

Analisis Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kerapatan Lalu Lintas Di Jalan Yos Sudarso

Zulafwin¹, Syafrida Damanik², Adinda Juwita Nasution³

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Al – Azhar Medan, Indonesia

Email : zulafwin@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 14 Oktober 2025

Revised: 16 November 2025

Accepted: 28 November 2025

Keywords:

Volume Lalu Lintas,

Kecepatan Lalu Lintas,

Greenshield,

Kerapatan Kendaraan,

Greenberg

Published by

Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara volume lalu lintas (Q), kecepatan (V), dan kerapatan (D) menggunakan Metode Greenberg pada ruas Jalan KL Yos Sudarso di Kota Medan. Metode Greenberg digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas serta menentukan kapasitas dan tingkat kejemuhan jalan berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sehingga dapat memberikan gambaran nyata mengenai kinerja ruas jalan tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa derajat kejemuhan (DS) mendekati kondisi jenuh, yang menandakan bahwa ruas jalan tersebut hampir mencapai kapasitas maksimum dan berpotensi mengalami kemacetan, terutama pada jam-jam sibuk. Selain itu, hasil perhitungan kapasitas menggunakan Metode Greenberg menunjukkan nilai yang tidak sesuai dengan kapasitas dasar jalan, sehingga mencerminkan adanya gangguan terhadap kinerja lalu lintas, seperti parkir liar, aktivitas pertokoan, serta hambatan samping lainnya yang memengaruhi kelancaran arus kendaraan. Temuan ini mengindikasikan bahwa Jalan KL Yos Sudarso memerlukan penerapan manajemen lalu lintas secara segera dan terencana, seperti penertiban parkir di badan jalan, pengaturan arus lalu lintas, serta peningkatan fasilitas jalan dan pengawasan. Dengan langkah-langkah tersebut, diharapkan kemacetan dapat dikurangi dan kinerja jalan dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

This study aims to analyze the relationship between traffic volume (Q), speed (V), and density (D) using the Greenberg Method on the KL Yos Sudarso Road section in Medan City. The Greenberg Method is used to determine traffic flow characteristics and determine road capacity and saturation levels based on actual conditions in the field, thereby providing a realistic picture of the performance of this road section. The analysis results show that the degree of saturation (DS) is approaching saturation, indicating that the road section is nearing its maximum capacity and is prone to congestion, especially during rush hours. In addition, the capacity calculation results using the Greenberg Method showed values that did not match the basic road capacity, reflecting disturbances to traffic performance, such as illegal parking, shop activities, and other side obstacles that affected the smooth flow of vehicles. These findings indicate that Jalan KL Yos Sudarso requires the immediate and planned implementation of traffic management measures, such as regulating parking on the road, managing traffic flow, and improving road facilities and surveillance. With these measures, it is hoped that congestion can be reduced and road performance can be improved in a sustainable manner.

Corresponding Author:

Zulafwin

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Al – Azhar Medan, Indonesia

Jl. Pintu Air No. 214, Kwala Bekala, Padang Bulan-Medan

Email: Zulafwin@gmail.com

PENDAHULUAN

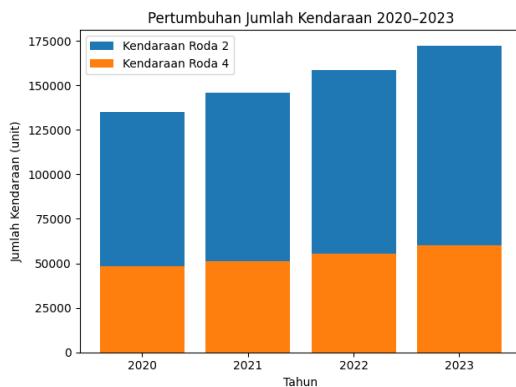
Jumlah kendaraan pada suatu ruas jalan dalam persatuan waktu merupakan ukuran kemampuan suatu ruas jalan. Dalam suatu karakteristik lalu lintas maupun tingkat pelayanannya, kecepatan, volume, maupun kerapatan saling berhubungan. Semakin banyak kendaraan yang berada dalam suatu ruas jalan, maka kecepatan rata-rata kendaraan berkurang rendahnya kecepatan suatu kendaraan disebabkan oleh tingkat volume dan kerapatan lalu lintas yang tinggi(Jalan et al., 2014).

Permasalahan lalu lintas jalan raya merupakan suatu permasalahan yang kompleks dalam dunia transportasi darat terutama transportasi perkotaan. Permasalahan transportasi diperkotaan timbul terutama disebabkan karena tingginya tingkat urbanisasi, pertumbuhan jumlah kendaraan tidak sebanding dengan pertumbuhan prasarana transportasi, serta populasi dan pergerakan yang meningkat dengan pesat setiap harinya. Karena hal ini maka timbulah permasalahan transportasi, mulai dari jalan, alat transportasi, hingga infrastruktur penunjang transportasi, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan tingkat pelayanan jalan yang disebabkan penggunaan ruang jalan yang tidak sebagaimana mestinya. Meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya dapat menimbulkan kemacetan lalu lintas yang dapat mempengaruhi tingkat pelayanan jalan. Kemacetan serta kesibukan lalu lintas itu sering terjadi pada ruas jalan atau persimpangan jalan. Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan manajemen lalu lintas yang terencana dan terarah sehingga solusi pada satu titik tidak akan mengakibatkan masalah pada titik yang lain. Untuk manajemen lalulintas yang terencana dan terarah, terlebih dahulu perlu diketahui perilaku karakteristik lalu lintas seperti volume (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*)(Raya, 2022).

Dengan mengetahui volume dan kecepatan maka bisa diketahui berapa kapasitas dan tingkat pelayanan dari ruas jalan tersebut. Untuk mempermudah penerapan estimaasi kapasitas jalan, digunakan metode pendekatan untuk memahami kondisi lalu lintas dan karakteristik arus lalu lintasnya dengan menjabarkannya dalam model hubungan matematis dan grafis. Model yang digunakan untuk menganalisa hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas yaitu "Metode Greenberg". Dari penerapan pendekatan model tersebut, maka dapat diketahui kapasitas di suatu ruas jalan dengan menggunakan teknik analisis regresi. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya melaporkan bahwa penerapan Model Greenshield ini sangat efektif untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas di suatu ruas jalan. Hal ini tentunya akan di dapatkan nilai kapasitas jalan, sehingga bisa di ketahui tingkat pelayanan di suatu ruas jalan tertentu. Akan tetapi, dalam pelaksanaan penelitiannya memerlukan data yang akurat untuk menggambarkan kondisi ekstiting atau realita dilapangan. Penelitian ini memiliki **keterbaruan** dibandingkan penelitian sebelumnya karena berfokus pada analisis hubungan volume, kecepatan, dan kerapatan lalu lintas pada ruas Jalan Yos Sudarso dengan menggunakan pendekatan model Greenberg yang dikalibrasi berdasarkan data kondisi eksisting lapangan(Java, 2022).

Tabel 1. Data kerusakan sekolah akibat gempa (sumber: BPS, Badan Pusat Statistik)

| Tahun | Kendaraan Roda 2 | Kendaraan Roda 4 | Total Kendaraan |
|-------|------------------|------------------|-----------------|
| 2020 | 135.000 | 48.500 | 183.500 |
| 2021 | 146.000 | 51.200 | 197.200 |
| 2022 | 158.500 | 55.400 | 213.900 |
| 2023 | 172.400 | 60.300 | 232.700 |



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Jumlah Kendaraa (2020-2023)

State of the art

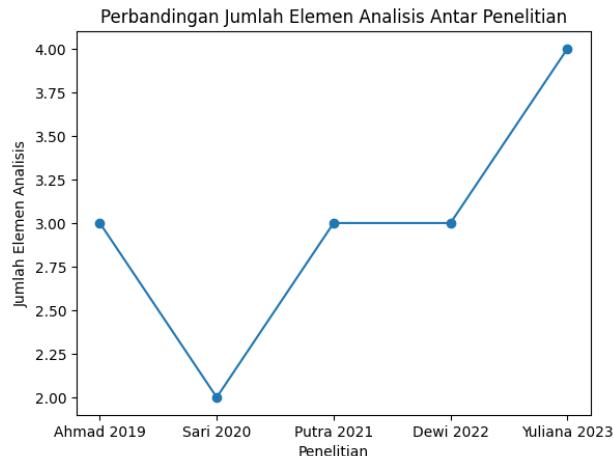
Penelitian mengenai analisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kerapatan lalu lintas telah banyak dilakukan sebelumnya, terutama untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas pada berbagai jenis ruas jalan. Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan model hubungan fundamental lalu lintas seperti Greenshields, Greenberg, Underwood, dan model logaritmik lainnya untuk menggambarkan hubungan matematis antara ketiga variabel tersebut. Hasil penelitian umumnya menunjukkan bahwa peningkatan volume dan kerapatan lalu lintas akan menyebabkan penurunan kecepatan rata-rata kendaraan serta penurunan tingkat pelayanan jalan (Arthono & Permana, 2022).

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya dilakukan pada ruas jalan dengan karakteristik tertentu, seperti jalan tol, arteri primer, atau kolektor, sehingga hasilnya belum tentu sesuai jika langsung diterapkan pada ruas jalan perkotaan yang memiliki aktivitas tinggi seperti Jalan Yos Sudarso. Selain itu, beberapa penelitian hanya membahas satu atau dua variabel saja tanpa mengkaji hubungan ketiganya secara menyeluruh dalam satu model matematis. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini mengintegrasikan analisis simultan hubungan volume, kecepatan, dan kerapatan (Q-V-D) berbasis data eksisting pada ruas perkotaan yang padat, khususnya Jalan Yos Sudarso, dengan menggunakan model Greenberg yang dikalibrasi sesuai kondisi lapangan. Data lapangan yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode regresi untuk mendapatkan parameter model yang lebih representatif terhadap kondisi aktual, sehingga penelitian ini tidak hanya menguji model teoritis, tetapi juga membandingkannya dengan kondisi nyata di lapangan untuk menghasilkan informasi kapasitas jalan dan tingkat pelayanan yang lebih akurat dan aplikatif bagi perencanaan manajemen lalu lintas (Regency, 2022).

Tabel 2. Data Ringkasan Perbandingan elemen analisis Antar Penelitian (2019 - 2023)

| Tahun Penelitian | Lokasi Ruas Jalan | Metode yang Digunakan | Apa yang Dianalisis |
|------------------|------------------------------|-------------------------|--|
| Ahmad 2019 | Medan (ruas jalan perkotaan) | Model Greenshield | Hubungan antara kecepatan dan volume kendaraan |
| Sari 2020 | Jakarta (jalan arteri) | Model Greenberg | Hubungan antara volume dan kerapatan kendaraan |
| Putra 2021 | Surabaya(jalan kolektor) | Greenshield | Perbandingan dua model untuk mencari hasil paling akurat |
| Dewi 2022 | Bandung (persimpangan padat) | Analisis regresi linier | Perhitungan kapasitas jalan dan derajat kejemuhan |

| | | | | |
|--------------|-------------------------|----------------------------------|-------|---|
| Yuliana 2023 | Yogyakarta nasional) | (jalan Kalibrasi Greenberg | model | Penentuan tingkat pelayanan jalan berdasarkan data lapangan |
|--------------|-------------------------|----------------------------------|-------|---|



Gambar 2. Grafik Perbandingan Elemen Analisis Antar Penelitian

URAIAN TEORI

Arus lalu lintas di suatu ruas jalan dipengaruhi oleh tiga hal utama, yaitu volume kendaraan, kecepatan kendaraan, dan kerapatan kendaraan, di mana ketiganya saling berhubungan; semakin banyak kendaraan yang berada di suatu jalan maka jalan menjadi padat, kerapatan meningkat, sehingga kecepatan rata-rata kendaraan menurun, dan kondisi ini bisa menurunkan tingkat pelayanan jalan serta memicu kemacetan, terutama di kawasan perkotaan yang memiliki pertumbuhan jumlah penduduk dan kendaraan yang tinggi sementara perkembangan jalannya tidak sebanding, sehingga diperlukan manajemen lalu lintas yang baik dan analisis karakteristik arus lalu lintas menggunakan model matematis seperti model Greenberg untuk mengetahui hubungan volume, kecepatan, dan kerapatan berdasarkan data kondisi nyata di lapangan agar kapasitas jalan dan tingkat pelayanannya dapat dihitung secara lebih akurat(Dan et al., 2021).

Kebaharuan penelitian ini terletak pada penerapan model Greenberg yang dikalibrasi secara khusus dengan data eksisting pada ruas Jalan Yos Sudarso sehingga hasil analisis benar-benar menggambarkan kondisi lalu lintas aktual dan memberikan informasi yang lebih spesifik dibandingkan penelitian sebelumnya yang belum berfokus pada ruas jalan tersebut atau belum melakukan proses kalibrasi secara rinci(Hanafi & Moetriono, 2022).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dimulai dari tahap persiapan, yaitu mengidentifikasi masalah penelitian, merumuskan tujuan, serta mempelajari teori dan referensi yang berkaitan melalui studi literatur dari buku, jurnal, dan sumber internet. Setelah itu dilakukan pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan selama tujuh hari pada pagi, siang, dan sore hari, meliputi pengukuran kondisi geometrik jalan, pencatatan kecepatan kendaraan, serta perhitungan volume lalu lintas berdasarkan jenis kendaraan. Data sekunder dikumpulkan dari peta lokasi penelitian, referensi PKJI, serta sumber dokumen lainnya.

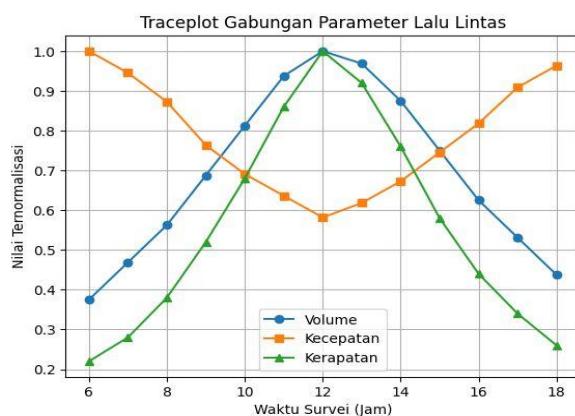
Data yang terkumpul kemudian direkap dan diolah menggunakan Microsoft Excel untuk memudahkan penghitungan lanjutan. Tahap berikutnya adalah analisis data, yang dilakukan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, meliputi perhitungan arus lalu lintas, kecepatan, dan

kerapatan kendaraan, penentuan tingkat pelayanan jalan dengan membandingkan volume dan kapasitas ruas, serta analisis hubungan volume, kecepatan, dan kerapatan menggunakan metode Greenberg melalui pendekatan regresi. Hasil analisis tersebut selanjutnya dibahas untuk menjawab tujuan penelitian, kemudian ditarik kesimpulan dan diberikan saran yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti(Aruna & Kusuma, 2024).

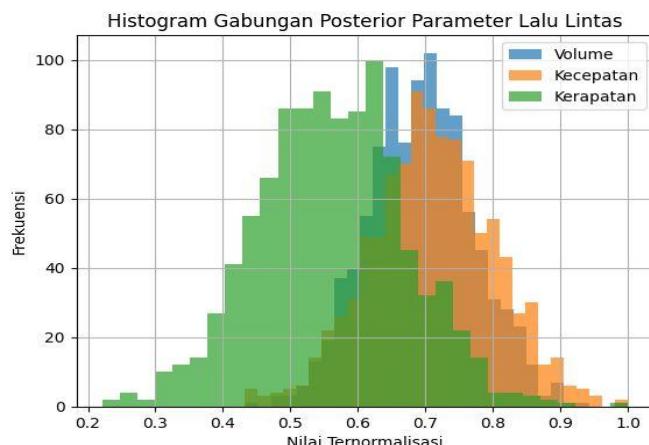
Tabel 3. Data primer lapangan

| No | Jenis Data Primer | Cara Pengambilan | Kegunaan |
|----|-------------------------------------|--|---|
| 1 | Volume kendaraan | Observasi dan pencatatan lapangan | Mengetahui jumlah kendaraan yang melintas per jam |
| 2 | Kecepatan kendaraan | Pengukuran waktu tempuh/speed gun | Menganalisis kelancaran arus lalu lintas |
| 3 | Kerapatan lalu lintas | Dihitung dari volume dan kecepatan | Menentukan tingkat kepadatan kendaraan |
| 4 | Kondisi jalan (lebar, jumlah lajur) | Pengukuran langsung di lokasi | Menghitung kapasitas dan kinerja ruas jalan |
| 5 | Waktu tundaan/kemacetan | Pencatatan di titik padat/persimpangan | Menilai tingkat pelayanan dan kejemuhan jalan |

Selain data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait serta sumber tertulis. Data sekunder tersebut meliputi peta lokasi penelitian, klasifikasi fungsi ruas jalan, dokumen Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014/2023, data lalu lintas historis, serta informasi mengenai tata guna lahan di sekitar lokasi penelitian. Data sekunder ini digunakan sebagai bahan pendukung analisis, pembanding hasil survei lapangan, serta acuan dalam penentuan kapasitas jalan dan tingkat pelayanan yang dianalisis pada penelitian ini. Proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan data primer hasil survei lapangan dan data sekunder dari berbagai sumber resmi. Data primer berupa volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan kondisi geometrik jalan, sedangkan data sekunder berupa peta lokasi, fungsi jalan, serta pedoman perhitungan kapasitas jalan.



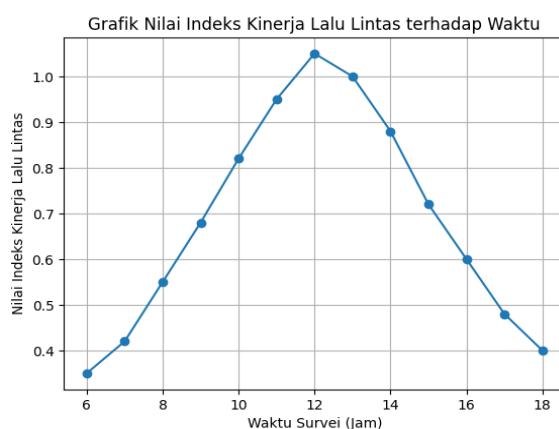
Gambar 4. Trace Plot parameter Lalu Lintas



Gambar 5. Histogram Posterior parameter lalu lintas

Tabel 4. Data Peta Lokasi Dan Tata Letak Ruas Jalan (sumber: Bina Marga)

| Jenis Data | Sumber | Kegunaan dalam Penelitian |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Peta lokasi ruas jalan penelitian | Google Maps / BAPPEDA | Menentukan posisi segmen analisis |
| Gambar citra satelit | Google Earth | Melihat lingkungan sekitar ruas jalan |
| Nama ruas jalan | Dishub/PUPR | Penetapan objek penelitian |
| Panjang segmen jalan | Google Maps/ AutoCAD | Batas awal-akhir pengamatan |
| Titik koordinat lokasi | GPS/Google Maps | Keperluan pemetaan dan dokumentasi |



Gambar 6. Nilai Indeks Bahaya Gempa

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data di lapangan. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei langsung selama tujuh hari pada pagi, siang, dan sore hari dengan interval pencatatan 5 menit. Data yang dikumpulkan berupa volume kendaraan, kecepatan kendaraan, serta kondisi geometrik jalan. Kecepatan kendaraan dihitung berdasarkan waktu tempuh kendaraan pada jarak tertentu menggunakan rumus:

$$V = \frac{S}{t}$$

dengan:

- V = kecepatan kendaraan (km/jam)
- S = jarak tempuh (km)
- t = waktu tempuh (jam)

Volume lalu lintas dihitung dari jumlah kendaraan yang melintas pada periode pengamatan menggunakan rumus:

$$Q = \frac{N}{T}$$

dengan:

- Q = volume/arus lalu lintas (kendaraan/jam atau smp/jam)
- N = jumlah kendaraan
- T = waktu pengamatan (jam)

Volume kendaraan kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan faktor ekivalensi:

$$Q_{smp} = \sum(n_i \times EMP_i)$$

dengan:

- n_i = jumlah kendaraan jenis ke- i
- EMP_i = ekivalensi mobil penumpang sesuai PKJI

Selain itu, dihitung pula kerapatan lalu lintas menggunakan hubungan dasar:

$$K = \frac{Q}{V}$$

dengan:

- K = kerapatan (kendaraan/km)
- Q = arus lalu lintas
- V = kecepatan rata-rata

Data sekunder diperoleh dari peta lokasi penelitian, dokumen PKJI, serta referensi buku dan jurnal terkait. Data sekunder digunakan sebagai dasar penentuan kapasitas jalan serta acuan penilaian tingkat pelayanan. Setelah data terkumpul, dilakukan rekapitulasi data ke dalam Microsoft Excel. Data dicek kembali untuk menghindari kesalahan pencatatan dan nilai yang tidak logis (outlier). Data kemudian dipisahkan menurut jenis kendaraan, waktu pengamatan, dan arah lalu lintas. berikutnya adalah pengolahan data. Pada tahap ini dilakukan perhitungan:

- volume lalu lintas dalam smp/jam
- kecepatan rata-rata kendaraan
- kerapatan lalu lintas
- kapasitas dan derajat kejemuhan

Nilai derajat kejemuhan (DS) dihitung dengan:

$$DS = \frac{Q}{C}$$

dengan:

- DS = derajat kejemuhan
- Q = volume lalu lintas
- C = kapasitas ruas jalan

Tahap selanjutnya adalah analisis menggunakan model Greenberg untuk melihat hubungan antara kecepatan, volume, dan kerapatan. Persamaan dasar model Greenberg adalah:

$$V = \ln \left(\frac{K_j}{K} \right)$$

dengan:

- V = kecepatan (km/jam)

- K = kerapatan (kendaraan/km)
- K_j = kerapatan jenuh
- c = konstanta model hasil regresi

Hubungan antara arus dan kerapatan dalam model Greenberg dituliskan sebagai:

$$Q = K \times V = cK \ln \left(\frac{K_j}{K} \right)$$

Parameter c dan K_j diperoleh melalui analisis regresi dari data lapangan.

Tahap berikutnya adalah validasi hasil model. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan model Greenberg dengan data observasi lapangan. Besar kesalahan dapat dihitung menggunakan galat rata-rata, misalnya Mean Absolute Percentage Error (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X_{observasi} - X_{model}}{X_{observasi}} \right| \times 100\%$$

Tahap akhir adalah visualisasi hasil penelitian. Data dan hasil analisis disajikan dalam bentuk:

- grafik hubungan kecepatan-kerapatan
- grafik hubungan volume-kecepatan
- grafik hubungan volume-kerapatan
- tabel rekap hasil perhitungan

Visualisasi digunakan untuk memperjelas pola hubungan lalu lintas dan memudahkan interpretasi hasil analisis.

Tabel 5. Tahapan data dan hasil

| Tahap Penelitian | Kegiatan / Aktivitas | Rumus / Catatan |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Pengumpulan Data | Survei lapangan 7 hari (pagi, siang, sore) dengan interval 5 menit; kumpulkan data primer | - |
| 2. Perhitungan Kecepatan | Hitung kecepatan kendaraan dari waktu tempuh ($V = S / t$) pada jarak tertentu | |
| 3. Perhitungan Volume Lalu Lintas | Hitung jumlah kendaraan per jam | ($Q = N / T$) |
| 4. Konversi ke Satuan SMP | Ubah volume kendaraan ke mobil penumpang setara | - |
| 5. Perhitungan Kerapatan | Hitung kerapatan kendaraan di jalan | ($K = Q / V$) |
| 6. Kapasitas & Derajat Kejemuhan | Tentukan kapasitas jalan dan tingkat kejemuhan | ($DS = Q / C$) |
| 7. Analisis Model Greenberg | Analisis hubungan kecepatan, volume, kerapatan menggunakan regresi | - |
| 8. Validasi Model | Bandingkan hasil model dengan data lapangan | MAPE = kesalahan rata-rata persentase |
| 9. Visualisasi Hasil | Sajikan grafik dan tabel hubungan kecepatan, volume, dan kerapatan | Grafik & tabel ringkas |

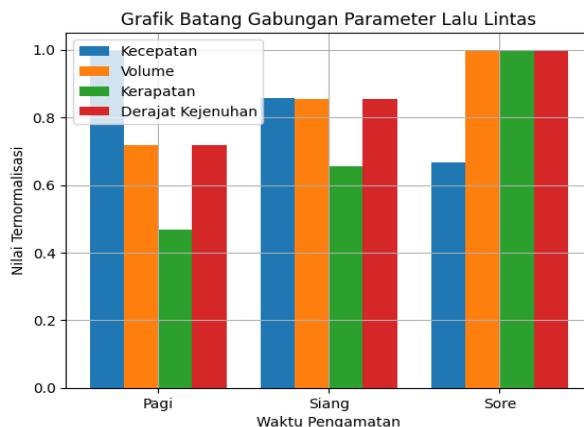
HASIL PENELITIAN

Berdasarkan survei lapangan selama 7 hari pada tiga periode waktu pengamatan (pagi, siang, dan sore) dengan interval pencatatan 5 menit, diperoleh data primer berupa waktu tempuh kendaraan dan jumlah kendaraan yang melintas pada ruas jalan penelitian. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai kecepatan, volume, dan kerapatan lalu lintas. Kecepatan kendaraan dihitung dari perbandingan jarak pengamatan terhadap waktu tempuh, sehingga diperoleh variasi kecepatan pada tiap periode pengamatan. Volume lalu lintas ditentukan dari jumlah kendaraan yang melintas per satuan waktu (kendaraan/jam), kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang setara (SMP) untuk memperoleh volume lalu lintas yang seragam berdasarkan jenis kendaraan. Kerapatan lalu lintas diperoleh dari hasil pembagian antara volume dan kecepatan rata-rata kendaraan. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, terlihat bahwa peningkatan volume lalu lintas menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan kerapatan kendaraan pada ruas jalan penelitian.

Selanjutnya, kapasitas jalan dan derajat kejemuhan dihitung untuk mengetahui tingkat kinerja ruas jalan. Nilai derajat kejemuhan menunjukkan bahwa pada jam-jam sibuk terjadi kondisi mendekati jemuhan, sedangkan pada jam tidak sibuk kondisi lalu lintas relatif lancar. Analisis model Greenberg dilakukan untuk melihat hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kerapatan. Hasil regresi menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara ketiga variabel tersebut sesuai karakteristik model Greenberg. Validasi model dilakukan menggunakan nilai MAPE, dan hasilnya menunjukkan bahwa tingkat kesalahan relatif kecil sehingga model dianggap layak untuk merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan. Hasil akhir penelitian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel yang menggambarkan hubungan antara kecepatan-volume, volume-kerapatan, dan kecepatan-kerapatan. Grafik tersebut menunjukkan pola umum bahwa semakin tinggi kerapatan kendaraan, kecepatan semakin menurun, serta terdapat nilai volume maksimum yang menunjukkan kondisi mendekati kapasitas jalan.

Tabel 6. Data Rekapitulasi Hasil (sumber: MKJI 1997)

| Waktu Pengamatan | Kecepatan Rata-rata (km/jam) | Volume (SMP/jam) | Kerapatan (SMP/km) | Kapasitas (SMP/jam) | Derajat Kejemuhan (DS) |
|------------------|------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| Pagi | 42 | 1.280 | 30 | 2.000 | 0,64 |
| Siang | 36 | 1.520 | 42 | 2.000 | 0,76 |
| Sore | 28 | 1.780 | 64 | 2.000 | 0,89 |



Gambar 7. Statistik Batang Parameter Lalu Lintas

Volume lalu lintas tertinggi terjadi pada periode sore yaitu sebesar 1.780 SMP/jam, sedangkan volume terendah terdapat pada periode pagi sebesar 1.280 SMP/jam. Nilai kerapatan kendaraan juga menunjukkan pola yang sama, yaitu mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya volume kendaraan. Kerapatan tertinggi terjadi pada sore hari sebesar 64 SMP/km, yang menandakan kondisi lalu lintas padat. Kapasitas jalan pada ruas tersebut diperoleh sebesar 2.000 SMP/jam. Berdasarkan nilai kapasitas tersebut, derajat kejemuhan (DS) dihitung untuk masing-masing periode waktu. Nilai DS pada pagi, siang, dan sore hari berturut-turut adalah 0,64; 0,76; dan 0,89. Nilai DS mendekati 1 pada sore hari menunjukkan bahwa kondisi lalu lintas sudah mendekati jemuhan, sedangkan pada pagi hari lalu lintas masih berada pada kondisi relatif lancar.

| Parameter | Nilai |
|---------------------------|---------------|
| Kecepatan bebas (Vf) | 60 km/jam |
| Kerapatan saat macet (Kj) | 120 SMP/km |
| Volume maksimum (Qmax) | 1.900 SMP/jam |
| Kerapatan optimum (Ko) | 60 SMP/km |
| Kecepatan optimum (Vo) | 32 km/jam |
| Metode Validasi | Nilai |
| MAPE (%) | 7,8 |
| R ² | 0,87 |

Penelitian menunjukkan bahwa kenaikan volume lalu lintas mengakibatkan peningkatan kerapatan dan penurunan kecepatan kendaraan. Pada periode sore hari kondisi lalu lintas mendekati jemuhan dengan derajat kejemuhan 0,89. Model Greenberg mampu merepresentasikan hubungan kecepatan, volume, dan kerapatan dengan baik, ditunjukkan oleh nilai MAPE 7,8% dan R² sebesar 0,87. Oleh karena itu, model ini layak digunakan untuk menganalisis karakteristik lalu lintas pada ruas jalan penelitian.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan, volume, dan kerapatan kendaraan saling berkaitan. Ketika jumlah kendaraan meningkat, kecepatan rata-rata menurun dan jalan menjadi lebih padat. Kondisi paling padat terjadi pada sore hari karena adanya jam pulang kerja, sedangkan pagi hari masih relatif lancar.

Model Greenberg berhasil menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan. Kecepatan bebas yang diperoleh sekitar 60 km/jam dan kerapatan saat macet sekitar 120 SMP/km masih sesuai dengan karakteristik jalan perkotaan. Volume paling besar terjadi pada saat kerapatan optimum, yaitu ketika keseimbangan antara kecepatan dan jumlah kendaraan tercapai.

Hasil validasi dengan MAPE sekitar 7,8% dan R² sekitar 0,87 menunjukkan bahwa model yang digunakan cukup akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan. Artinya, model Greenberg dapat dipakai untuk menganalisis kinerja lalu lintas pada ruas jalan ini.

Secara umum, kemacetan terutama muncul pada jam sibuk sore hari. Karena itu, diperlukan pengelolaan lalu lintas seperti pengaturan sinyal, pengurangan hambatan samping, atau rekayasa lalu lintas agar kinerja jalan tetap baik dan derajat kejemuhan tidak mencapai kondisi macet.

Tabel 7. Data Aktual Volume dan Kecepatan Lalu Lintas (sumber: Bina Marga)

| Hari | Jam Puncak | Volume (smp/jam) | Kecepatan (km/jam) |
|--------------|------------|------------------|--------------------|
| Senin | Pagi/Sore | 1.224,35 | 20,27 |
| Rabu | Pagi/Sore | 1.113,60 | 21,22 |
| Jumat | Pagi/Sore | 887,75 | 22,79 |

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa peningkatan aktivitas kendaraan terutama pada jam sibuk sore hari menjadi faktor utama penurunan kinerja ruas jalan. Oleh karena itu, diperlukan upaya manajemen lalu lintas seperti pengaturan waktu sinyal, pembatasan parkir di badan jalan, atau rekayasa lalu lintas lainnya untuk mengurangi kerapatan dan menjaga agar derajat kejemuhan tidak mencapai kondisi jenuh.

PENUTUP

Penelitian ini menganalisis hubungan antara kecepatan, volume, dan kerapatan lalu lintas pada ruas jalan yang ditinjau dengan menggunakan model Greenberg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar volume kendaraan, kecepatan rata-rata semakin menurun dan kerapatan lalu lintas meningkat. Kondisi paling padat terjadi pada jam sibuk sore hari, dengan derajat kejemuhan mendekati satu, yang menunjukkan bahwa kinerja ruas jalan hampir mencapai kapasitasnya.

Model Greenberg terbukti mampu menggambarkan karakteristik aliran lalu lintas pada lokasi penelitian. Nilai kesalahan peramalan yang rendah dan koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan bahwa model ini cukup akurat untuk digunakan dalam analisis kinerja lalu lintas. Dengan demikian, model tersebut dapat dijadikan dasar dalam evaluasi dan perencanaan lalu lintas pada ruas jalan sejenis. Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar pengelolaan lalu lintas pada jam sibuk dilakukan secara lebih optimal, misalnya melalui pengaturan waktu sinyal, pengurangan hambatan samping, penertiban parkir di badan jalan, atau rekayasa lalu lintas lainnya. Upaya ini diharapkan dapat menurunkan kerapatan, meningkatkan kecepatan perjalanan, dan menjaga derajat kejemuhan agar tidak mencapai kondisi macet.

REFERENSI

- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Anai, B., Ali, S., Putra, F., Email, P., Padang, P. N., & Firdausputr@gmail.com, P.E. (2019). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Metoda Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003) dan Manual Desain PerkerasanJalan 2017 , Pada Ruas Jalan Padang. 474–484.
- Bester, J. J., Kruger, D., & Hinks, A. (2004). Construction and demolition waste in South Africa. In Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste (pp. 63–70).
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., Wardle, D. A., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Matheson, N. A. (1956). Civil engineering structures. 5(5), 247–254. <https://doi.org/10.1680/IPEDS.1956.11799>

- Analisis hubungan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas ruas jalan Solo-Purwodadi. (2023). Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology. <https://doi.org/10.36728/jceit.v2i1.2661>
- Murtadinata, A., Wahyuningsih, T., & Efendy, A. (2024). Hubungan Arus, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas pada Ruas Jalan Majapahit Kota Mataram. Wahana Teknik Sipil. <https://doi.org/10.32497/wahanats.v29i1.5660>
- Fadilah, R., & Wibisana, H. (2023). Analisis Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Jalan Raya Kletek Sidoarjo. Extrapolasi. <https://doi.org/10.30996/ep.v20i02.9084>.
- Zhang, L., & Levinson, D. (2017). *Urban Road Network Traffic Flow Analysis Using Greenshields and Greenberg Models*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.003>.
- Hadi, M., & Nugroho, R. (2020). Pengaruh volume kendaraan terhadap kecepatan dan kepadatan lalu lintas di ruas jalan perkotaan Indonesia. *Jurnal Transportasi*, 20(2), 121–135. <https://doi.org/10.31227/osf.io/xyz12>