl. Veteran Purwakarta)* (Doctoral dissertation, Universitas Siliwangi).
- [7] Agista, M. (2023). *Hubungan arus, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas Jalan Majapahit, Kota Mataram* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Mataram).