

# KAJIAN EMPIRIS HUBUNGAN PLATOON, JARAK ANTAR KENDARAAN DAN KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN

Bayu Martanto Adji<sup>1\*</sup>, Hendra Gunawan<sup>1</sup>, Krisna Monica<sup>1</sup> and Nur Aurellia Fatinah Luthf<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Andalas University, Padang, Indonesia

\*E-mail: bayu@eng.unand.ac.id

Received: 12 May 2026

Accepted: 19 June 2026

Published: 30 June 2026

## Abstrak

Penelitian ini menganalisis karakteristik lalu lintas pada koridor jalan arteri primer Padang–Bukittinggi dengan fokus pada fenomena platoon kendaraan, jarak antar kendaraan (spacing), dan jarak pandang henti (JPH) sebagai indikator keselamatan operasional. Data diperoleh melalui survei lapangan menggunakan rekaman video pada ruas Jalan Raya Padang–Bukittinggi Km 32, dengan identifikasi klasifikasi kendaraan, kecepatan, dan formasi platoon berdasarkan pendekatan critical headway  $\leq 2.5$  detik. Hasil Arus lalu lintas Padang–Bukittinggi didominasi kendaraan ringan lebih dari 70%, kendaraan berat sedang 25%, truk dan bus besar kurang dari 3%. Distribusi kecepatan kendaraan dalam platoon didominasi 40–60 km/jam, meningkatkan kapasitas tetapi menurunkan keselamatan karena jarak rapat dan JPH pendek. Mayoritas kendaraan dalam platoon di Padang–Bukittinggi dan Bukittinggi–Padang bergerak dengan JPH  $\leq 180$  m, sesuai kecepatan rendah–menengah namun berisiko tinggi. Mayoritas kendaraan dalam platoon di Padang–Bukittinggi dan Bukittinggi–Padang memiliki spacing tidak aman, 81,9% dan 66,5%, rata rata 26–29 m. Rata rata spacing kendaraan Padang–Bukittinggi 26,88 m dan Bukittinggi–Padang 28,57 m, sesuai  $< 40$  km/jam, namun dominasi kecepatan 40–60 km/jam berisiko keselamatan.

**Kata Kunci:** Headway, Jarak pandang henti, Platoon kendaraan, Spacing, keselamatan lalu lintas

## Abstract

*This study analyzes traffic characteristics along the Padang–Bukittinggi primary arterial corridor, focusing on vehicle platooning, spacing, and stopping sight distance (SSD) as operational safety indicators. Field data were collected through video recordings at Km 32, with vehicle classification, speed, and platoon formation identified using a critical headway threshold of  $\leq 2.5$  seconds. Traffic flow is dominated by light vehicles ( $> 70\%$ ), with medium heavy vehicles accounting for 25%, and large trucks and buses contributing less than 3%. Speed distribution within platoons is concentrated in the 40–60 km/h range, which increases capacity but reduces safety due to short spacing and insufficient SSD. Most vehicles in platoons operate with SSD  $\leq 180$  m, suitable for low–medium speeds but unsafe at higher speeds due to reduced safety margins. Unsafe spacing is prevalent, with 81.9% of vehicles in the Padang–Bukittinggi direction and 66.5% in the Bukittinggi–Padang direction, averaging only 26–29 m. Average spacing values of 26.88 m (Padang–Bukittinggi) and 28.57 m (Bukittinggi–Padang) correspond to speeds below 40 km/h. However, the dominant operating speeds are 40–60 km/h, highlighting a mismatch between actual spacing and safety requirements. This condition reflects dense traffic dominated by light vehicles, where drivers maintain short gaps to sustain flow, but at the expense of operational safety.*

**Keywords:** Headway, Spacing, Stopping sight distance, Traffic safety, Vehicle platoon

**To cite this article:**

Bayu Martanto Adji et al. (2026). Kajian Empiris Hubungan Platoon, Jarak Antar Kendaraan dan Keselamatan Transportasi Jalan. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*, Vol. (07), No.02, pp: 19-30.

---

## **PENDAHULUAN**

Jalan arteri primer di Indonesia ditetapkan memiliki standar teknis dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam dan lebar badan jalan paling sedikit 11-meter sesuai ketentuan regulasi [1], [2], mempunyai kapasitas yang lebih besar dari volume lalu lintas rata – rata, pada jalan arteri lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal. Jalan arteri primer yang memasuki kawasan perkotaan dan atau kawasan pengembangan perkotaan tidak boleh terputus. Jalan arteri primer Padang–Bukittinggi merupakan salah satu koridor utama di Sumatera Barat yang memiliki intensitas lalu lintas tinggi, baik kendaraan ringan maupun berat. Kondisi topografi yang bervariasi, ditambah dengan aktivitas samping jalan, menjadikan aspek keselamatan lalu lintas sebagai isu penting dalam perencanaan dan pengelolaan.

Menurut Kasi dan Karuppanan, sekitar 74% kendaraan di jalan arteri perkotaan cenderung membentuk platoon dengan nilai *critical headway* hingga 10 detik sebagai indikator keanggotaan platoon [3]. Konsep platoon kendaraan—yakni formasi kendaraan yang bergerak beriringan dengan jarak headway rapat—menjadi relevan untuk dianalisis pada ruas arteri ini. Platoon dapat meningkatkan kapasitas jalan dan efisiensi arus lalu lintas, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan bila jarak antar kendaraan terlalu kecil (*unsafe spacing*). Oleh karena itu, kajian mengenai headway aman dalam platoon perlu dikaitkan dengan kondisi nyata di jalan arteri Padang–Bukittinggi.

Selain itu, faktor jarak pandang henti (JH) merupakan parameter penting dalam desain geometrik jalan. JH menentukan kemampuan pengemudi untuk melihat objek di depan dan menghentikan kendaraan tepat waktu guna menghindari tabrakan. Pada jalan arteri primer dengan kecepatan rencana relatif tinggi (60–80 km/jam), JH minimum harus dipenuhi sesuai pedoman Bina Marga agar keselamatan tetap terjamin. Jika JH tidak tercapai—misalnya akibat tikungan tajam, tanjakan, atau hambatan visual—maka risiko kecelakaan meningkat, terutama dalam kondisi lalu lintas padat dengan formasi platoon.

## **KAJIAN PUSTAKA**

Dalam penelitian ini, tiga parameter utama yang dianalisis adalah klasifikasi kendaraan, formasi platoon, dan jarak pandang henti (JPH). Klasifikasi kendaraan penting karena setiap jenis—mobil penumpang, sepeda motor, bus, dan truk—memiliki karakteristik berbeda yang memengaruhi kapasitas jalan dan kebutuhan jarak aman. Formasi platoon, yaitu kelompok kendaraan dengan headway rapat, sering muncul pada jalan arteri primer dengan volume tinggi dan berpotensi menimbulkan *unsafe spacing*. Sementara itu, JPH merupakan indikator keselamatan yang menentukan kemampuan pengemudi untuk menghentikan kendaraan tepat waktu. Pada kecepatan rencana 60–80 km/jam, PKJI 2023 menetapkan JPH minimum 75–120 m, sehingga evaluasi kondisi geometrik, hambatan visual, dan interaksi antar kendaraan dalam platoon menjadi relevan untuk keselamatan lalu lintas [4]. Dengan mengintegrasikan ketiga parameter ini, penelitian memberikan gambaran komprehensif mengenai hubungan klasifikasi kendaraan, dinamika platoon, dan kecukupan JPH pada koridor arteri Padang–Bukittinggi ([4]; [5].

## Ruas Jalan Padang-Bukittinggi sebagai Jalan Arteri Primer

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 248/KPTS/M/2015 tentang Penetapan Ruas Jalan dalam Jaringan Jalan Primer menurut fungsinya sebagai Jalan Arteri (JAP) dan Jalan Kolektor-1 (JKP-1) [6], maka ruas jalan yang menjadi objek penelitian adalah Jalan Nasional Lubuk Alung – Simpang Duku dengan nomor ruas 026. Ruas ini memiliki panjang 13,49 km dan ditetapkan berfungsi sebagai Jalan Arteri (JAP).

Status sebagai jalan nasional sekaligus arteri primer menunjukkan bahwa ruas ini memiliki peran strategis dalam mendukung mobilitas regional, menghubungkan pusat-pusat kegiatan ekonomi, serta menjadi jalur utama distribusi barang dan jasa di Sumatera Barat. Dengan karakteristik tersebut, analisis terhadap klasifikasi kendaraan, formasi platoon, serta kecukupan jarak pandang henti pada ruas ini menjadi penting untuk memastikan keselamatan dan efisiensi lalu lintas sesuai standar perencanaan geometrik jalan.

### Klasifikasi Kendaraan

Menurut PKJI 2023[4], pada jalan luar kota kendaraan dibagi menjadi 5 tipe, yaitu Kendaraan Ringan (Light Vehicles = LV), adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan 4 roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m, meliputi: mobil penumpang, oplet, microbus, pick – up dan truk kecil sesuai klasifikasi Bina Marga. Kendaraan Berat Menengah (Medium Heavy Vehicles = MHV), Adalah kendaraan bermotor dengan lebih dari 4 roda, meliputi: bis, truk 2 as, truk 3 as dan truk kombinasi sesuai klasifikasi Bina Marga. Truk Besar (Large Truck= LT), adalah truk tiga gandar dan truk kombinasi dengan jarak gandar (gandar pertama ke kedua) < 3.5 m sesuai sistem klasifikasi Bina Marga. Bis Besar (Large Bus= LB), Adalah Bis dengan dua atau tiga gandar dengan jarak as 5.0 – 6.0 m. Sepeda motor (Motor Cycle = MC), adalah kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda 3.

### Platoon

Platoon kendaraan didefinisikan sebagai formasi kendaraan yang bergerak beriringan dengan jarak antar kendaraan yang rapat, biasanya menggunakan koordinasi digital melalui sistem komunikasi *vehicle-to-vehicle* (V2V) untuk meningkatkan kapasitas jalan dan keselamatan lalu lintas [7]. PKJI 2023 [4]menekankan bahwa fenomena platoon tercermin melalui parameter headway, derajat kejenuhan, dan komposisi lalu lintas yang digunakan untuk menilai kapasitas serta kinerja jalan arteri maupun kolektor.

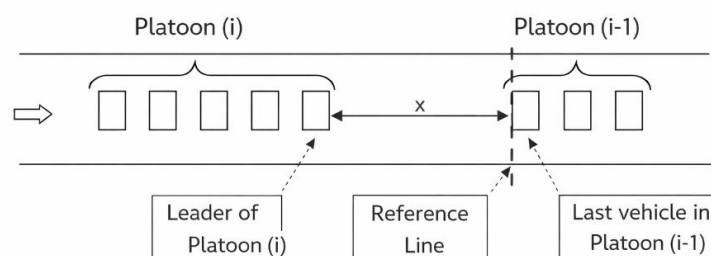


Figure 1. Skema interplatoon

Studi menunjukkan bahwa headway <1 detik dapat membuat jarak antar kendaraan lebih pendek daripada JPH standar, sehingga ruang reaksi pengemudi berkurang dan risiko tabrakan meningkat [8].

## Headway dan Spacing

Headway adalah jarak waktu antar kendaraan pada jalur yang sama. Semakin kecil nilai headway, frekuensi kendaraan semakin tinggi sehingga waktu tunggu rendah, namun kondisi ini dapat menimbulkan gangguan lalu lintas karena jarak aman berkurang. Menurut PKJI 2023, headway merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kapasitas dan kinerja jalan arteri maupun kolektor, terutama untuk mengidentifikasi fenomena platoon dan tingkat kejenuhan arus [5]. Headway yang terlalu kecil meningkatkan risiko unsafe spacing dan memperbesar kemungkinan tabrakan beruntun. Headway yang terlalu kecil memang meningkatkan kapasitas, namun dapat membuat jarak antar kendaraan lebih pendek daripada JPH yang dipersyaratkan sehingga mengurangi ruang reaksi pengemudi. PKJI 2023 [4] menegaskan bahwa JPH harus disediakan sesuai kecepatan rencana, misalnya 120 m pada 80 km/jam. Studi internasional seperti AASHTO Green Book, 2018 [9]

Spacing adalah jarak antara kendaraan beriringan dalam arus lalu lintas, diukur dari titik yang sama dalam setiap kendaraan. Spacing adalah jarak antar kendaraan beriringan dalam arus lalu lintas, diukur dari titik yang sama pada setiap kendaraan. Parameter ini melengkapi analisis headway karena menggambarkan ruang fisik antar kendaraan. Spacing biasanya diukur dari bumper depan kendaraan di depan hingga bumper depan kendaraan berikutnya, sebagaimana ditunjukkan pada ilustrasi geometrik lalu lintas [4].

Spacing melengkapi tinjauan tentang headway karena menggambarkan ruang yang sama, spacing diukur dari bumper depan dari kendaraan di depan dengan bumper depan kendaraan berikutnya, dapat dilihat seperti gambar 2



**Figure 2.** Konsep clearace, gap dan spacing dan headway

## Jarak Pandang Henti

Jarak Pandang Henti (JPH) adalah jarak minimum yang harus tersedia agar pengemudi dapat melihat hambatan di depannya dan menghentikan kendaraan dengan aman. Menurut PKJI 2023 [4], JPH dihitung dari kombinasi jarak reaksi pengemudi dan jarak pengereman, serta menjadi parameter utama dalam desain geometrik jalan. Penelitian terbaru oleh Kumar et al. (2025) menunjukkan bahwa pada kondisi lalu lintas campuran, SSD aktual sering kali lebih pendek dari standar, sehingga evaluasi lapangan terhadap visibilitas dan kondisi geometrik sangat penting untuk menjamin keselamatan lalu lintas.

Untuk jalan datar [9]:

$$Jh = 0,278 \cdot Vr \cdot T + \frac{Vr^2}{254 \cdot fp} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $V_r$  = Kecepatan rencana ( km/jam)  
 $T$  = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik  
 $f_p$  = Koefisien gesek memanjang antara ban kendaraan perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,28-0,45

Dalam PKJI 2023 [4](Tabel 1) menunjukkan hubungan langsung antara kecepatan rencana dengan jarak pandang henti yang harus tersedia agar kendaraan dapat berhenti dengan aman. Semakin tinggi kecepatan, semakin panjang jarak pandang henti yang dibutuhkan karena jarak pengereman meningkat secara kuadrat terhadap kecepatan. Misalnya, pada kecepatan rencana 80 km/jam diperlukan jarak pandang henti minimum 120 m, sedangkan pada kecepatan 20 km/jam cukup 15 m. Hal ini menegaskan bahwa desain geometrik jalan harus mempertimbangkan jarak pandang henti sesuai kecepatan rencana agar keselamatan tetap terjaga (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

**Tabel 1.** Jarak Pandang Henti Minimum [4]

| Kecepatan Rencana (km/jam) | 80  | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
|----------------------------|-----|----|----|----|----|----|
| Jarak Pandangan Henti (m)  | 120 | 75 | 55 | 40 | 25 | 15 |

Standar internasional juga menekankan hal serupa. AASHTO Green Book (2023) menyatakan bahwa Stopping Sight Distance (SSD) terdiri atas jarak reaksi pengemudi dan jarak pengereman, dengan waktu reaksi standar 2,5 detik. Rumus SSD memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan secara signifikan memperbesar kebutuhan jarak pandang henti. Dengan demikian, baik acuan nasional maupun internasional menegaskan pentingnya penyediaan jarak pandang henti minimum sesuai kecepatan rencana untuk menjamin keselamatan lalu lintas[9].

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dilaksanakan pada koridor jalan arteri primer Padang–Bukittinggi yang memiliki karakteristik lalu lintas padat dan heterogen, terdiri atas kendaraan ringan, berat, dan sepeda motor. Lokasi ini dipilih karena kondisi geometrik jalan yang bervariasi, seperti kelandaian dan tikungan, serta intensitas interaksi antar kendaraan yang tinggi, sehingga relevan untuk analisis pembentukan platoon, jarak pandang henti, dan jarak aman di belakang kendaraan. Adapun lokasi yang dipilih adalah salah satu ruas jalan yang ada di Jalan Raya Padang – Bukittinggi KM. 32 Kampung Sabalah Nagari Balah Hilia Lubuk Alung Propinsi Sumatera Barat.

### Pelaksanaan Survey

Pengumpulan data dilakukan melalui rekaman video lapangan menggunakan handycam yang ditempatkan pada titik pengamatan dengan jarak antar patok 50 meter (Gambar 3). Rekaman ini digunakan untuk mengidentifikasi klasifikasi kendaraan, formasi *platoon*, jarak antar kendaraan (*spacing*), waktu antar kendaraan (*headway*), serta jarak pandang henti berdasarkan kecepatan aktual dan kondisi geometrik jalan. Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis seperti pedoman Bina Marga (2017), TRB HCM (2010), serta literatur penelitian terbaru yang relevan.

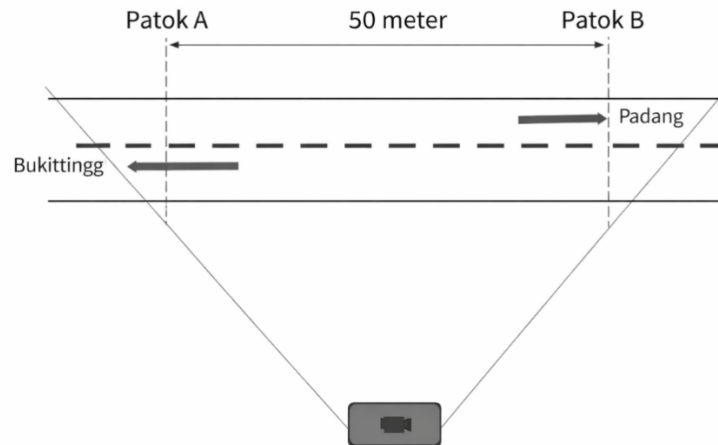


Figure 3. Sket Penempatan Handycam

## Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan tahapan identifikasi platoon menggunakan pendekatan critical headway ( $\leq 2.5$  detik untuk lalu lintas heterogen)[10], perhitungan jarak aman di belakang kendaraan dalam formasi platoon dengan mempertimbangkan kecepatan rata-rata dan waktu reaksi pengemudi, serta evaluasi jarak pandang henti terhadap kondisi aktual lapangan untuk menilai kesesuaian dengan standar keselamatan. Selanjutnya dilakukan korelasi antar variabel kecepatan, headway, jarak pandang henti, dan jarak aman untuk menentukan pengaruh pembentukan platoon terhadap keselamatan dan kapasitas jalan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel klasifikasi kendaraan yang ditampilkan, bila disesuaikan dengan **PKJI 2023**, memberikan gambaran tentang kategori kendaraan yang digunakan dalam analisis kapasitas jalan dan pembentukan *platoon*. Dalam pedoman terbaru ini, kendaraan dibagi ke dalam beberapa kelompok utama, yaitu **kendaraan ringan (LV)**, **kendaraan berat menengah (MHV)**, **truk besar (LT)**, dan **bus besar (LB)**. Selain itu, PKJI 2023 menambahkan kategori penting yaitu **sepeda motor (MC)**, yang sebelumnya tidak dijelaskan secara eksplisit dalam MKJI 1997, mengingat dominasi sepeda motor dalam arus lalu lintas di Indonesia.

Kendaraan ringan (LV) tetap menjadi satuan dasar dalam perhitungan ekuivalensi mobil penumpang ( $EMP = 1$ ), karena jumlahnya paling dominan dalam arus lalu lintas. Kendaraan berat menengah (MHV) dan truk besar (LT) memiliki nilai EMP lebih tinggi, mencerminkan pengaruhnya terhadap kapasitas jalan yang lebih besar akibat dimensi dan kecepatan yang lebih rendah. Bus besar (LB) juga dikategorikan terpisah karena karakteristik pergerakan dan kebutuhan ruang yang berbeda. Sementara itu, sepeda motor (MC) dalam PKJI 2023 diberi bobot khusus karena jumlahnya yang signifikan dan pengaruhnya terhadap kepadatan serta pola *headway*[4].

Tabel 2. Distribusi Jumlah Kendaraan Dalam Platoon

| Arah                 | Kendaraan Ringan (R) | Kendaraan Berat Menengah (M) | Truk Besar (T) | Bus Besar (B) | Total |
|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------|---------------|-------|
| Padang – Bukittinggi | 1.804                | 596                          | 54             | 8             | 2.462 |

| Arah                 | Kendaraan Ringan (R) | Kendaraan Berat Menengah (M) | Truk Besar (T) | Bus Besar (B) | Total        |
|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Bukittinggi – Padang | 1.627                | 579                          | 53             | 9             | 2.268        |
| <b>Jumlah Total</b>  | <b>3.431</b>         | <b>1.175</b>                 | <b>107</b>     | <b>17</b>     | <b>4.730</b> |

Berdasarkan data distribusi jumlah kendaraan dalam platoon pada ruas Padang–Bukittinggi dan Bukittinggi–Padang, total kendaraan yang tercatat adalah 4.700 unit. Dari jumlah tersebut, kendaraan ringan mendominasi dengan 3.431-unit atau sekitar 73,0% dari keseluruhan. Kendaraan berat sedang menempati posisi kedua dengan 1.175-unit (25,0%), sedangkan truk besar hanya 107-unit (2,3%) dan bus besar sebanyak 17 unit (0,4%).

Jika dilihat per arah, pada jalur Padang–Bukittinggi jumlah kendaraan ringan mencapai 1.804 unit (74,1%), kendaraan berat sedang 596 unit (24,5%), truk besar 54 unit (2,2%), dan bus besar 8 unit (0,3%). Sementara pada jalur Bukittinggi–Padang, kendaraan ringan tercatat 1.627 unit (72,9%), kendaraan berat sedang 579 unit (26,0%), truk besar 53 unit (2,4%), dan bus besar 9 unit (0,4%).

Distribusi ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas di kedua arah didominasi oleh kendaraan ringan dengan kontribusi lebih dari 70%, sedangkan kendaraan berat sedang menjadi kelompok kedua terbesar sekitar seperempat dari total arus. Truk besar dan bus besar hanya menyumbang porsi kecil (<3%) secara keseluruhan. Temuan ini sesuai dengan profil lalu lintas Balitbanghub (2020), yang menyebutkan bahwa arus kendaraan di koridor Sumatera Barat mayoritas terdiri dari kendaraan ringan lebih dari 65% dari total LHR.

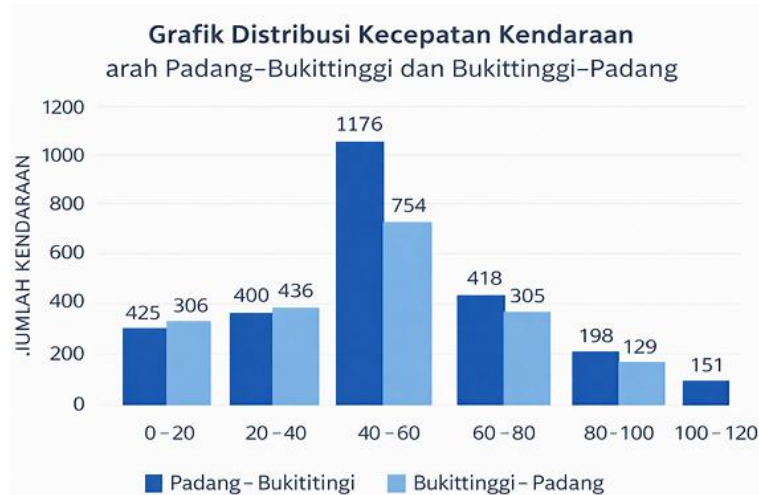
Pola dominasi kendaraan ringan dalam platoon telah banyak dilaporkan dalam literatur lalu lintas heterogen. Studi terbaru oleh menunjukkan bahwa jenis kendaraan dan kemampuan akselerasi merupakan faktor dominan dalam pembentukan platoon, di mana kendaraan kecil lebih sering menjadi inti kelompok karena lebih responsif terhadap perubahan kecepatan dibanding kendaraan berat [11]. Temuan ini diperkuat oleh Zhou et al. (2023) yang menegaskan bahwa kendaraan ringan lebih mudah mencapai konsensus kecepatan dalam platoon karena kemampuan akselerasi yang lebih tinggi [12].

Implikasinya, karakteristik platoon pada ruas Padang–Bukittinggi lebih banyak dipengaruhi oleh kendaraan ringan, sehingga analisis perilaku lalu lintas seperti headway, jarak aman, dan jarak pandang henti (JPH) menjadi sangat sensitif terhadap perilaku pengemudi kendaraan kecil. Menurut PKJI (2023), dominasi kendaraan ringan meningkatkan variabilitas waktu reaksi dan mempengaruhi jarak pandang henti operasional, karena kendaraan ringan cenderung mempertahankan jarak yang lebih pendek dibanding kendaraan berat pada kecepatan tinggi [4].

Berdasarkan Figure 4, distribusi kecepatan kendaraan dalam platoon di ruas Padang–Bukittinggi dan Bukittinggi–Padang menunjukkan pola khas lalu lintas arteri dua arah di kawasan berbukit. Arah Padang–Bukittinggi mendominasi dengan jumlah kendaraan terbesar pada interval 40–60 km/jam sebanyak 1.176 unit, diikuti oleh arah sebaliknya Bukittinggi–Padang sebanyak 754-unit pada kisaran kecepatan yang sama. Pola ini menunjukkan bahwa sebagian besar kendaraan bergerak pada kecepatan sedang, mencerminkan kondisi lalu lintas padat dan pembentukan platoon akibat keterbatasan kesempatan mendahului serta lebar ruang lalu lintas yang sempit. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Güzey pada tahun 2024, yang mengembangkan kontrol gabungan kecepatan dan jarak antar kendaraan untuk mengoptimalkan sinkronisasi platoon, di mana kendaraan ringan lebih mudah mempertahankan jarak rapat dan konsensus kecepatan [13]. Fenomena dominasi kecepatan sedang ini sejalan dengan hasil studi Sun dkk pada tahun 2022, yang menemukan bahwa pada arus lalu lintas campuran dengan platoon kendaraan terhubung, kecepatan rata-rata berada pada



kisaran 50–70 km/jam. Interaksi kendaraan konvensional menunjukkan kecenderungan mempertahankan jarak pendek ( $< 50$  m), kondisi yang meningkatkan risiko shockwave braking ketika terjadi penurunan kecepatan mendadak, sehingga berimplikasi pada stabilitas arus lalu lintas di koridor berbukit [14].



**Figure 4.** Grafik Distribusi Kecepatan Kendaraan

Hasil distribusi kecepatan pada arah Padang–Bukittinggi menggambarkan bahwa platoon kendaraan terbentuk secara alami akibat kepadatan lalu lintas dan kondisi geometrik, serta masih berada dalam rentang kecepatan wajar untuk jalan arteri berbukit dengan kecepatan rencana 60 km/jam sebagaimana diatur dalam PKJI (2023)[4]. Namun, jarak antar kendaraan yang rapat dan keterbatasan pandang henti membuat seluruh sistem operasi lalu lintas di segmen ini memiliki potensi risiko keselamatan tinggi.

Untuk mendapatkan **jarak pandang henti (JPH)** kendaraan *follower* dalam *platoon*, dilakukan pengukuran berdasarkan **jarak pandang efektif antara kendaraan pengikut dan kendaraan di depannya (leader)** pada kondisi arus bergerak stabil. Nilai JPH diperoleh dari hasil observasi lapangan menggunakan kombinasi **rekaman video** dan pengolahan data kecepatan serta jarak antar kendaraan. Prosesnya melibatkan identifikasi formasi *platoon* melalui analisis *headway*  $< 2.5$  detik antar kendaraan, penentuan posisi kendaraan leader dan follower menggunakan koordinat longitudinal dari rekaman video, perhitungan JPH dengan rumus.

**Tabel 3** menunjukkan Distribusi Jarak Pandang Henti dalam Platoon arah Padang – Bukittinggi. Dari analisis karakteristik data diperoleh, nilai maksimum JPH adalah **898,057 m** dan minimum **0,301 m**, dengan rentang **897,757 m**. Dari **2.462 data**, rata-rata JPH kendaraan *follower* dalam *platoon* arah Padang–Bukittinggi tercatat **108,13 m**. Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa Distribusi frekuensi memperlihatkan dominasi sangat besar pada interval 0–180 m (95,82 %), yang berarti sebagian besar kendaraan bergerak dengan jarak pandang henti relatif pendek. Kondisi ini meningkatkan kapasitas jalan karena headway rapat, tetapi menurunkan margin keselamatan bila terjadi hambatan mendadak.

**Tabel 3.** Distribusi Jarak Pandang Henti dalam Platoon arah Padang – Bukittinggi

| Interval JPH (m) | Titik Tengah (m) | Frekuensi JPH | Frekuensi Data (%) |
|------------------|------------------|---------------|--------------------|
| 0 – 180          | 90               | 2 359         | 95.82              |
| 180 – 360        | 270              | 39            | 1.58               |



| Interval JPH (m) | Titik Tengah (m) | Frekuensi JPH | Frekuensi Data (%) |
|------------------|------------------|---------------|--------------------|
| 360 – 540        | 450              | 9             | 0.37               |
| 540 – 720        | 630              | 29            | 1.18               |
| 720 – 900        | 810              | 26            | 1.06               |
| Total            |                  | 2462          | 100                |

**Tabel 4** menunjukkan Distribusi Jarak Pandang Henti dalam Platoon arah Bukittinggi – Padang. Dari analisis karakteristik data diperoleh, nilai maksimum 890,699 dan minimum 0,065, dengan rentang 890,634. Dari 2.267 data, rata-rata JPH adalah 115,17 m. 91,49% kendaraan berada pada interval 0–180 m. Hanya kurang dari 2% kendaraan yang memiliki JPH lebih dari 360 m.

**Tabel 4.** Distribusi Jarak Pandang Henti Minimum dalam Platoon arah Bukittinggi - Padang

| Interval jph (m) | Titik Tengah | Frekuensi jph | Frekuensi Data (%) |
|------------------|--------------|---------------|--------------------|
| 0 – 180          | 90           | 2.074         | 91,49              |
| 180 – 360        | 270          | 121           | 5,34               |
| 360 – 540        | 450          | 29            | 1,28               |
| 540 – 720        | 630          | 34            | 1,50               |
| 720 – 900        | 810          | 9             | 0,40               |
| Total            |              | 2267          | 100                |

Kedua tabel di atas mendeskripsikan hal yang sama, yaitu mayoritas kendaraan dalam platoon bergerak dengan JPH pendek ( $\leq 180$  m). Kondisi ini sesuai untuk kecepatan rendah–menengah (40–60 km/jam), tetapi tidak aman untuk kecepatan tinggi karena margin keselamatan berkurang drastis bila terjadi hambatan mendadak. Dominasi kendaraan ringan dalam interval JPH pendek mencerminkan karakteristik arus heterogen di jalan arteri berbukit, di mana mobil penumpang dan sepeda motor cenderung membentuk platoon rapat akibat keterbatasan ruang mendahului.

Fenomena ini sejalan dengan Hu dan dkk pada tahun 2026, yang menemukan bahwa kendaraan konvensional dalam arus campuran cenderung mempertahankan jarak antar kendaraan pendek untuk menjaga efisiensi arus, terutama pada kecepatan menengah[15]. Samson et al. (2022), yang menegaskan bahwa variasi perilaku pengemudi kendaraan ringan menyebabkan perbedaan signifikan pada parameter *stopping sight distance*, sehingga jarak pandang henti aktual sering kali lebih pendek dari standar keselamatan geometrik[16].

Untuk menentukan apakah **spacing kendaraan follower dalam platoon** aman atau tidak aman, analisis dilakukan dengan membandingkan **jarak antar kendaraan aktual (spacing)** dengan **jarak pandang henti (JPH)** yang dihitung berdasarkan kecepatan dan kondisi jalan. Penentuan **spacing aman atau tidak aman kendaraan follower dalam platoon** dilakukan dengan membandingkan nilai **spacing aktual** dengan **jarak pandang henti (JPH)** kendaraan tersebut. Jika **spacing  $\geq$  JPH**, maka kondisi dikategorikan **aman**, karena kendaraan follower memiliki ruang cukup untuk berhenti bila kendaraan leader melakukan pengereman mendadak. Sebaliknya, jika **spacing  $<$  JPH**, maka kondisi dikategorikan **tidak aman**, karena jarak antar kendaraan terlalu pendek sehingga margin keselamatan berkurang drastis. Dengan demikian, JPH berfungsi sebagai ambang batas keselamatan: semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar nilai JPH yang dibutuhkan, dan semakin besar pula kemungkinan spacing aktual berada di bawah ambang aman.

Data pada tabel 5, menggambarkan distribusi jarak antar kendaraan (spacing) yang tergolong tidak aman dalam platoon di koridor Padang–Bukittinggi. Dari **2.016 data**, diperoleh nilai maksimum **191,538 m**, minimum **0,015 m**, dan rentang **191,524 m**. Distribusi frekuensi memperlihatkan bahwa **97,82 %** kendaraan memiliki *spacing* antara **0–50 m**, sedangkan sisanya tersebar pada interval lebih panjang hingga 200 m.

Nilai **rata-rata spacing tidak aman sebesar 26,88 m** menunjukkan bahwa mayoritas kendaraan dalam *platoon* bergerak dengan jarak antar kendaraan yang sangat rapat. Kondisi ini mencerminkan **arus lalu lintas padat dengan dominasi kendaraan ringan**, di mana pengemudi cenderung mempertahankan jarak pendek untuk menjaga kelancaran arus pada kecepatan rendah–menengah (40–60 km/jam). Namun, jarak rata-rata yang kecil ini juga menandakan **penurunan margin keselamatan**, karena pada kecepatan tinggi jarak 26–30 m tidak cukup untuk melakukan pengereman aman bila terjadi hambatan mendadak. Berdasarkan studi Lee dkk pada tahun 2021 yang menatakan peningkatan formasi *platoon* memang dapat meningkatkan efisiensi arus, namun berpotensi menurunkan keselamatan lateral pada kondisi jarak antar kendaraan yang terlalu rapat [17].

**Tabel 5.** Distribusi spacing tidak aman kendaraan dalam Platoon arah Padang – Bukittinggi

| Interval Spacing (m) | Titik Tengah (m) | Frekuensi Spacing | Frekuensi Data (%) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 0 – 50               | 25               | 1 972             | 97.82              |
| 50 – 100             | 75               | 17                | 0.84               |
| 100 – 150            | 125              | 22                | 1.09               |
| 150 – 200            | 175              | 5                 | 0.25               |
| <b>Total</b>         |                  | <b>2 016</b>      | <b>100</b>         |

Tabel 6 menggambarkan distribusi jarak antar kendaraan (spacing) yang tergolong tidak aman dalam platoon arah Bukittinggi–Padang. Dari total 1.570 data, terlihat bahwa 94,97 % kendaraan memiliki jarak antar kendaraan 0–50 m, sedangkan hanya sebagian kecil (sekitar 5 %) yang memiliki jarak lebih dari 50 m. Nilai rata-rata spacing sebesar **28,57 m** menunjukkan bahwa mayoritas pengemudi mempertahankan jarak antar kendaraan yang sangat rapat, mencerminkan **arus lalu lintas padat dengan dominasi kendaraan ringan**. Kondisi ini meningkatkan kapasitas jalan, tetapi menurunkan margin keselamatan bila terjadi hambatan mendadak.

Jika dilihat pada tabel 3, untuk arah Padang – Bukittinggi jumlah kendaraan adalah 2462, sedang pada tabel 5 jumlah kendaraan yang memiliki spacing tidak aman sebanyak 2016 kendaran, ini artinya dari jumlah kendaraan arah Padang – Bukittinggi dalam platoon, artinya hanya sebanyak 446 (18.1%) kendaraan yang memiliki spacing yang aman, 81.9% memiliki spacing yang tidak aman. Begitu juga dengan arah, tabel 4 menggambarkan jumlah kendaran dalam olatoon sebanyak 2267 kendaran, Tabel 6 menggambarkan distribusi jarak antar kendaraan (spacing) yang tergolong tidak aman sebanyak 1570 kendaraan, artinya sebanyak 760 (33.5%) kendaraan yang memiliki spacing yang aman. 66.5% kendaraan memiliki spacing ynag tidak aman.

**Tabel 6** Distribusi spacing tidak aman kendaraan dalam Platoon arah Bukittinggi–Padang

| Interval Spacing (m) | Titik Tengah (m) | Frekuensi Spacing | Frekuensi Data (%) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 0 – 50               | 25               | 1 491             | 94.97              |

|              |     |             |            |
|--------------|-----|-------------|------------|
| 50 – 100     | 75  | 53          | 3.38       |
| 100 – 150    | 125 | 19          | 1.21       |
| 150 – 200    | 175 | 7           | 0.45       |
| <b>Total</b> | —   | <b>1570</b> | <b>100</b> |

Rata-rata Spacing kendaraan arah Padang – Bukittinggi sebesar 26,88 m, sedangkan arah Bukittinggi–Padang sebesar 28,57 m. Dengan dua nilai spacing itu seharusnya kecepatan kendaraan < 40 km/jam [4]. Sedangkan dari Figure 4 diperoleh frekwensi terbanyak kecepatan kendaraan antara 40-60 km/jam.

## KESIMPULAN

Arus lalu lintas di ruas Padang–Bukittinggi dan Bukittinggi–Padang didominasi kendaraan ringan lebih dari 70%, sementara kendaraan berat sedang sekitar seperempat total arus. Truk besar dan bus besar hanya menyumbang kurang dari 3%. Dominasi kendaraan ringan membuat karakteristik platoon, headway, dan JPH sangat dipengaruhi perilaku pengemudi kendaraan kecil.

Distribusi kecepatan kendaraan dalam platoon di kedua arah didominasi kecepatan sedang 40–60 km/jam, mencerminkan arus padat dengan dominasi kendaraan ringan. Kondisi ini meningkatkan kapasitas tetapi menurunkan keselamatan karena jarak antar kendaraan rapat dan JPH aktual sering lebih pendek dari standar.

Mayoritas kendaraan dalam platoon bergerak dengan JPH pendek  $\leq 180$  m. Kondisi ini sesuai untuk kecepatan rendah–menengah, namun tidak aman pada kecepatan tinggi karena margin keselamatan berkurang drastis.

Sebagian besar kendaraan dalam platoon memiliki spacing tidak aman, dengan persentase mencapai 81,9% di arah Padang–Bukittinggi dan 66,5% di arah Bukittinggi–Padang. Nilai rata-rata spacing sebesar 26,88 m dan 28,57 m menunjukkan jarak antar kendaraan yang sangat rapat, tidak sesuai dengan kebutuhan JPH untuk kecepatan operasi 40–60 km/jam. Kondisi ini meningkatkan kapasitas tetapi menurunkan margin keselamatan, terutama pada kecepatan menengah hingga tinggi.

Rata-rata spacing kendaraan arah Padang–Bukittinggi sebesar 26,88 m dan Bukittinggi–Padang sebesar 28,57 m hanya sesuai untuk kecepatan < 40 km/jam. Namun, frekuensi terbanyak kendaraan justru berada pada interval 40–60 km/jam, sehingga kondisi ini menandakan ketidaksesuaian antara jarak aktual dengan kebutuhan keselamatan operasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan*. Indonesia, 2006.
- [2] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 05/PRT/M/2018 tentang Penetapan Kelas Jalan Berdasarkan Fungsi dan Intensitas Lalu Lintas serta Daya Dukung Menerima Muatan Sumbu Terberat dan Dimensi Kendaraan Bermotor*. Indonesia: Direktorat Jenderal Peraturan Perundang-undangan Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, 2018.
- [3] K. Kasi and G. Karuppanan, 'Framework to Identify Vehicle Platoons under Heterogeneous Traffic Conditions on Urban Roads', *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 2, 2024, doi: 10.3390/su16020724.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Surat Edaran No. 09/P/BM/2023 Tentang Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Indonesia: Kementerian PUPR, 2023.

- [5] R. Ristov, Z. Zafirovski, and S. Fric, 'Approach for defining the limit value of the stopping sight distance on the roads in the Republic of North Macedonia', *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering*, vol. 23, no. 1, 2025, doi: 10.2298/fuace250109010r.
- [6] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Surat Keputusan No. 248/KPTS/M/2015 tentang Penetapan Ruas Jalan dalam Jaringan Jalan Primer menurut fungsinya sebagai Jalan Arteri (JAP) dan Jalan Kolektor-I (JKP-I)*. Indonesia: Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015.
- [7] P. Zhao, Y. D. Wong, and F. Zhu, 'A platoon-centric approach to the capacity analysis of mixed traffic comprising connected and autonomous vehicles', *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 177, 2025, doi: 10.1016/j.trc.2025.105170.
- [8] Y. Peng, D. Liu, S. Wu, X. Yang, Y. Wang, and Y. Zou, 'Enhancing Mixed Traffic Flow with Platoon Control and Lane Management for Connected and Autonomous Vehicles', *Sensors*, vol. 25, no. 3, 2025, doi: 10.3390/s25030644.
- [9] 'THE GREEN BOOK A Policy on Geometric Design of Highways and Streets', 2018. [Online]. Available: [www.transportation.org](http://www.transportation.org)
- [10] K. Kasi and G. Karuppanan, 'Framework to Identify Vehicle Platoons under Heterogeneous Traffic Conditions on Urban Roads', *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16020724.
- [11] F. Viadero-Monasterio, M. Meléndez-Useros, M. Jiménez-Salas, B. López Boada, and M. Jesús López Boada, 'Key influencing factors in vehicle platoons: a systematic study and review', 2025. doi: 10.1007/s12530-025-09746-1.
- [12] Y. Feng *et al.*, 'Distributed MPC of vehicle platoons with guaranteed consensus and string stability', *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-36898-4.
- [13] H. M. Güzey, 'Combined speed and distance control for optimized vehicle platooning', *Phys. Scr.*, vol. 99, no. 9, 2024, doi: 10.1088/1402-4896/ad69e4.
- [14] Z. Sun, Q. Yan, Y. Liu, Z. Fu, and L. Yang, 'Fundamental diagram and stability analysis of mixed traffic considering heterogeneous car-following behaviors and platoon factors', *Intelligent Transportation Infrastructure*, vol. 3, 2024, doi: 10.1093/iti/liae010.
- [15] Y. Hu, X. Shan, and C. Wan, 'Evaluating the characteristics of mixed traffic flow under the intelligent connected environment based on autonomous driving dataset', *Urban Lifeline*, vol. 4, no. 1, 2026, doi: 10.1007/s44285-025-00058-z.
- [16] C. J. R. Samson, Q. Hussain, and W. K. M. Alhajyaseen, 'Analysis of Stopping Sight Distance (SSD) Parameters: A Review Study', in *Procedia Computer Science*, 2022. doi: 10.1016/j.procs.2022.03.019.
- [17] S. Lee, C. Oh, and G. Lee, 'Impact of Automated Truck Platooning on the Performance of Freeway Mixed Traffic Flow', *J. Adv. Transp.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/8888930.