



ANALISIS HUBUNGAN FUNDAMENTAL LALU LINTAS BERBASIS SMP DENGAN MODEL GREENSHIELDS

Isra Yanuar Giu¹⁾, Juang Akbardin²⁾, Erna Krisnanto³⁾

¹⁾ Program Profesi Insinyur, FPTI, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Setiabudi No. 229 Bandung, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Sipil, FPTI, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Setiabudi No. 229 Bandung, Indonesia

³⁾ Departemen Pendidikan Teknik Arsitektur, FPTI, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Setiabudi No. 229 Bandung, Indonesia

¹⁾ is124@yahoo.com, ²⁾ akbardien@yahoo.co.id, ³⁾ krisna@upi.edu

ARTICLE HISTORY

Received:

May 26, 2026

Revised

June 14, 2026

Accepted:

June 15, 2026

Online available:

June 27, 2026

Keyword:

Greenshields model

Passenger car unit

Traffic density

Traffic volume

Vehicle speed

*Correspondence:

Name: Isra Yanuar Giu

E-mail: is124@yahoo.com

Kantor Editorial

Politeknik Negeri Ambon

Pusat Penelitian dan Pengabdian

Masyarakat

Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-

Rumahtiga, Ambon Maluku,

Indonesia

Kode Pos: 97234

ABSTRACT

Traffic flow characteristics are commonly described through the relationship among traffic volume, speed, and density. On roads with mixed traffic conditions, particularly those dominated by motorcycles, the use of Passenger Car Units (PCU) is considered more representative for analyzing traffic performance. This study aimed to analyze the fundamental relationships among traffic volume, speed, and density based on PCU using the Greenshields model on Jalan Raya Mulya Sari, a two-lane two-way undivided road (2/2 UD). Field surveys were conducted on September 2, 2025, using a 5-minute observation interval. Traffic volume data were collected through manual traffic counts and converted into PCU based on the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023, while vehicle speeds were measured using a speed gun and converted into space mean speed. Traffic density was calculated from the relationship between traffic volume and speed. The analysis employed linear regression to establish the Greenshields speed-density model and derive other fundamental traffic relationships. The results showed that the speed-density relationship followed a negative linear pattern. The regression equation for the Junti direction was $v = -1.43k + 49.18$, while for the Balongan direction it was $v = -0.98k + 42.92$. The free-flow speeds were 49.18 km/h and 42.92 km/h, respectively. The maximum traffic capacities were estimated at 422.87 PCU/h for the Junti direction and 469.97 PCU/h for the Balongan direction. These findings indicate that the Greenshields model is capable of describing the fundamental traffic flow characteristics of mixed traffic conditions and can be used as a basis for evaluating road performance.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mengalami peningkatan yang cukup signifikan setiap tahun dan berdampak langsung terhadap kondisi lalu lintas pada ruas jalan perkotaan maupun antarwilayah (Treiber & Kesting, 2013). Peningkatan volume kendaraan yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jalan menyebabkan penurunan kinerja ruas jalan, terutama pada jam-jam

sibuk (Kurniawan & Anwar, 2023). Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan kendaraan, peningkatan kepadatan lalu lintas, serta potensi kemacetan pada beberapa titik ruas jalan. Permasalahan lalu lintas menjadi salah satu isu penting dalam bidang Transportation Engineering karena berhubungan langsung dengan efisiensi mobilitas, keselamatan pengguna jalan, dan tingkat pelayanan transportasi (Hidayat, Oktopianto & Budi Sulistyono,



2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis karakteristik arus lalu lintas untuk mengetahui hubungan antara parameter utama lalu lintas sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja jalan (Nurinda Abdi, Priyanto & Malkamah, 2019; Sandhyavritri & Saputra, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas menggunakan berbagai model matematis seperti Greenshields, Greenberg, dan Underwood. Penelitian yang dilakukan oleh Grisela Nurinda Abdi, Sigit Priyanto, dan Siti Malkamah (2019) menunjukkan bahwa hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja ruas jalan perkotaan di Sleman. Penelitian lain oleh Budi Saputra dan Dewanti Savitri (2021) juga menjelaskan bahwa model Greenshields masih menjadi pendekatan yang cukup representatif dalam menggambarkan karakteristik arus lalu lintas pada ruas jalan di Indonesia.

Secara internasional, kajian mengenai karakteristik arus lalu lintas telah banyak dilakukan. Helbing (2001) menjelaskan bahwa dinamika lalu lintas memiliki hubungan erat dengan fenomena kepadatan dan pembentukan kemacetan yang dipengaruhi oleh interaksi antar kendaraan dalam sistem lalu lintas. Selain itu, Zhang dan Levinson (2010) menunjukkan bahwa analisis hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan penting untuk memahami kapasitas jaringan jalan serta mengidentifikasi kondisi kemacetan pada ruas jalan perkotaan. Dengan demikian, analisis karakteristik arus lalu lintas menjadi pendekatan yang relevan untuk digunakan dalam mengevaluasi kondisi operasional suatu ruas jalan dan menentukan strategi penanganan lalu lintas secara efektif.

Karakteristik arus lalu lintas pada dasarnya dipengaruhi oleh tiga parameter utama, yaitu volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan kepadatan lalu lintas (Saputra & Savitri, 2021). Ketiga parameter tersebut memiliki hubungan fundamental yang digunakan dalam analisis transportasi untuk menggambarkan kondisi operasional suatu ruas jalan. Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik dalam periode tertentu, sedangkan kecepatan menggambarkan kemampuan kendaraan bergerak pada ruas jalan. Kepadatan lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas jalan tertentu. Hubungan ketiga parameter tersebut menjadi dasar dalam pembentukan fundamental diagram lalu lintas yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kapasitas jalan dan kondisi arus lalu lintas. Analisis hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan sangat penting dilakukan untuk memahami pola pergerakan kendaraan pada

kondisi lalu lintas aktual di lapangan serta sebagai dasar dalam penentuan tingkat pelayanan jalan dan evaluasi kinerja lalu lintas (Chow, Li & Gkiotsalitis, 2015).

Analisis hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan sangat penting dilakukan untuk memahami pola pergerakan kendaraan pada kondisi lalu lintas aktual di lapangan serta sebagai dasar evaluasi kinerja ruas jalan. Hasil penelitian Akbardin, Ma'soem, dan Rahmat (2024) menunjukkan bahwa karakteristik arus lalu lintas berpengaruh langsung terhadap tingkat pelayanan jalan dan derajat kejenuhan ruas jalan perkotaan, sehingga analisis hubungan fundamental lalu lintas diperlukan untuk memahami kondisi operasional jalan secara lebih komprehensif.

Kondisi lalu lintas di Indonesia umumnya bersifat mixed traffic atau lalu lintas campuran, yaitu terdiri atas berbagai jenis kendaraan dengan karakteristik operasional yang berbeda-beda seperti sepeda motor, kendaraan ringan, dan kendaraan berat (Yulipriyono & Purwanto, 2017). Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan pengaruh yang berbeda terhadap kapasitas dan performa lalu lintas pada suatu ruas jalan. Oleh karena itu, penggunaan volume kendaraan secara langsung dalam satuan kendaraan per jam sering kali kurang mampu merepresentasikan kondisi arus lalu lintas sebenarnya, terutama pada jalan perkotaan dengan dominasi kendaraan roda dua. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan konversi volume kendaraan ke dalam satuan mobil penumpang (SMP) agar seluruh jenis kendaraan dapat diseragamkan berdasarkan pengaruhnya terhadap arus lalu lintas. Pendekatan berbasis SMP dianggap lebih representatif dalam menggambarkan kondisi lalu lintas campuran pada ruas jalan di Indonesia karena mempertimbangkan karakteristik masing-masing jenis kendaraan terhadap kapasitas jalan serta tingkat gangguan yang ditimbulkan terhadap arus kendaraan lainnya.

Salah satu model yang banyak digunakan dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas adalah model Greenshields. Model tersebut menjelaskan hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas melalui pendekatan linier sehingga dapat digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum jalan, kecepatan arus bebas, dan kondisi kepadatan jenuh (Sunardi, Farida & Ismail, 2014). Secara matematis, model Greenshields menggambarkan bahwa peningkatan kepadatan lalu lintas akan menyebabkan penurunan kecepatan kendaraan secara linier hingga mencapai kondisi macet total. Model Greenshields dinilai cukup sederhana namun efektif untuk menggambarkan karakteristik arus lalu lintas pada berbagai tipe ruas jalan karena memiliki pendekatan analitis yang mudah diterapkan pada data hasil survei lapangan. Selain itu, model ini juga banyak digunakan dalam penelitian transportasi di Indonesia karena sesuai untuk analisis data lalu lintas hasil



observasi lapangan serta mampu memberikan estimasi parameter dasar lalu lintas dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Penggunaan model Greenshields pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai hubungan parameter lalu lintas pada ruas jalan yang ditinjau dan menjadi dasar dalam evaluasi kinerja lalu lintas secara kuantitatif.

Penelitian mengenai hubungan fundamental lalu lintas menggunakan model Greenshields telah banyak dilakukan. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan pendekatan volume kendaraan konvensional dan belum mempertimbangkan karakteristik lalu lintas campuran (mixed traffic) berbasis satuan mobil penumpang (SMP) sesuai Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Selain itu, penelitian pada ruas jalan dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 TT) dengan dominasi sepeda motor masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan berbasis SMP menggunakan model Greenshields pada ruas Jalan Raya Mulya Sari dengan interval pengamatan 5 menit sehingga diperoleh gambaran karakteristik lalu lintas yang lebih rinci berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas berbasis satuan mobil penumpang pada ruas jalan dua lajur dua arah tidak terbagi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memperoleh model hubungan fundamental lalu lintas menggunakan pendekatan Greenshields serta menentukan karakteristik arus lalu lintas pada ruas jalan yang ditinjau. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi kinerja ruas jalan serta memberikan informasi yang dapat digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan transportasi jalan..

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Satuan Mobil Penumpang

Satuan mobil penumpang (SMP) digunakan untuk menyeragamkan berbagai jenis kendaraan ke dalam satu kendaraan acuan berupa mobil penumpang agar karakteristik arus lalu lintas dapat dianalisis secara lebih representatif. Penggunaan SMP penting pada kondisi mixed traffic di Indonesia karena setiap jenis kendaraan memiliki pengaruh berbeda terhadap kapasitas dan kinerja jalan. Nilai ekivalensi mobil penumpang (EMP) ditentukan berdasarkan tipe kendaraan, kondisi geometrik jalan, dan karakteristik lalu lintas sesuai Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 (Kementerian PUPR / Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Perhitungan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{\text{smp}} = \sum (n_i \times \text{emp}_i) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Q_{smp} = volume lalu lintas dalam SMP/jam,

n_i = jumlah kendaraan jenis ke- i ,

emp_i = nilai ekivalensi mobil penumpang kendaraan ke- i .

2.2. Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan lalu lintas merupakan parameter yang menunjukkan jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas jalan pada waktu tertentu. Kepadatan lalu lintas memiliki hubungan erat dengan volume dan kecepatan kendaraan dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas. Semakin tinggi kepadatan kendaraan pada suatu ruas jalan, maka ruang gerak kendaraan menjadi semakin terbatas sehingga kecepatan kendaraan cenderung menurun. Menurut Tamin (2000), kepadatan lalu lintas digunakan untuk menggambarkan tingkat penggunaan ruang jalan oleh kendaraan serta menjadi indikator penting dalam evaluasi kinerja lalu lintas dan kapasitas jalan.

$$k = \frac{q}{v} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

k = kepadatan lalu lintas (smp/km),

q = volume lalu lintas (smp/jam),

v = kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam).

Hasil pengolahan data kemudian disusun dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis hubungan antaramodel lalu lintas.

2.3. Analisis Hubungan Fundamental Lalu Lintas

Hubungan fundamental lalu lintas merupakan hubungan antara tiga parameter utama lalu lintas, yaitu volume, kecepatan, dan kepadatan kendaraan. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik operasional arus lalu lintas pada suatu ruas jalan. Salah satu model yang banyak digunakan dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas adalah model Greenshields. Model ini menjelaskan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linier, dimana peningkatan kepadatan lalu lintas akan menyebabkan penurunan kecepatan kendaraan (Greenshields, 1935).

Hubungan antara kecepatan dan kepadatan pada model Greenshields dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

v = kecepatan kendaraan (km/jam),

v_f = kecepatan arus bebas (km/jam),



k = kepadatan lalu lintas (smp/km),
 k_j = kepadatan jenuh (smp/km).

Selain hubungan antara kecepatan dan kepadatan, penelitian ini juga menganalisis hubungan antara volume dan kepadatan serta hubungan antara volume dan kecepatan. Hubungan dasar karakteristik lalu lintas dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$q = v_f \cdot k - \left(\frac{v_f}{k_j}\right) \cdot k^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

q = volume lalu lintas (smp/jam)
 v_f = kecepatan arus bebas (km/jam),
 k = kepadatan lalu lintas (smp/km),
 k_j = kepadatan jenuh (smp/km).
 q = volume lalu lintas (smp/jam),
 V = kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam).

Analisis hubungan volume dan kecepatan pada model greenshield dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$q = k_j \cdot v - \left(\frac{k_j}{v_f}\right) \cdot v^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

q = volume lalu lintas (smp/jam),
 k_j = kepadatan jenuh (smp/km),
 v = kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam),
 v_f = kecepatan arus bebas (km/jam).

3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada ruas Jalan Raya Mulya Sari yang merupakan jalan dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 TT) dengan kondisi medan datar dan hambatan samping sedang. Ruas jalan tersebut dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki aktivitas lalu lintas yang cukup tinggi dan dilalui oleh berbagai jenis kendaraan sehingga sesuai untuk analisis karakteristik arus lalu lintas berbasis satuan mobil penumpang (SMP). Selain itu, ruas jalan ini berfungsi sebagai jalur penghubung aktivitas masyarakat sehingga volume kendaraan yang melintas cukup bervariasi sepanjang waktu pengamatan.

Titik pengamatan survei berada pada koordinat 6°23'38.95"S dan 108°23'54.05"E. Pemilihan lokasi survei dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi geometrik jalan yang relatif seragam, tidak berada terlalu dekat dengan persimpangan, dan memungkinkan proses pengamatan lalu lintas dilakukan secara optimal. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, ruas jalan memiliki lebar efektif jalan sebesar 7 meter dengan lebar masing-masing lajur sekitar 3,5 meter serta lebar bahu jalan rata-rata sebesar 3 meter. Kondisi hambatan samping pada lokasi

penelitian tergolong sedang yang ditandai dengan adanya aktivitas kendaraan keluar masuk kawasan sekitar jalan serta aktivitas masyarakat di tepi jalan. Kondisi geometrik tersebut memengaruhi karakteristik arus lalu lintas terutama terhadap kecepatan kendaraan dan kapasitas ruas jalan.

Pengambilan data dilakukan pada hari Selasa, 2 September 2025. Pemilihan hari kerja dilakukan dengan tujuan memperoleh kondisi lalu lintas yang merepresentasikan aktivitas kendaraan harian pada ruas jalan penelitian. Survei dilakukan secara langsung di lapangan dengan interval pengamatan setiap 5 menit untuk mendapatkan gambaran perubahan kondisi lalu lintas secara lebih detail.

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan secara langsung untuk memperoleh data volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam analisis hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan penelitian karena ketiga parameter tersebut merupakan komponen utama dalam analisis karakteristik arus lalu lintas. Metode survei lapangan dipilih karena mampu memberikan gambaran kondisi lalu lintas aktual pada lokasi penelitian sehingga hasil analisis dapat merepresentasikan kondisi operasional jalan secara nyata. Pengamatan dilakukan pada interval waktu 5 menit sehingga perubahan kondisi lalu lintas dapat diamati secara lebih rinci dibandingkan interval pengamatan yang lebih panjang. Penggunaan interval pengamatan pendek dinilai lebih efektif dalam menangkap fluktuasi arus kendaraan, terutama pada jam sibuk ketika perubahan volume dan kecepatan kendaraan terjadi secara cepat. Data hasil survei kemudian diolah untuk memperoleh nilai volume lalu lintas, kecepatan rata-rata kendaraan, serta kepadatan lalu lintas yang selanjutnya digunakan dalam analisis model hubungan fundamental lalu lintas.

3.2.1. Survei Volume Lalu Lintas

Pengumpulan data volume lalu lintas dilakukan secara manual melalui pencatatan langsung kendaraan yang melintas pada formulir survei yang telah dipersiapkan sebelumnya. Kendaraan yang melintas diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan yang terdiri atas sepeda motor, kendaraan ringan, kendaraan berat dua as, kendaraan berat tiga as, dan kendaraan berat empat as. Pencatatan dilakukan pada setiap interval waktu 5 menit sehingga diperoleh jumlah kendaraan berdasarkan klasifikasi kendaraan pada masing-masing periode pengamatan.

Data hasil survei volume lalu lintas kemudian direkapitulasi dalam bentuk tabulasi untuk mempermudah proses pengolahan data. Selanjutnya,



volume kendaraan dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan nilai ekivalensi mobil penumpang sesuai ketentuan yang berlaku. Penggunaan satuan mobil penumpang dilakukan untuk menyeragamkan pengaruh masing-masing jenis kendaraan terhadap arus lalu lintas sehingga kondisi lalu lintas campuran dapat direpresentasikan dengan lebih baik.

3.2.2. Survei Kecepatan Kendaraan

Pengukuran kecepatan kendaraan dilakukan menggunakan alat bantu speed gun. Pengamatan kecepatan dilakukan secara langsung terhadap kendaraan yang melintas pada lokasi penelitian. Pada setiap interval waktu 5 menit dilakukan pengukuran kecepatan terhadap 10 kendaraan sampel. Pemilihan sampel menggunakan pendekatan *quota sampling* dengan menetapkan kuota sebanyak 10 kendaraan pada setiap interval pengamatan. Kendaraan yang melintas selama periode tersebut diukur kecepatannya hingga jumlah sampel yang ditetapkan terpenuhi.

Kecepatan yang diperoleh dari hasil pengukuran speed gun merupakan kecepatan sesaat kendaraan pada suatu titik pengamatan (*spot speed*). Rata-rata kecepatan hasil pengukuran tersebut terlebih dahulu dihitung sebagai kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed/TMS*). Namun demikian, dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas menggunakan model Greenshields diperlukan kecepatan ruang (*space mean speed/SMS*), karena parameter kepadatan lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas jalan pada saat tertentu.

Oleh karena itu, nilai kecepatan rata-rata waktu dikonversi menjadi kecepatan rata-rata ruang menggunakan pendekatan rata-rata harmonik sebagai berikut:

$$V_s = \frac{n}{\sum \left(\frac{1}{v_i} \right)} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

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

n = kecepatan kendaraan ke- i (km/jam),

v_i = jumlah sampel kendaraan.

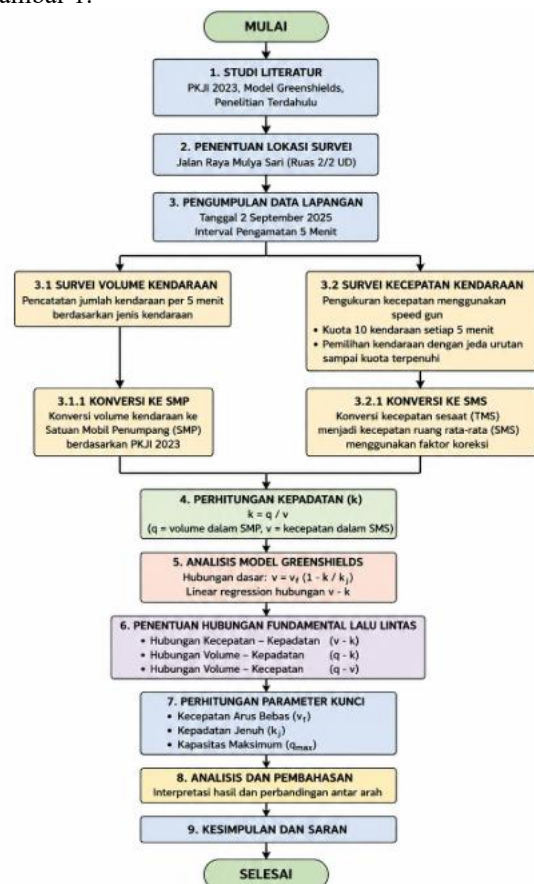
Kecepatan rata-rata ruang digunakan sebagai representasi kecepatan lalu lintas pada setiap interval pengamatan karena lebih sesuai untuk menggambarkan kondisi pergerakan kendaraan pada suatu segmen jalan. Penggunaan kecepatan ruang juga sejalan dengan konsep dasar model Greenshields yang menganalisis hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan lalu lintas.

Selanjutnya, nilai kecepatan ruang hasil konversi digunakan dalam perhitungan kepadatan lalu lintas melalui hubungan dasar $q = k \times v$, sehingga diperoleh nilai kepadatan yang menjadi variabel bebas dalam

analisis regresi model Greenshields. Dengan demikian, hubungan antara kecepatan dan kepadatan yang dihasilkan merepresentasikan karakteristik arus lalu lintas secara lebih tepat sesuai dengan teori hubungan fundamental lalu lintas.

3.3. Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari studi literatur, pengumpulan data lapangan, pengolahan data volume dan kecepatan kendaraan, perhitungan kepadatan lalu lintas, analisis hubungan fundamental lalu lintas menggunakan model Greenshields, hingga penarikan kesimpulan. Alur pelaksanaan penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan studi literatur terkait karakteristik arus lalu lintas, model Greenshields, dan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Selanjutnya dilakukan survei volume dan kecepatan kendaraan di lokasi penelitian. Data volume kendaraan dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (SMP), sedangkan data kecepatan sesaat dikonversi menjadi kecepatan ruang (SMS). Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung



kepadatan lalu lintas dan menganalisis hubungan fundamental lalu lintas menggunakan model Greenshields sehingga diperoleh parameter kecepatan arus bebas, kepadatan jenuh, dan kapasitas maksimum ruas jalan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Pengolahan Volume Lalu Lintas ke Dalam SMP

Data volume lalu lintas diperoleh melalui survei pencacahan kendaraan secara langsung pada ruas Jalan Raya Mulya Sari dengan interval pengamatan setiap 5 menit, dengan interval tersebut maka didapat 69 data volume lalu lintas. Kendaraan yang melintas diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan yang terdiri atas sepeda motor (SP), mobil penumpang (MP), kendaraan berat dua as, kendaraan berat tiga as, dan kendaraan berat empat as. Pengamatan dilakukan pada dua arah pergerakan lalu lintas, yaitu arah Junti dan arah Balongan. Hasil survei menunjukkan bahwa komposisi kendaraan pada ruas jalan penelitian didominasi oleh sepeda motor dibandingkan jenis kendaraan lainnya. Kondisi tersebut menggambarkan karakteristik lalu lintas campuran (mixed traffic) yang umum terjadi pada ruas jalan di Indonesia.

Tabel 1. Hasil Survey Volume Kendaraan per 5 Menit arah ke Junti

No	Waktu	Arah ke Junti				
		Volume				
		SP	MP	2as	3as	4as
1	08.15-08.20	17	4	2	0	0
2	08.20-08.25	20	3	2	0	0
3	08.25-08.30	13	7	2	0	0
4	08.30-08.35	21	6	0	0	0
5	08.35-08.40	23	4	1	0	0
...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	30	6	1	0	0

Sumber: Hasil Survey, 2025

Tabel 2. Hasil Survey Volume Kendaraan per 5 Menit arah ke Balongan

No	Waktu	Arah ke Balongan				
		Volume				
		SP	MP	2as	3as	4as
1	08.15-08.20	12	6	1	1	0
2	08.20-08.25	7	4	1	1	0
3	08.25-08.30	16	10	1	0	0
4	08.30-08.35	7	6	1	0	0
5	08.35-08.40	6	7	1	0	0
...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	30	6	1	0	0

Sumber: Hasil Survey, 2025

Data hasil survei volume kendaraan per 5 menit kemudian dikonversi menjadi volume kendaraan per jam dengan menggunakan faktor pengali sebesar 12. Konversi tersebut dilakukan untuk memperoleh keseragaman satuan volume lalu lintas sehingga dapat

digunakan dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas. Hasil konversi menunjukkan adanya fluktuasi volume kendaraan pada setiap interval pengamatan yang dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan selama periode survei. Pada beberapa interval waktu tertentu terjadi peningkatan volume kendaraan yang menunjukkan tingginya aktivitas pergerakan kendaraan pada ruas jalan penelitian.

Tabel 3. Volume Kendaraan per 1 Jam arah ke Junti

No	Waktu	Arah ke Junti				
		Volume				
		SP	MP	2as	3as	4as
1	08.15-08.20	204	48	24	0	0
2	08.20-08.25	240	36	24	0	0
3	08.25-08.30	156	84	24	0	0
4	08.30-08.35	252	72	0	0	0
5	08.35-08.40	276	48	12	0	0
...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	360	72	12	0	0

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 4. Volume Kendaraan per 1 Jam arah ke Balongan

No	Waktu	Arah ke Balongan				
		Volume				
		SP	MP	2as	3as	4as
1	08.15-08.20	144	72	12	12	0
2	08.20-08.25	84	48	12	12	0
3	08.25-08.30	192	120	12	0	0
4	08.30-08.35	84	72	12	0	0
5	08.35-08.40	72	84	12	0	0
...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	360	72	12	0	0

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selanjutnya, volume kendaraan dalam satuan kendaraan per jam dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan nilai ekivalensi mobil penumpang (EMP) berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Tahun 2023 untuk segmen jalan luar kota tipe 2/2-TT dengan lebar jalur lalu lintas 7 meter dan kondisi medan datar. Nilai EMP yang digunakan meliputi sepeda motor sebesar 0,6, mobil penumpang sebesar 1, kendaraan berat dua as sebesar 1,2, kendaraan berat tiga as sebesar 1,2, dan kendaraan berat empat as sebesar 1,8. Penggunaan satuan mobil penumpang dilakukan untuk menyeragamkan pengaruh masing-masing jenis kendaraan terhadap arus lalu lintas sehingga kondisi lalu lintas campuran dapat direpresentasikan secara lebih akurat.

Tabel 5. Volume Kendaraan (satuan smp)

No	Waktu	Arah ke Junti	Arah ke Balongan
		Volume	Volume
1	08.15-08.20	199,20	187,20
2	08.20-08.25	208,80	127,20
3	08.25-08.30	206,40	249,60
4	08.30-08.35	223,20	136,80



5	08.35-08.40	228,00	141,60
...	...	...	...
69	16.55-17.00	384,00	302,40

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara umum, hasil pengolahan volume lalu lintas ke dalam satuan mobil penumpang memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap kondisi arus lalu lintas pada ruas Jalan Raya Mulya Sari. Penggunaan SMP dalam penelitian ini menjadi dasar penting dalam analisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas menggunakan model Greenshields, karena mampu menggambarkan pengaruh kendaraan campuran terhadap karakteristik arus lalu lintas secara lebih baik.

4.1.2. Pengolahan Kecepatan Lalu Lintas

Data kecepatan lalu lintas diperoleh melalui survei lapangan menggunakan alat bantu speed gun pada ruas Jalan Raya Mulya Sari. Pengamatan dilakukan setiap interval 5 menit dengan pengambilan sampel 10 kendaraan secara acak pada masing-masing arah pengamatan, yaitu arah Junti dan arah Balongan, untuk memperoleh gambaran kondisi kecepatan kendaraan secara aktual di lapangan.

Tabel 6. Hasil Survey Kecepatan Sesaat Kendaraan Arah Junti

No	Waktu	Kendaraan ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	08.15-08.20	50	27	25	23	35	41	24	22	50	42
2	08.20-08.25	32	43	24	46	18	25	40	36	54	36
3	08.25-08.30	42	19	35	56	46	48	58	37	30	33
4	08.30-08.35	70	73	18	42	49	55	64	57	59	61
5	08.35-08.40	50	55	60	35	49	27	70	37	36	55
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	49	51	56	26	44	38	45	53	35	49

Sumber: Hasil Survey, 2025

Tabel 7. Hasil Survey Kecepatan Sesaat Kendaraan Arah Balongan

No	Waktu	Kendaraan ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	08.15-08.20	35	20	23	82	30	42	26	36	45	18
2	08.20-08.25	73	46	50	23	31	27	23	50	38	48
3	08.25-08.30	21	20	25	50	51	46	55	21	55	31
4	08.30-08.35	29	35	46	24	25	28	90	38	78	80
5	08.35-08.40	20	40	27	23	18	40	52	55	60	70
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	49	37	42	25	55	60	67	26	20	30

Sumber: Hasil Survey, 2025

Berdasarkan hasil survei kecepatan kendaraan pada kedua arah pengamatan, diperoleh variasi kecepatan kendaraan yang cukup beragam pada setiap interval waktu. Fluktuasi kecepatan tersebut dipengaruhi oleh perubahan volume kendaraan, kondisi kepadatan lalu lintas, serta aktivitas kendaraan di sekitar ruas jalan. Pada kondisi lalu lintas relatif lancar, kendaraan dapat bergerak dengan kecepatan lebih tinggi, sedangkan pada kondisi volume kendaraan

meningkat, kecepatan kendaraan cenderung mengalami penurunan akibat meningkatnya interaksi antar kendaraan pada ruas jalan penelitian.

Untuk merubah kecepatan sesaat menjadi kecepatan ruang, menggunakan rumus (5), sebagai contoh konversi adalah menggunakan data pada waktu 08.15-08.20 arah junti, adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$V_s = \frac{10}{\left(\frac{1}{50} + \frac{1}{27} + \frac{1}{25} + \frac{1}{23} + \frac{1}{35} + \frac{1}{41} + \frac{1}{24} + \frac{1}{22} + \frac{1}{50} + \frac{1}{42}\right)} = 30,83 \text{ km/jam}$$

Hasil konversi kecepatan sesaat ke kecepatan ruang pada waktu 08.15-08.20 arah junti adalah 30,83 km/jam, adapun hasil konversi dari seluruh data adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Rata-Rata Kecepatan Ruang (km/jam)

No	Waktu	Arah ke Junti	Arah ke Balongan
1	08.15-08.20	30,83	29,81
2	08.20-08.25	32,00	35,86
3	08.25-08.30	36,58	31,73
4	08.30-08.35	47,07	37,75
5	08.35-08.40	43,83	32,85
...	...	...	...
69	16.55-17.00	42,47	35,36

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil perhitungan rata-rata kecepatan ruang menunjukkan bahwa kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Raya Mulya Sari masih berada pada kondisi operasional yang relatif stabil. Arah Junti memiliki kecepatan rata-rata yang cenderung lebih tinggi dibandingkan arah Balongan pada beberapa interval waktu pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa arus lalu lintas pada arah Junti relatif lebih lancar dibandingkan arah Balongan. Data kecepatan rata-rata kendaraan ini selanjutnya digunakan dalam analisis hubungan fundamental lalu lintas untuk menentukan hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan kendaraan menggunakan model Greenshields.

4.1.3. Perhitungan Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan lalu lintas merupakan salah satu parameter utama dalam analisis karakteristik arus lalu lintas yang menunjukkan jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas jalan pada waktu tertentu. Dalam penelitian ini, kepadatan lalu lintas dihitung berdasarkan hubungan antara volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (SMP) dan kecepatan rata-rata kendaraan menggunakan persamaan dasar hubungan fundamental lalu lintas, yaitu perbandingan antara volume kendaraan dan kecepatan kendaraan. Perhitungan kepadatan dilakukan pada kedua arah pengamatan, yaitu arah Junti dan arah



Balongan, berdasarkan data hasil survei lapangan dengan interval pengamatan setiap 5 menit.

Tabel 9. Volume (smp/jam), Kecepatan (km/jam) dan Kepadatan Kendaraan (smp/km) arah ke Junti

No	Waktu	Arah ke Junti		
		Volume	Kecepatan	Kepadatan
1	08.15-08.20	199,20	30,83	6,46
2	08.20-08.25	208,80	32,00	6,53
3	08.25-08.30	206,40	36,58	5,64
4	08.30-08.35	223,20	47,07	4,74
5	08.35-08.40	228,00	43,83	5,20
...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	384,00	42,47	9,04

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 10. Volume (smp/jam), Kecepatan (km/jam) dan Kepadatan Kendaraan (smp/km) arah ke Balongan

No	Waktu	Arah ke Balongan		
		Volume	Kecepatan	Kepadatan
1	08.15-08.20	187,20	29,81	6,28
2	08.20-08.25	127,20	35,86	3,55
3	08.25-08.30	249,60	31,73	7,87
4	08.30-08.35	136,80	37,75	3,62
5	08.35-08.40	141,60	32,85	4,31
...	...	...	...	...
69	16.55-17.00	302,40	35,36	8,55

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai kepadatan lalu lintas mengalami fluktuasi pada setiap interval waktu pengamatan. Perubahan nilai kepadatan dipengaruhi oleh variasi volume kendaraan dan perubahan kecepatan kendaraan pada ruas jalan penelitian. Semakin tinggi volume kendaraan yang melintas dan semakin rendah kecepatan kendaraan, maka nilai kepadatan lalu lintas akan semakin besar. Sebaliknya, pada kondisi volume kendaraan rendah dan kecepatan kendaraan relatif tinggi, nilai kepadatan lalu lintas menjadi lebih kecil.

Pada arah Junti, nilai kepadatan lalu lintas mengalami fluktuasi selama periode pengamatan. Kepadatan tertinggi terjadi pada interval waktu 16.55–17.00 sebesar 9,04 smp/km dengan volume lalu lintas 384,00 smp/jam dan kecepatan rata-rata 42,47 km/jam. Sementara itu, pada arah Balongan kepadatan tertinggi sebesar 8,55 smp/km dengan volume lalu lintas 302,40 smp/jam dan kecepatan rata-rata 35,36 km/jam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan volume kendaraan pada sore hari menyebabkan bertambahnya jumlah kendaraan yang menempati ruas jalan sehingga kepadatan lalu lintas meningkat.

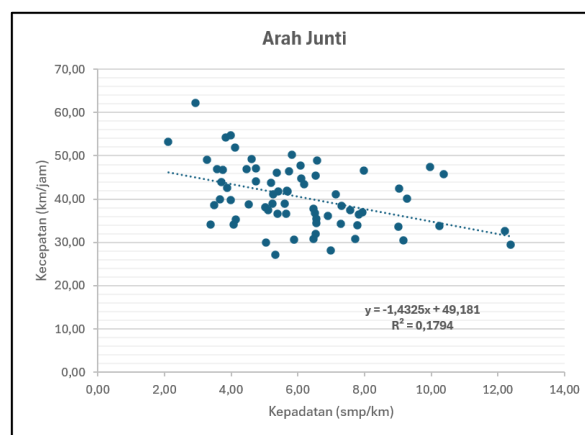
Hasil perhitungan juga menunjukkan adanya hubungan antara kepadatan lalu lintas dan kecepatan kendaraan. Pada interval pengamatan dengan nilai kepadatan rendah, kendaraan masih dapat bergerak dengan kecepatan relatif tinggi karena ruang gerak

kendaraan masih cukup tersedia. Sebaliknya, pada kondisi kepadatan tinggi, kendaraan mengalami penurunan kecepatan akibat meningkatnya interaksi antar kendaraan pada ruas jalan. Kondisi tersebut sesuai dengan teori dasar hubungan fundamental lalu lintas yang menyatakan bahwa peningkatan kepadatan akan menyebabkan penurunan kecepatan kendaraan.

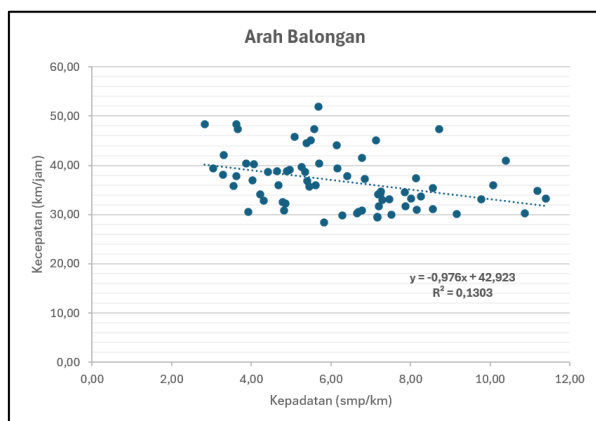
Karakteristik lalu lintas campuran pada ruas Jalan Raya Mulya Sari juga memengaruhi nilai kepadatan lalu lintas yang diperoleh. Dominasi sepeda motor menyebabkan pergerakan kendaraan menjadi lebih dinamis karena kendaraan roda dua memiliki kemampuan manuver yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan ringan maupun kendaraan berat. Namun demikian, pada kondisi volume kendaraan tinggi, pergerakan kendaraan yang saling mendahului tetap menyebabkan peningkatan interaksi antar kendaraan sehingga kepadatan lalu lintas meningkat dan kecepatan kendaraan menurun.

4.1.4. Analisis Model Greenshields

Analisis karakteristik arus lalu lintas pada penelitian ini dilakukan menggunakan model Greenshields untuk mengetahui hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas Jalan Raya Mulya Sari. Model Greenshields merupakan salah satu model hubungan fundamental lalu lintas yang menjelaskan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linier. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan metode regresi linier dengan variabel kepadatan lalu lintas sebagai variabel bebas (x) dan kecepatan kendaraan sebagai variabel terikat (y). Analisis dilakukan pada dua arah pengamatan, yaitu arah Junti dan arah Balongan.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Arah Junti



Gambar 3. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Arah Balongan

Tabel 11. Hasil Regresi Kedua Arah Pada Jalan Jalan Raya Mulya Sari

Keterangan	Arah Junti	Arah Balongan
Model Regresi	$y = -1,43x + 49,18$	$y = -0,98x + 42,92$
Kecepatan Arus Bebas	49,18	42,92
Koefisien Determinasi	0,18	0,13
Gradien Hubungan	-1,43	-0,98

Sumber: Hasil Analisis

Hasil regresi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan memiliki gradien negatif pada kedua arah pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kepadatan lalu lintas, maka kecepatan kendaraan akan semakin menurun. Hubungan linier negatif tersebut sesuai dengan teori dasar model Greenshields yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah kendaraan pada suatu ruas jalan akan menyebabkan ruang gerak kendaraan menjadi semakin terbatas sehingga pengemudi cenderung mengurangi kecepatan kendaraan.

Nilai konstanta pada persamaan regresi menunjukkan nilai kecepatan arus bebas (v_f) pada masing-masing arah pengamatan. Pada arah Junti diperoleh kecepatan arus bebas sebesar 49,18 km/jam, sedangkan pada arah Balongan sebesar 42,92 km/jam. Nilai tersebut menggambarkan kondisi teoritis ketika kendaraan dapat bergerak tanpa hambatan dari kendaraan lain atau ketika kepadatan lalu lintas mendekati nol. Kecepatan arus bebas pada arah Junti yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kondisi operasional lalu lintas pada arah tersebut relatif lebih baik dibandingkan arah Balongan.

Selain itu, hasil analisis regresi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,18 pada arah Junti dan 0,13 pada arah Balongan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan pada penelitian ini masih dipengaruhi oleh faktor lain di luar model Greenshields. Faktor-faktor tersebut antara lain aktivitas kendaraan keluar masuk kawasan sekitar jalan, kondisi hambatan samping,

perilaku pengemudi, serta karakteristik lalu lintas campuran yang didominasi oleh sepeda motor. Meskipun demikian, model Greenshields masih mampu menggambarkan hubungan dasar antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan penelitian.

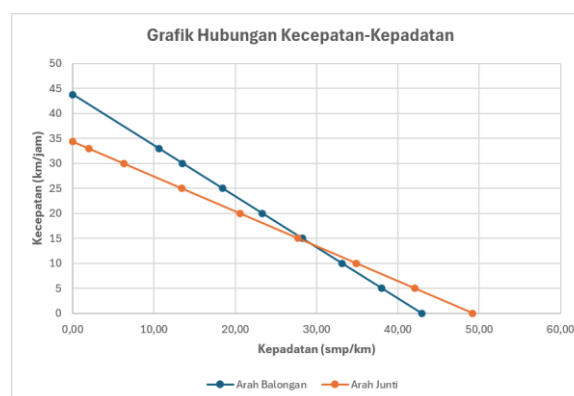
Dari persamaan hubungan antara kecepatan dan kepadatan maka dapat dihitung persamaan fundamental yang lain berdasarkan model Greenshields.

Tabel 12. Persamaan Fundamental Kedua Arah Pada Jalan Jalan Raya Mulya Sari

Keterangan	Arah Junti	Arah Balongan
Kecepatan-Kepadatan	$v = -1,43k + 49,18$	$v = -0,98k + 42,92$
Volume-Kepadatan	$q = 49,18k - 1,43k^2$	$q = 42,92k - 0,98k^2$
Volume-Kecepatan	$q = 34,39v - 0,699v^2$	$q = 43,80v - 1,021v^2$

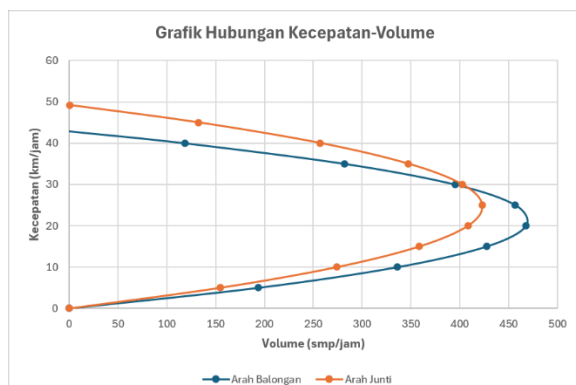
Sumber: Hasil Analisis

4.1.5. Diagram Hubungan Fundamental Model Greenshield



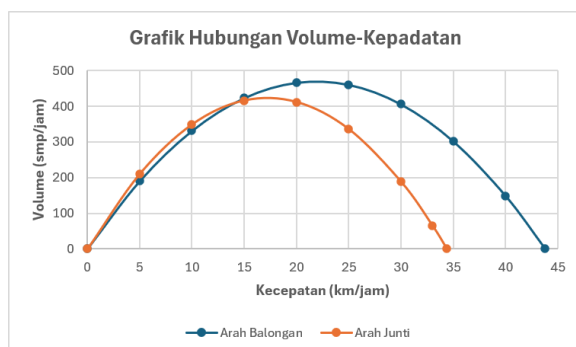
Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan Model Greenshields

Gambar 3 menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas bersifat linier negatif sesuai model Greenshields. Semakin tinggi kepadatan lalu lintas, maka kecepatan kendaraan cenderung menurun akibat berkurangnya ruang gerak kendaraan. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kendaraan pada ruas jalan berpengaruh terhadap penurunan kecepatan kendaraan.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan dan Volume Model Greenshields

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan volume lalu lintas yang membentuk kurva parabola. Volume lalu lintas meningkat hingga mencapai titik maksimum, kemudian menurun seiring perubahan kondisi kecepatan. Pola ini menunjukkan bahwa terdapat kondisi optimum dimana ruas jalan mampu melayani arus lalu lintas secara maksimum.



Gambar 6. Grafik Hubungan Volume dan Kepadatan Model Greenshields

Gambar 5 menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan kepadatan membentuk kurva parabola sesuai model Greenshields. Volume lalu lintas meningkat seiring bertambahnya kepadatan hingga mencapai kapasitas maksimum, kemudian menurun ketika kepadatan semakin tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan yang berlebihan dapat menurunkan kinerja lalu lintas pada ruas jalan.

4.1.6 Perhitungan Kepadatan Jenuh dan Kapasitas Maksimum

Perhitungan kepadatan jenuh dan kapasitas maksimum dilakukan berdasarkan parameter hasil analisis model Greenshields, yaitu kecepatan arus bebas (v_f) dan gradien hubungan antara kecepatan dan kepadatan (b). Kepadatan jenuh merupakan kondisi teoritis ketika jumlah kendaraan yang berada pada ruas jalan mencapai batas maksimum sehingga kecepatan

kendaraan mendekati nol. Sementara itu, kapasitas maksimum menunjukkan kemampuan maksimum ruas jalan dalam melayani arus lalu lintas sebelum terjadi penurunan performa lalu lintas atau kondisi macet.

$$k_j = -\frac{v_f}{b} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

k_j = kepadatan jenuh lalu lintas (SMP/km),

v_f = kecepatan arus bebas (km/jam),

b = gradien hubungan.

Tabel 13. Nilai Kecepatan Arus Bebas (km/jam) Kedua Arah Pada Jalan Jalan Raya Mulya Sari

Keterangan	Arah Junti	Arah Balongan
Kecepatan Arus Bebas	49,18	42,92
Gradien Hubungan	-1,43	-0,98
Kepadatan Jenuh	34,39	43,80

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis regresi model Greenshields, diperoleh nilai kecepatan arus bebas pada arah Junti sebesar 49,18 km/jam dengan gradien hubungan sebesar -1,43. Sedangkan pada arah Balongan diperoleh nilai kecepatan arus bebas sebesar 42,92 km/jam dengan gradien hubungan sebesar -0,98. Parameter tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai kepadatan jenuh menggunakan persamaan Greenshields.

Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas maksimum ruas jalan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{maks} = \frac{v_f \times k_j}{4} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

Q_{maks} = kapasitas maksimal (smp/jam),

v_f = kecepatan arus bebas (km/jam),

k_j = kepadatan jenuh (smp/km)

Tabel 14. Nilai Kapasitas Maksimal (smp/jam) Kedua Arah Pada Jalan Jalan Raya Mulya Sari

Keterangan	Arah Junti	Arah Balongan
Kecepatan Arus Bebas	49,18	42,92
Kepadatan jenuh	34,39	43,80
Kapasitas maksimal	422,87	469,97

Sumber: Hasil Analisis

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai kepadatan jenuh pada arah Junti sebesar 34,39 smp/km, sedangkan pada arah Balongan sebesar 43,80 smp/km. Nilai kepadatan jenuh tersebut menunjukkan kondisi ketika ruas jalan telah dipenuhi kendaraan sehingga kendaraan tidak lagi dapat bergerak secara normal. Perbedaan nilai kepadatan jenuh pada kedua arah menunjukkan adanya perbedaan karakteristik operasional lalu lintas pada masing-masing arah pengamatan. Arah Balongan memiliki nilai kepadatan jenuh yang lebih besar dibandingkan arah Junti, yang berarti ruas jalan pada arah tersebut secara teoritis mampu menampung jumlah kendaraan lebih banyak sebelum mencapai kondisi jenuh.



Nilai kepadatan jenuh yang lebih rendah pada arah Junti menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kendaraan pada arah tersebut lebih cepat memengaruhi kondisi lalu lintas. Hal tersebut sejalan dengan nilai gradien regresi arah Junti yang lebih besar sehingga perubahan kepadatan memberikan pengaruh lebih signifikan terhadap penurunan kecepatan kendaraan. Sebaliknya, pada arah Balongan, perubahan kepadatan tidak terlalu besar memengaruhi kecepatan kendaraan sehingga ruas jalan masih mampu menampung kendaraan dalam jumlah yang lebih tinggi sebelum kecepatan kendaraan mendekati nol.

Selanjutnya, berdasarkan nilai kecepatan arus bebas dan kepadatan jenuh, dilakukan perhitungan kapasitas maksimum ruas jalan menggunakan pendekatan model Greenshields. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas maksimum pada arah Junti sebesar 422,87 smp/jam, sedangkan pada arah Balongan sebesar 469,97 smp/jam. Nilai kapasitas maksimum tersebut menunjukkan jumlah arus kendaraan tertinggi yang masih dapat dilayani oleh ruas jalan secara optimal sebelum terjadi penurunan kinerja lalu lintas.

Perbedaan kapasitas maksimum antara kedua arah dipengaruhi oleh kombinasi nilai kecepatan arus bebas dan kepadatan jenuh hasil analisis model Greenshields. Meskipun arah Junti memiliki kecepatan arus bebas lebih tinggi, nilai kepadatan jenuhnya relatif lebih rendah sehingga kapasitas maksimum yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan arah Balongan. Sebaliknya, arah Balongan memiliki kemampuan menampung kendaraan lebih besar meskipun kecepatan arus bebasnya lebih rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa kapasitas jalan tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan ruas jalan dalam menampung kendaraan pada kondisi padat.

4.2. Pembahasan

Analisis hubungan fundamental lalu lintas pada penelitian ini dilakukan menggunakan model Greenshields untuk mengetahui karakteristik hubungan antara kecepatan, kepadatan, dan volume lalu lintas pada ruas Jalan Raya Mulya Sari. Model Greenshields dipilih karena mampu menggambarkan hubungan linier antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas sehingga dapat digunakan untuk menentukan parameter penting lalu lintas berupa kecepatan arus bebas, kepadatan jenuh, dan kapasitas maksimum ruas jalan. Berdasarkan hasil analisis regresi, diperoleh model hubungan kecepatan dan kepadatan untuk arah Junti sebesar:

Tabel 15. Model Regresi Kedua Arah Pada Jalan Jalan Raya Mulya Sari

Keterangan	Arah Junti	Arah Balongan
Model Regresi	$y = -1,43x + 49,18$	$y = -0,98x + 42,92$

Sumber: Hasil Analisis

Model regresi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan memiliki gradien negatif, yang berarti semakin tinggi kepadatan lalu lintas maka kecepatan kendaraan akan mengalami penurunan. Kondisi tersebut sesuai dengan teori dasar model Greenshields yang menjelaskan bahwa peningkatan jumlah kendaraan pada suatu ruas jalan menyebabkan ruang gerak kendaraan menjadi semakin terbatas sehingga pengemudi cenderung menurunkan kecepatan kendaraan. Nilai gradien pada arah Junti sebesar $-1,43$ menunjukkan bahwa setiap peningkatan kepadatan sebesar 1 smp/km akan menurunkan kecepatan kendaraan sebesar 1,43 km/jam. Sementara itu, pada arah Balongan diperoleh gradien sebesar $-0,98$, yang menunjukkan bahwa penurunan kecepatan akibat peningkatan kepadatan relatif lebih kecil dibandingkan arah Junti. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perubahan kepadatan lalu lintas pada arah Junti memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan kecepatan kendaraan dibandingkan arah Balongan, sehingga karakteristik arus lalu lintas pada arah Junti lebih sensitif terhadap peningkatan jumlah kendaraan di dalam ruas jalan.

Berdasarkan hasil regresi tersebut diperoleh nilai kecepatan arus bebas (free flow speed) sebesar 49,18 km/jam untuk arah Junti dan 42,92 km/jam untuk arah Balongan. Kecepatan arus bebas merupakan kondisi teoritis ketika kendaraan bergerak tanpa hambatan dari kendaraan lain atau ketika kepadatan lalu lintas mendekati nol. Nilai kecepatan arus bebas pada arah Junti yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kondisi operasional lalu lintas pada arah tersebut relatif lebih lancar dibandingkan arah Balongan. Perbedaan nilai kecepatan arus bebas tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik lalu lintas, kondisi hambatan samping, serta aktivitas kendaraan di sekitar ruas jalan yang memengaruhi kebebasan kendaraan dalam bergerak. Semakin tinggi nilai kecepatan arus bebas, semakin baik kemampuan ruas jalan dalam melayani pergerakan kendaraan pada kondisi lalu lintas rendah.

Selanjutnya, berdasarkan parameter model Greenshields diperoleh nilai kepadatan jenuh sebesar 34,39 smp/km pada arah Junti dan 43,80 smp/km pada arah Balongan. Nilai kepadatan jenuh tersebut menunjukkan kondisi teoritis ketika jumlah kendaraan yang berada pada ruas jalan mencapai batas maksimum sehingga kecepatan kendaraan mendekati nol. Nilai kepadatan jenuh yang lebih besar pada arah Balongan menunjukkan bahwa ruas jalan pada arah tersebut secara teoritis mampu menampung jumlah kendaraan lebih banyak sebelum mencapai kondisi jenuh dibandingkan arah Junti. Perbedaan nilai kepadatan jenuh ini menunjukkan adanya variasi karakteristik operasional lalu lintas pada kedua arah pengamatan yang dipengaruhi oleh pola pergerakan kendaraan dan tingkat interaksi antar kendaraan di dalam arus lalu lintas.



Hasil penelitian ini menunjukkan kapasitas maksimum sebesar 422,87 smp/jam untuk arah Junti dan 469,97 smp/jam untuk arah Balongan. Nilai tersebut relatif lebih rendah dibandingkan kapasitas teoritis jalan dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 TT) berdasarkan PKJI 2023. Namun demikian, hasil serupa juga ditemukan pada beberapa penelitian yang menggunakan pendekatan hubungan fundamental lalu lintas berbasis data observasi lapangan. Saputra dan Savitri (2021) menunjukkan bahwa parameter kapasitas yang diperoleh dari model Greenshields sangat dipengaruhi oleh rentang data volume, kecepatan, dan kepadatan yang diamati selama survei. Apabila data pengamatan belum mencapai kondisi mendekati jenuh, maka kapasitas maksimum hasil model cenderung lebih rendah dibandingkan kapasitas teoritis jalan.

Hasil penelitian Nurinda Abdi, Priyanto, dan Malkamah (2019) pada ruas Jalan Padjajaran (Ring Road Utara) Sleman juga menunjukkan bahwa hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan yang dibangun dari data operasional lalu lintas aktual lebih menggambarkan kondisi pelayanan lalu lintas saat survei dibandingkan kapasitas geometrik jalan. Demikian pula penelitian Sunardi, Farida, dan Ismail (2014) pada Jalan Merdeka Kabupaten Garut menemukan bahwa parameter hubungan fundamental yang diperoleh melalui model Greenshields dipengaruhi oleh karakteristik lalu lintas setempat, sehingga hasil kapasitas yang diperoleh dapat berbeda dengan kapasitas yang dihitung berdasarkan pendekatan manual kapasitas jalan.

Dengan demikian, kapasitas maksimum sebesar 422,87 smp/jam dan 469,97 smp/jam yang diperoleh dalam penelitian ini perlu diinterpretasikan sebagai kapasitas empiris hasil pemodelan berdasarkan kondisi lalu lintas aktual pada saat survei, bukan sebagai kapasitas desain ruas jalan menurut PKJI 2023. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa model Greenshields lebih merepresentasikan karakteristik operasional lalu lintas pada rentang pengamatan yang tersedia dibandingkan kemampuan teoritis ruas jalan dalam melayani arus lalu lintas maksimum.

Selain itu, nilai koefisien determinasi yang relatif rendah ($R^2 = 0,18$ dan $R^2 = 0,13$) mengindikasikan bahwa hubungan kecepatan dan kepadatan pada lokasi penelitian masih dipengaruhi oleh faktor lain seperti hambatan samping, dominasi sepeda motor, dan perilaku pengemudi. Kondisi ini umum dijumpai pada lalu lintas campuran di Indonesia dan turut memengaruhi estimasi kapasitas yang diperoleh dari model hubungan fundamental lalu lintas.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hubungan fundamental lalu lintas berbasis satuan mobil penumpang (SMP)

menggunakan model Greenshields pada ruas Jalan Raya Mulya Sari, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas menunjukkan pola linier negatif sesuai model Greenshields. Persamaan yang diperoleh untuk arah Junti adalah $v = -1,43k + 49,18$, sedangkan untuk arah Balongan adalah $v = -0,98k + 42,92$.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa arah Junti memiliki kecepatan arus bebas sebesar 49,18 km/jam dengan kepadatan jenuh sebesar 34,39 smp/km dan kapasitas maksimum sebesar 422,87 smp/jam. Sementara itu, arah Balongan memiliki kecepatan arus bebas sebesar 42,92 km/jam, kepadatan jenuh sebesar 43,80 smp/km, dan kapasitas maksimum sebesar 469,97 smp/jam.
3. Pendekatan berbasis SMP sesuai PKJI 2023 mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas campuran (mixed traffic) yang didominasi sepeda motor, sehingga analisis hubungan fundamental lalu lintas dapat dilakukan secara lebih representatif dibandingkan menggunakan volume kendaraan aktual.
4. Model Greenshields dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik dasar arus lalu lintas pada ruas jalan dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 TT) serta memberikan estimasi parameter lalu lintas yang dapat dimanfaatkan dalam evaluasi kinerja ruas jalan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan analisis karakteristik arus lalu lintas di lapangan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan periode survei yang lebih panjang serta mencakup variasi hari pengamatan, seperti hari kerja dan akhir pekan, sehingga karakteristik lalu lintas yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi arus lalu lintas secara lebih komprehensif. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat membandingkan model Greenshields dengan model hubungan fundamental lalu lintas lainnya, seperti Greenberg dan Underwood, untuk memperoleh model yang paling sesuai dengan karakteristik lalu lintas campuran di Indonesia. Penggunaan teknologi survei berbasis video recording atau drone juga disarankan agar pengumpulan data volume dan kecepatan kendaraan dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Di samping itu, analisis lebih lanjut mengenai pengaruh hambatan samping, perilaku pengemudi, serta dominasi kendaraan roda dua terhadap hubungan fundamental lalu lintas perlu dilakukan untuk meningkatkan



ketelitian model karakteristik arus lalu lintas pada ruas jalan dua lajur dua arah tidak terbagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbardin, J., Ma'soem, D. M. and Rahmat, F. L. N., 2024, 'Analysis of Performance on Road Section RSAI-UNINUS Soekarno Hatta Highway Bandung Base on Traffic Flow Characteristic', *ASTONJADRO*, 13(3), pp. 805–813. doi: 10.32832/astonjadro.v13i3.15722.
- Chow, A.H.F., Li, Y. & Gkiotsalitis, K., 2015, 'Specifications of Fundamental Diagrams for Dynamic Traffic Modeling', *Journal of Transportation Engineering*, 141(9).
- Greenshields, B.D., 1935, 'A Study of Traffic Capacity', *Proceedings of the Highway Research Board*, 14, 448–477.
- Helbing, D., 2001, 'Traffic and Related Self-Driven Many-Particle Systems', *Reviews of Modern Physics*, 73(4), pp. 1067–1141. DOI: [10.1103/RevModPhys.73.1067](https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.1067).
- Hidayat, D.W., Oktopianto, Y. & Budi Sulisty, A., 2020, 'Peningkatan Kinerja Simpang Tiga Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Purin Kendal)', *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 7(2), 118–127.
- Kementerian PUPR / Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023, *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*, Jakarta.
- Kurniawan, H. & Anwar, M.K., 2023, 'Pengaruh U-Turn Terhadap Kinerja Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Gajah Mada Depan Simpang Sekolah Kemilau Bangsa Kota Batam', *SIGMA TEKNIKA*, 6(2), 479–492.
- Nurinda Abdi, G., Priyanto, S. & Malkamah, S., 2019, 'Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Padjajaran (Ring Road Utara), Sleman', *Teknisia*, XXIV(1), 55–64.
- Sandhyavitri, A. & Saputra, N., 2019, 'Analisis Risiko Jalan Tol Tahap Pra Konstruksi (Studi Kasus Jalan Tol Pekanbaru-Dumai)', *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1).
- 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).
- Sunardi, D., Farida, I. & Ismail, A., 2014, 'Studi Analisis Hubungan, Kecepatan, Volume, Dan Kepadatan Di Jalan Merdeka Kabupaten Garut Dengan Metode Greenshields', *Jurnal Konstruksi*, 11(1).
- Treiber, M. & Kesting, A., 2013, *Traffic Flow Dynamics*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Yulipriyono, EPF.E. & Purwanto, D., 2017, 'Perubahan Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang Akibat Perubahan Karakteristik Operasional Kendaraan di Jalan Kota Semarang', *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 23(1), 69.
- Zhang, L. & Levinson, D., 2010, 'Ramp Metering and Freeway Bottleneck Capacity', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(4), pp. 218–235. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.01.004>