



Hubungan Kelandaian Jalan dan Panjang Landai Terhadap Kecelakaan Lalu Lintas Jalan Tol

Rezza Irawan Widiarto, *Bagus Hario Setiadji, Bambang Haryadi

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

*bhsetiadji@ft.undip.ac.id

Received: 28 Desember 2021 Revised: 15 Desember 2022 Accepted: 19 Desember 2022

Abstract

The Semarang – Solo toll road at Km 437+200 – 439+400 is one of the unique segments because many double horizontal and vertical alignments are encountered along approximately 1,600 m. Although this segment geometrically can be considered quite good because it provides adequate stopping distance, the accident data from PT. Trans Marga Jateng showed that this segment is prone to accidents. This study evaluated this segment's slope and slope length and their relationship to the potential for accidents. This segment was divided into three sections based on the slope and two vehicle types: light vehicles (LV) and heavy vehicles (HV). The results showed that the speed of LV was not significantly affected by slope and slope length variations, but this was not the case for HV. This condition results in a significant speed gap with great potential for accidents, especially at 00.00 – 06.00 and 12.00 – 18.00 when the driver is drowsy or fatigued. Therefore, an in-depth evaluation is recommended on the regulations allowing HVs to operate on toll roads, taking into account the weight-to-power ratio (PWR) and the maximum weight of the HV.

Keywords: Slope, slope length, speed, accident, vehicle types

Abstrak

Ruas tol Semarang – Solo pada Km 437+200 – 439+400 merupakan salah satu segmen yang unik dari ruas tol ini karena banyak ditemui adanya koordinasi alinemen horizontal dan alinemen vertikal ganda, sepanjang kurang lebih 1.600 m. Meskipun secara geometrik jalan segmen ini dapat dianggap cukup baik karena memberikan jarak pandang henti yang memadai, namun data kecelakaan dari PT. Trans Marga Jateng menunjukkan bahwa segmen ini rentan untuk terjadinya kecelakaan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kelandaian dan panjang landai dari segmen ini dan keterkaitannya dengan potensi terjadinya kecelakaan. Untuk memudahkan dalam analisis, segmen ini dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan kelandaianya dan digunakan dua jenis kendaraan, yaitu light vehicle (LV) dan heavy vehicle (HV). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan jenis LV tidak terlalu terpengaruh oleh variasi kelandaian dan panjang landai, namun tidak demikian untuk kendaraan jenis HV. Kondisi ini menyebabkan terdapatnya perbedaan kecepatan yang signifikan antara kedua jenis kendaraan yang berpotensi besar untuk terjadinya kecelakaan, terutama saat periode waktu 00.00 – 06.00 dan 12.00 – 18.00 saat pengemudi mengantuk atau mengalami kelelahan sehingga menjadi kurang antisipasi. Oleh karena itu, suatu evaluasi mendalam direkomendasikan terhadap aturan membolehkan HV beroperasi di jalan tol, dengan mempertimbangkan weight to power ratio (PWR) selain berat maksimum kendaraan HV.

Kata kunci: Kelandaian, panjang landai, kecepatan, kecelakaan, jenis kendaraan

Pendahuluan

Jalan tol merupakan salah satu infrastruktur yang pembangunan dan operasionalnya menjadi salah satu bagian dari Proyek Strategis Nasional (PSN) Pemerintah Indonesia dalam rangka memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, dan

meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk menopang pertumbuhan ekonomi. Sampai dengan tahun 2024, diharapkan bahwa total ruas tol di seluruh Indonesia dapat mencapai kurang lebih 4.800 km. Pembangunan jalan tol yang bersifat masif ini tentu saja banyak menemui hambatan, baik secara teknis, finansial maupun lingkungan. Di

sisi teknis, beberapa ruas jalan tol dibangun di area topografi yang tidak ideal.

Pada umumnya jalan tol diharapkan dapat dibangun di area yang datar, agar dapat mengoptimalkan pencapaian kecepatan yang seragam sehingga, pada suatu periode waktu tertentu, *volume* lalu lintas yang besar dapat bergerak secara aman dan berkeselamatan. Namun, seperti di wilayah Provinsi Jawa Tengah, kondisi topografi yang sangat bervariasi dengan kecenderungan tipe medan berbukitan, menyebabkan pembangunan ruas tol di wilayah ini, yaitu ruas tol Semarang – Solo, sangat mengandalkan penggunaan teknologi konstruksi terkini untuk mengatasi hambatan alam yang ditemui pada trase jalan tol yang telah ditentukan. Adanya kondisi topografi yang seperti itu menyebabkan desain alinemen horizontal dan alinemen vertikal dapat saling tumpang-tindih (*overlap*), desain dua alinemen horizontal yang berurutan searah atau berlainan arah, atau mungkin pula desain dua alinemen vertikal yang berurutan.

Banyaknya *overlap* alinemen horizontal dan alinemen vertikal di sisi *supply* akan mempengaruhi perilaku (*behavior*) dari pengguna (*user*) ruas tol tersebut di sisi *demand*. Salah satu indikator yang digunakan oleh pengelola jalan tol untuk melihat bagaimana perilaku dari pengguna jalan (*demand*) dalam menggunakan jalan tol (*supply*) ini adalah dalam hal besar kecilnya jumlah kecelakaan dan korban/kerugian yang ditimbulkan.

Salah satu bagian dari ruas tol Semarang – Solo yang menarik untuk diteliti dan dievaluasi adalah Seksi 2 Ungaran – Bawen, tepatnya segmen antara Km 437+200 – 439+400 (Gambar 1). Pada segmen ini, terdapat *overlap* alinemen horizontal dan alinemen vertikal dimana masing-masing alinemen terdiri dari dua lengkung berurutan, dengan arah Solo dari segmen ini adalah jalur jalan yang selalu menaik (sepanjang kurang lebih 1.600 m), sedangkan arah Semarang dari segmen ini adalah jalur jalan yang selalu menurun.

Kondisi alinemen seperti ini mempunyai potensi yang besar untuk terjadinya kecelakaan. Berdasarkan data tahun 2021 dari PT. Trans Marga Jateng selaku pengelola ruas tol ini, periode 2016-2020 terjadi lebih dari 50 kejadian kecelakaan, dengan korban meninggal lima orang, luka berat sembilan orang dan luka ringan 58 orang.

Pertanyaan yang kemudian timbul adalah faktor-faktor apa saja yang sebenarnya berkontribusi terhadap tingginya tingkat kecelakaan tersebut. Haryadi *et al.* (2009) mengemukakan bahwa sangat penting untuk dapat memahami akan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan,

karena hal ini dapat digunakan untuk menurunkan tingkat kecelakaan lalu lintas.



Gambar 1. Ilustrasi lokasi penelitian di Jalan Tol Semarang–Bawen

Selain itu pemahaman yang baik tentang metode-metode yang efisien untuk menganalisis data kecelakaan sangat diperlukan. Se jauh ini, sejumlah penelitian sudah dilakukan untuk menemukan hubungan antara kecelakaan dengan faktor-faktor yang berkontribusi sebagai penyebab kecelakaan, seperti berbagai karakteristik geometrik jalan dan arus lalu lintas. Dalam hubungan dengan karakteristik arus lalu lintas, sebagian besar penelitian memusatkan perhatian untuk menentukan hubungan antara kecelakaan dengan *volume* lalu lintas (Retallack & Ostendorf, 2020; Høye & Hesjevoll, 2020). Penelitian lain yang berkaitan dengan hubungan karakteristik geometrik jalan dengan kecelakaan, diantaranya seperti penelitian yang mengkaji hubungan secara umum antara berbagai elemen desain geometrik jalan (jumlah lajur, jarak pandang, radius lengkung horizontal, kelandaian/gradient, dan lain-lain) dengan tingkat kecelakaan (*accident rate*) (Islam *et al.*, 2019), atau mengkaji tingkat kecelakaan pada tipe jalan tertentu, seperti pada jalan empat lajur dua arah terbagi (4/2 D) (Caliendo & Lamberti, 2001), atau fokus pada hubungan antara kecelakaan dengan karakteristik geometrik yang spesifik, seperti pada jalan menurun (*descending roads*), seperti yang dilakukan oleh Fu *et al.* (2011)

Penelitian ini mempunyai kekhususan berupa evaluasi keterkaitan antara fatalitas kecelakaan dengan karakteristik geometrik jalan (kelandaian dan panjang landai) pada ruas tol yang bertipe 4/2 D. Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik geometrik jalan, khususnya kelandaian dan panjang landai, dan pengaruhnya terhadap kecepatan kendaraan dan tingkat keselamatan di lokasi segmen yang diteliti.

Untuk dapat memudahkan dalam pelaksanaan penelitian dan evaluasi yang lebih detil, segmen yang ditinjau (Km 437+200 – 439+400) dibagi menjadi tiga segmen berdasarkan kelandaianya

yaitu Km 437+200 – 437+800 (dinamakan Segmen 1), Km 437+800 – 439+000 (Segmen 2), dan Km 439+000 – 439+400 (Segmen 3). Kendaraan yang diamati hanya dikelompokkan menjadi dua berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), khususnya terkait Jalan Bebas Hambatan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997). Kelompok pertama berupa kendaraan ringan (*light vehicle/LV*) yang di dalamnya diasumsikan termasuk jenis kendaraan LV sendiri, *medium-heavy vehicle* (MHV) dan *large bus* (LB), sedangkan kelompok kedua berupa kendaraan berat (*heavy vehicle/HV*) yang di dalamnya termasuk jenis kendaraan *large truck* (LT). Pengelompokan kendaraan ini sedikit berbeda dengan ketentuan kelompok kendaraan di jalan tol (Kementerian Pekerjaan Umum, 2007), dimana kendaraan ringan (LV) dan bus berada pada golongan I, sedangkan kendaraan berat (LB) yang dalam hal ini berupa kendaraan truk, tercakup di dalam golongan II sampai dengan golongan V.

Metode

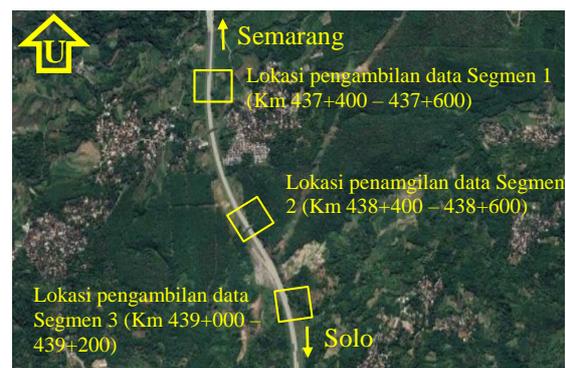
Secara garis besar, pelaksanaan penelitian terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu tahap pengumpulan data dan tahap pelaksanaan analisis/evaluasi. Pengumpulan data meliputi pengumpulan data sekunder dan data primer. Jenis data sekunder yang dikumpulkan meliputi: data kecelakaan (lokasi, waktu, jenis kendaraan dan fatalitas), data teknis jalan (geometrik jalan dan *as-built drawing*), dan data penunjang (peta dan dokumentasi). Data ini sebagian besar diperoleh dari PT. Trans Marga Jateng, selaku pengelola ruas tol Semarang – Solo.

Sedangkan pengumpulan data primer meliputi pencacahan *volume* lalu lintas (yang meliputi jenis kendaraan LV atau golongan kendaraan I dan kendaraan HV atau golongan kendaraan II - V) dan pengukuran kecepatan. Pencacahan *volume* lalu lintas dilakukan per sepuluh menit selama dua jam, sebanyak dua kali dalam sehari, yaitu pada pukul 06.00 – 08.00 dan 16.00 – 18.00.

Penentuan waktu pencacahan *volume* lalu lintas ini dengan memperhitungkan karakteristik pergerakan pada ruas tol Semarang – Solo, khususnya Seksi 1 Semarang – Ungaran, dan Seksi 2 Ungaran – Bawen, yang memiliki jam puncak pada pagi dan sore hari. Pencacahan dilakukan selama tiga hari, yaitu hari Rabu, Kamis dan Jumat. Pemilihan hari yang mewakili dengan mengasumsikan kondisi lalu lintas sama setiap hari dalam satu minggu. Lokasi pelaksanaan pencacahan adalah di lokasi ketiga segmen yang memiliki kelandaian yang berbeda. Hal ini menyebabkan *volume* lalu lintas per satuan waktu dapat berbeda, sehingga dapat diketahui berapa perubahan kecepatan kendaraan dan kepadatan yang terjadi.

Pengukuran kecepatan dilakukan dengan menggunakan metode *space mean speed*. *Space mean speed* adalah kecepatan rata-rata dari semua kendaraan yang menempati suatu segmen jalan selama periode waktu tertentu. Hal ini sama dengan rata-rata harmonik kecepatan melewati suatu titik selama periode waktu. Lokasi pengambilan data merupakan area sepanjang 200 m di setiap segmen, yaitu Km 437+400 – 437+600, di awal lengkung horizontal pertama dan merupakan awal tanjakan (Segmen 1), Km 438+400 – 438+600, di bagian lurus tempat dimulainya jalur pendakian dan awal lengkung horizontal kedua (Segmen 2), dan Km 439+000 – 439+200, di akhir lengkung horizontal kedua sampai dengan bagian lurus (Segmen 3) (Gambar 2).

Pengambilan data kecepatan dilakukan secara manual dimana terdapat dua orang yang melakukan pengamatan, satu orang mencatat waktu mulai saat kendaraan melintas di titik awal, dan satu orang lagi memberitahu pengamat pertama saat kendaraan yang sama melewati titik akhir pengamatan. Pengukuran kecepatan pada kendaraan jenis LV dilakukan pada kendaraan pertama pada suatu *platoon*, dengan asumsi kendaraan yang mengikutinya memiliki kecepatan yang hampir sama. Sedangkan pengukuran kecepatan untuk kendaraan jenis HV diambil sesuai dengan proporsinya.



Gambar 2. Segmentasi lokasi pengukuran kecepatan

Analisis dari data yang terkumpul dilakukan dengan dua cara, yaitu analisis kualitatif deskriptif dan analisis kuantitatif. Analisis kuantitatif yang dilakukan dapat berbeda, tergantung pada parameter apa yang akan dianalisis. Di penelitian ini, analisis dilakukan terhadap data kecelakaan, data waktu tempuh, data pencacahan *volume* lalu lintas, dan data geometrik jalan, serta analisis hubungan antar parameter menggunakan analisis korelasi. Sedangkan untuk dapat memberi makna dari setiap hasil analisis kualitatif deskriptif dan analisis kuantitatif, maka dilakukan evaluasi dari hasil analisis yang diperoleh.

Data kecelakaan, yang merupakan data sekunder yang dimiliki PT. Trans Marga Jateng untuk periode pengamatan selama lima tahun (2016 – 2020), dianalisis dan disajikan sebagai parameter fatalitas kecelakaan dalam bentuk parameter *equivalent accident number* (EAN). Parameter EAN yang digunakan pada penelitian ini dengan sistem pembobotan yang mengacu pada biaya kecelakaan (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2004), yaitu dengan bobot untuk korban meninggal, luka berat, luka ringan, dan kerugian materi sebesar 12, 3, 3, dan 1.

Data waktu tempuh, baik untuk kendaraan jenis LV dan HV, diperoleh dari tiga segmen yang diteliti. Data waktu tempuh kemudian digunakan untuk menghitung parameter kecepatan dengan Persamaan 1.

$$V \text{ (km/jam)} = \frac{D}{\sum t/n} \quad (1)$$

dimana D = panjang segmen jalan (m), t = waktu tempuh (detik), n = jumlah kendaraan yang diamati

Data pencacahan *volume* lalu lintas yang diperoleh per sepuluh menit perlu dikonversikan ke satuan mobil penumpang (smp) dengan mengalikan nilai *volume* lalu lintas per jenis kendaraan dengan nilai ekuivalensi mobil penumpang (emp) yang sesuai menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia/ MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) untuk jalan bebas hambatan $4/2$ D berbukit dengan arus lalu lintas 900 kendaraan/jam, yaitu sebesar 1, dan 4,6 masing-masing untuk jenis kendaraan LV dan HV. Langkah berikutnya, nilai *flow rate* (smp/jam) dihitung berdasarkan *volume* lalu lintas tertinggi dalam smp/10 menit. Selanjutnya, nilai kinerja lalu lintas ditentukan oleh parameter derajat kejenuhan (*degree of saturation/DS*) menggunakan Persamaan 2.

$$DS = \frac{\text{flow rate}}{C} \quad (2)$$

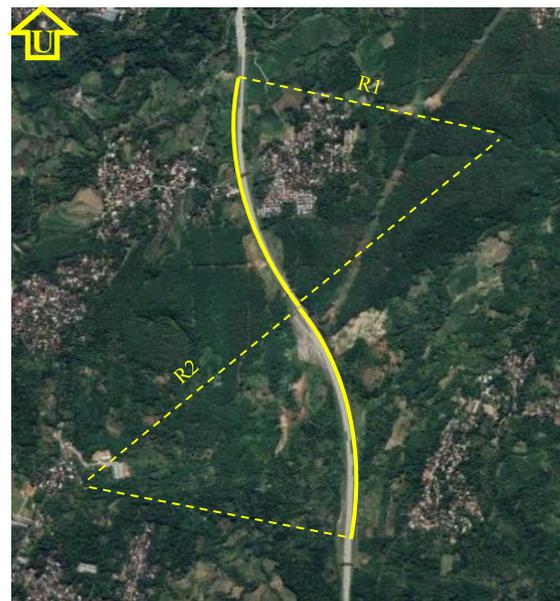
dimana C = kapasitas jalan (smp/jam), yang diperoleh berdasarkan nilai kapasitas dasar (untuk jenis medan perbukitan untuk jalan $4/2$ D), dan nilai koreksi terhadap lebar lajur. Besarnya lebar lajur merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Trans Marga Jateng. Selain lebar lajur, data geometrik jalan yang lain yang digunakan untuk memberikan informasi terkait karakteristik dari ketiga segmen adalah data kelandaian dan panjang landai.

Analisis korelasi merupakan analisis statistik yang dilakukan untuk melihat keterkaitan antar variabel bebas, dan antara variabel bebas dan variabel terikat di dalam penelitian ini. Terdapat dua analisis korelasi yang dilakukan, yaitu: (i) analisis korelasi

antara parameter kelandaian dan panjang landai (sebagai variabel bebas) dan kecepatan (baik untuk jenis kendaraan LV dan HV) sebagai variabel terikat; dan (ii) analisis korelasi antara parameter DS, kelandaian, panjang landai, dan kecepatan (sebagai variabel bebas), dengan parameter EAN sebagai variabel terikat. Analisis korelasi ini digunakan untuk mendukung analisis yang dilakukan per parameter yang ditinjau.

Hasil dan Pembahasan

Ketiga segmen yang ditinjau terletak pada dua lengkung horizontal yang berurutan balik arah dengan sisipan bagian lurus sepanjang kurang lebih 150 m (Gambar 3).



Gambar 3. Ilustrasi segmen yang ditinjau sebagai dua lengkung horizontal berurutan balik arah dengan sisipan bagian lurus.

Kedua alinemen horizontal berjenis *full circle* dengan jari-jari $R2 > R1$. Kedua alinemen horizontal tersebut melingkupi dua alinemen vertikal, dimana lengkung vertikal pertama merupakan lengkung cekung (*concave*), sedangkan lengkung vertikal kedua merupakan lengkung cembung (*convex*). Koordinasi alinemen horizontal dan alinemen vertikal cukup baik, dimana pengguna jalan selalu dapat melihat kondisi jalan di depannya dengan cukup jelas, atau dengan kata lain jarak pandang henti memadai dan sesuai dengan rekomendasi Pedoman Disain Geometrik Jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021). Hal ini bisa terjadi karena kondisi ketiga segmen yang menanjak ke arah Solo, atau menurun ke arah Semarang. Selain itu, adanya bagian lurus di antara dua lengkung horizontal menjadikan pengemudi dapat mengantisipasi terhadap perubahan gaya

sentrifugal yang besar dengan arah yang berbeda antara kedua lengkung horizontal.

Karakteristik jalan dari ketiga segmen disajikan pada Tabel 1. Kelandaian di segmen 47+200 – 49+400 cukup bervariasi, dengan kelandaian pada Segmen 2 merupakan kelandaian terbesar, disusul kelandaian pada Segmen 3, dan Segmen 1. Dikarenakan kelandaian yang cukup besar, tanjakan arah ke Solo pada Segmen 2 dan Segmen 3 dilengkapi dengan lajur pendakian untuk kendaraan yang berjalan lambat, dan pada Segmen 2 arah ke Semarang dilengkapi dengan jalur penyelamat (Km 438+575). Panjang landai per segmen yang digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kelandaian yang ada adalah seperti terlihat pada Tabel 1b.

Tabel 1a. Karakteristik jalan pada segmen yang ditinjau

Segmen	Arah	Tipe jalan	Lebar jalur (m)
1	Solo	4/2 D	7,2
	Semarang	4/2 D	7,2
2	Solo	4/2 D + lajur pendakian	7,2
	Semarang	4/2 D	10,8
3	Solo	4/2 D + lajur pendakian	7,2
	Semarang	4/2 D	7,2

Tabel 1b. Karakteristik jalan pada segmen yang ditinjau

Segmen	Arah	Kelandaian (%)	Panjang landai (m)
1	Solo	3,36	115
	Semarang	-3,36	115
2	Solo	6,11	144
	Semarang	-6,11	144
3	Solo	4,65	160
	Semarang	-4,65	160

Tabel 1 menunjukkan bahwa Segmen 1 memiliki kelandaian dan panjang landai yang paling kecil dari ketiga segmen yang ditinjau. Kedua segmen lain yang memiliki kelandaian dan panjang landai yang lebih besar telah dilengkapi dengan lajur pendakian, dengan panjang landai yang dimiliki masih belum melebihi panjang landai kritis menurut Pedoman Desain Geometri Jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021), yaitu sebesar 350 meter untuk kelandaian sebesar 6%. Adanya lajur pendakian ini untuk mencegah terjadinya penurunan kecepatan yang signifikan (lebih besar dari 25 km/jam) pada kendaraan HV yang melalui tanjakan pada Segmen 2 dan 3, yang dapat mengganggu atau menjadi hambatan kendaraan yang lain.

Setelah melihat bahwa kondisi geometrik jalan pada segmen yang ditinjau dapat dinilai cukup baik, maka selanjutnya perlu dilihat karakteristik lalu lintas kendaraan yang melalui segmen yang ditinjau, seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik lalu lintas pada segmen yang ditinjau

Segmen	Arah	DS	Kecepatan rerata (km/jam)		
			LV	HV	Selisih
1	Solo	0,63	98,45	74,16	24,29
	Semarang	0,75	107,96	84,75	23,21
2	Solo	0,43	74,82	43,93	30,89
	Semarang	0,74	88,51	61,81	26,70
3	Solo	0,43	84,06	48,43	35,63
	Semarang	0,74	106,95	67,55	39,40

Tabel 2 menunjukkan karakteristik yang menarik dari segmen yang ditinjau, terkait dengan kinerja lalu lintas (yang dinyatakan dalam *degree of saturation/DS*) dan kecepatan untuk kedua arah. Dalam hal kinerja lalu lintas, nilai DS sedikit berbeda di antara kedua arah, dengan arah Solo mempunyai kinerja yang sedikit lebih baik. Hal ini dikarenakan terdapatnya perbedaan kecepatan di kedua arah yang menyebabkan kendaraan pada turunan (arah Semarang) terpantau rapat di titik pengukuran sehingga nilai *flow rate*-nya besar, sedangkan pada tanjakan (arah Solo) kepadatan kendaraan di sekitar titik pengukuran lebih rendah sehingga *flow rate*-nya lebih rendah.

Apabila ditinjau dari kecepatan kedua jenis kendaraan (LV dan HV), kendaraan berjenis LV sebagian besar melaju dengan kecepatan melebihi batas kecepatan maksimum yang ditetapkan pada ruas tol Semarang – Solo, yaitu 80 km/jam. Sedangkan kendaraan jenis HV berjalan dalam kecepatan yang relatif sesuai dengan batas kecepatan, kecuali apabila menemui tanjakan dengan panjang landai yang besar. Hal ini dimungkinkan oleh adanya pembatasan tonase kendaraan jenis HV yang diperbolehkan melewati ruas tol Semarang – Solo sebesar maksimum 50 ton.

Pada tanjakan (arah ke Solo), terjadi penurunan kecepatan terbesar pada segmen 2 karena kelandaian rata-ratanya paling besar, bahkan kecepatan rata-rata kendaraan HV menurun secara signifikan sampai batas minimum kecepatan yang diijinkan, yaitu sebesar 60 km/jam. Selain itu, terjadi peningkatan kecepatan pada Segmen 3, karena terjadi penurunan kelandaian rata-rata sehingga kendaraan bisa melakukan *speed-drop recovery*. Terkait dengan selisih kecepatan (*speed gap*) antara kendaraan jenis LV dan HV, selisih kecepatan tersebut berangsur-angsur meningkat dari Segmen 1 ke Segmen 3. Hal ini memberikan

potensi terhadap kemungkinan pengemudi kendaraan jenis LV kurangantisipasi untuk menghindari kendaraan HV yang bergerak perlahan di depannya. Apabila mempertimbangkan batas kecepatan di Jalan Tol Semarang – Bawen adalah antara 60 km/jam dan 80 km/jam, selisih kecepatan (*speed gap*) maksimum seharusnya adalah sebesar 20 km/jam, sehingga selisih kecepatan di ketiga segmen yang dievaluasi, seperti yang tercantum di Tabel 2, telah melampaui selisih kecepatan yang aman.

Di sisi lain, pada turunan (arah ke Semarang), terdapat kehatian-hatian dari pengemudi, baik kendaraan jenis LV maupun HV, sehingga semakin curam turunannya, semakin rendah kecepatannya. Selain itu, terdapat penurunan selisih kecepatan antara kendaraan jenis LV dan HV yang semakin kecil dari Segmen 3 ke Segmen 1. Dengan kecepatan kendaraan jenis LV yang tidak banyak berubah, hal ini menunjukkan bahwa kendaraan jenis HV semakin meningkatkan kecepatannya pada segmen jalan yang memiliki kelandaian yang semakin kecil. Dari besarnya kecepatan saat turunan pada Tabel 2, kendaraan jenis HV umumnya berhasil mengendalikan kecepatannya sehingga kecepatan menjadi menurun ketika kelandaian atau *grade* meningkat. Apabila kendaraan jenis HV mengalami rem blong, di akhir turunan dari lengkung vertikal kedua atau Km 438+575, telah disediakan jalur penyelamat.

Dari hasil analisis yang dilakukan, terlihat bahwa kelandaian dan panjang landai pada segmen yang ditinjau mempunyai pengaruh terhadap kecepatan kendaraan jenis LV, walaupun tidak signifikan. Kecepatan kendaraan jenis LV, yang diyakini rata-rata di atas 100 km/jam pada bagian jalan yang lurus, akan mengalami penurunan saat tanjakan atau turunan yang tajam atau saat menemui adanya antrian kendaraan jenis HV atau LV lain yang bergerak lebih lambat, namun rata-rata kecepatannya masih di atas batas atas kecepatan yang diijinkan, yaitu 80 km/jam. Sedangkan untuk kendaraan jenis HV, penurunan kecepatan terjadi secara signifikan terutama saat perubahan kelandaian yang besar. Hal ini dikarenakan penurunan kecepatan dapat digunakan untuk mengimbangi kinerja mesin terhadap beban kendaraan saat tanjakan, sedangkan saat turunan, penurunan kecepatan dapat meningkatkan pengendalian kendaraan saat melewati turunan. Namun sangat disayangkan bahwa penurunan kecepatan saat turunan terlihat lebih menggunakan rem utama, dibandingkan dengan *engine break*. Kenyataan ini terlihat dari nilai kecepatan yang masih tinggi (di atas 60 km/jam) saat turunan. Hal ini mempunyai potensi bahaya yang besar karena akan menyebabkan rem mengalami *overheat*,

ditambah lagi panjang turunan pada segmen yang ditinjau cukup panjang, yaitu mencapai 1.600 m. Ketiadaan rambu yang memberitahukan akan adanya turunan panjang turut menyumbang potensi ancaman bahaya terhadap keselamatan kendaraan jenis HV.

Selanjutnya, untuk dapat mendukung hasil evaluasi di atas, analisis statistik dengan menggunakan analisis korelasi digunakan pada penelitian ini, seperti terlihat pada Tabel 3a untuk kendaraan jenis LV dan Tabel 3b untuk kendaraan jenis HV.

Dari Tabel 3, terlihat jelas hubungan antara kelandaian dan panjang landai dengan kecepatan dari kedua jenis kendaraan. Pola yang sama berlaku untuk kedua jenis kendaraan, yaitu untuk tanjakan, semakin besar kelandaian (*positif grade*), semakin menurun kecepatannya, sedangkan untuk turunan, semakin besar kelandaianya (dalam hal nilai absolut dari *negative grade*-nya), semakin meningkat kecepatannya.

Tabel 3a. Korelasi kelandaian dan panjang landai terhadap kecepatan kendaraan LV

	a	b	c	d
a	1,00			
b	-	1,00		
c	-0,989	0,898	1,00	
d	-0,727	-0,210	+0,619 ^{*)}	1,00

Keterangan:

a = kecepatan rata-rata kendaraan LV arah Solo (km/jam), b = kecepatan rata-rata kendaraan LV arah Semarang (km/jam), c = kelandaian (%), d = panjang landai (m)

^{*)} besarnya korelasi sama, hanya berbeda tanda

Tabel 3b. Korelasi kelandaian dan panjang landai terhadap kecepatan kendaraan HV

	a	b	c	d
a	1,00			
b	-	1,00		
c	-0,918	0,955	1,00	
d	-0,879	-0,825	+0,619 ^{*)}	1,00

Keterangan:

a = kecepatan rata-rata kendaraan HV arah Solo (km/jam), b = kecepatan rata-rata kendaraan HV arah Semarang (km/jam), c = kelandaian (%), d = panjang landai (m)

^{*)} besarnya korelasi sama, hanya berbeda tanda

Apabila dilihat dari kekuatan hubungan korelasi antara kecepatan dan kelandaian, korelasi yang kuat antara kelandaian dan kecepatan kendaraan jenis LV terlihat pada saat Segmen 2 arah Solo dimana kecepatan LV turun signifikan sampai di bawah 80 km/jam (dari sebelumnya di atas 80 km/jam) saat kelandaian mencapai di atas 6% dikarenakan

adanya antrian kendaraan di depannya yang bergerak melambat. Untuk kendaraan jenis HV, korelasi yang kuat terlihat di Segmen 1 arah Semarang, dimana kecepatan kendaraan jenis HV meningkat sampai di atas 80 km/jam, dibandingkan di segmen-segmen sebelumnya dimana kendaraan jenis HV sangat mengendalikan kecepatan pada kisaran 60 km/jam, untuk menjaga stabilitas pergerakan kendaraan saat melewati turunan dengan kelandaian yang mempunyai nilai *negative grade* yang besar. Sedangkan terkait hubungan korelasi antara panjang landai dan kecepatan, nilai korelasi untuk kendaraan jenis LV umumnya relatif tidak terlalu signifikan, dibandingkan dengan nilai korelasi untuk kendaraan jenis HV. Hal ini berarti, kecepatan kendaraan jenis HV sangat tergantung pada panjang landai. Semakin besar panjang landai (baik untuk tanjakan atau turunan), semakin menurun kecepatan kendaraan jenis HV.

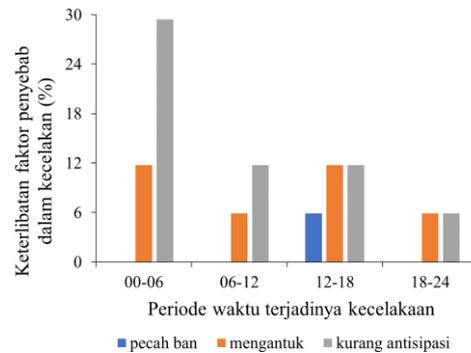
Selanjutnya, untuk dapat menjawab tujuan kedua yaitu untuk menganalisis pengaruh parameter kecepatan, kelandaian, panjang landai, dan DS terhadap tingkat keselamatan, penelitian ini, menggunakan parameter fatalitas kecelakaan untuk menggambarkan besar kecilnya dampak yang terjadi dari adanya kecelakaan. Parameter fatalitas kecelakaan ini dinyatakan dalam *equivalent accident number/EAN*, dimana diberikan bobot untuk setiap kejadian meninggal dunia, luka berat, luka ringan dan kerugian materi. Besarnya bobot yang digunakan adalah 12, 3, 3 dan 1, yang mendasarkan pada biaya kecelakaan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Adapun banyaknya kejadian kecelakaan dan nilai fatalitas kecelakaan (dalam parameter EAN) untuk ketiga segmen yang ditinjau disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah kejadian dan fatalitas kecelakaan pada segmen yang ditinjau

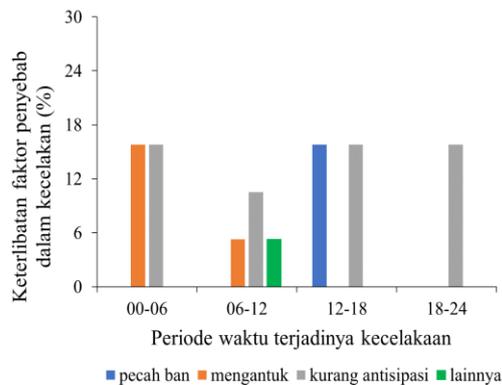
Segmen	Arah	Jumlah kejadian	Fatalitas kecelakaan (dalam EAN)
1	Solo	6	107
	Semarang	10	73
2	Solo	7	51
	Semarang	11	61
3	Solo	14	86
	Semarang	4	20

Beberapa informasi detil seputar data kecelakaan yang diperoleh dari PT. Trans Marga Jateng adalah informasi terkait penyebab dan waktu terjadinya kecelakaan. Untuk penyebab kecelakaan, kejadian kecelakaan dapat dibedakan berdasarkan empat faktor penyebab, yaitu pecah ban, mengantuk, kurang antisipasi, dan penyebab lainnya. Sedangkan untuk waktu terjadinya kecelakaan, waktu 1x24 jam dibagi menjadi empat periode,

yaitu pukul 00.00 – 06.00, 06.00 – 12.00, 12.00 – 18.00, dan 18.00 – 24.00. Informasi terkait faktor penyebab dan periode waktu terjadinya kecelakaan disajikan pada Gambar 4. Tabel 4 menyatakan bahwa besarnya fatalitas kecelakaan tidak linier dengan jumlah kejadian kecelakaan. Tiga besar nilai EAN dari Tabel 4, yaitu Segmen 1 baik arah Solo dan Semarang, dan Segmen 3 arah Solo, dikontribusikan oleh terdapatnya korban meninggal.



Gambar 4a. Faktor penyebab dan periode waktu terjadinya kecelakaan (arah Solo).



Gambar 4b. Faktor penyebab dan periode waktu terjadinya kecelakaan (arah Semarang)

Berdasarkan data dari PT. Trans Marga Jateng, korban meninggal umumnya terdapat pada kejadian kecelakaan di periode waktu 00.00 – 06.00 saat pengemudi mengantuk sehingga kurang antisipasi keberadaan kendaraan lain, dan pada lokasi di awal atau ujung alinemen horizontal atau vertikal, dimana terjadi perubahan dari kondisi datar menjadi mulai mendaki atau dari kondisi lengkung menjadi lurus. Ini menyiratkan bahwa perlunya kewaspadaan tinggi saat terjadinya perubahan alinemen (baik lengkung horizontal ataupun vertikal) karena pada saat itu dapat terjadi perubahan perilaku berkendara dari pengemudi, misalnya melakukan percepatan atau perlambatan (Abele & Møller, 2011; Antonson *et al.*, 2009). Perubahan perilaku berkendara ini harus pula memperhatikan kondisi lingkungan sekitarnya, termasuk bagaimana mengantisipasi perubahan

perilaku berkendara dari pengemudi kendaraan lain yang berada di sekitarnya.

Hasil yang disajikan pada Gambar 4 turut memperkuat pernyataan di atas, bahwa periode waktu yang rawan kecelakaan pada kondisi jalan yang tidak ideal adalah antara pukul 00.00 – 06.00, dimana pengemudi yang mengalami kecelakaan adalah karena faktor mengantuk, dan kurang antisipasi (sebagai akibat dari kondisi mengantuk). Periode waktu rawan kecelakaan lalu lintas berikutnya adalah pukul 12.00 – 18.00, dimana pada periode ini pengemudi banyak yang mengalami kelelahan (atau mengantuk) sehingga menjadi kurang antisipasi. Yang menarik pada periode waktu pukul 12.00 – 18.00, terselip faktor penyebab lain yang tidak terdapat pada ketiga periode waktu lainnya, yaitu faktor pecah ban. Pada periode waktu pukul 12.00 – 18.00 yang merupakan waktu siang hari, adanya panas yang tinggi menyebabkan ban dapat mengalami *overheat*, sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan di dalam ban (Toma *et al.*, 2018). Kondisi ban yang sudah tidak ideal diikuti oleh banyaknya pengereman pada saat turunan, menjadikan pecah ban merupakan faktor penyebab kecelakaan yang signifikan pada bagian jalan menurun dan kondisi waktu siang hari.

Dari uraian di atas terlihat bahwa terdapat keterkaitan antara fatalitas kecelakaan (yang dinyatakan dalam EAN) dengan karakteristik jalan seperti perubahan kelandaian, namun untuk menggali seberapa erat hubungan tersebut, termasuk keterkaitan antara fatalitas kecelakaan dengan karakteristik jalan yang lain seperti panjang landai, dan karakteristik lalu lintas seperti kecepatan dan DS, maka perlu dilakukan analisis statistik menggunakan analisis korelasi. Hasil analisis korelasi ini disajikan pada Tabel 5a untuk kendaraan jenis LV dan Tabel 5b untuk kendaraan jenis HV.

Tabel 5 menunjukkan bahwa kekuatan hubungan antara EAN dengan kecepatan dan DS adalah lemah, kekuatan hubungan antara EAN dengan kelandaian adalah cukup, sedangkan kekuatan hubungan antara EAN dan panjang landai adalah kuat. Dari sisi arah hubungan, hubungan antara EAN dengan kecepatan kendaraan jenis LV adalah tidak searah, sedangkan antara EAN dengan kecepatan kendaraan jenis HV adalah searah. Ini menunjukkan bahwa tingginya kecepatan kendaraan jenis LV tidak memberikan kontribusi terhadap tingginya nilai EAN, sepanjang terdapat keseragaman kecepatan antar kendaraan. Apabila di ruas tol terdapat perbedaan kecepatan antar kendaraan, misalnya di daerah tanjakan atau turunan, hal ini dapat berpotensi terhadap terjadinya

kecelakaan. Keseragaman kecepatan sebagai syarat rendahnya fatalitas kecelakaan ini didukung oleh hubungan korelasi antara kecepatan kendaraan jenis LV dengan DS, dimana kekuatan hubungannya adalah sangat kuat dan mempunyai hubungan yang searah. Atau dengan kata lain, tingginya nilai DS pada jalanan menurun atau menanjak terbentuk pada saat kecepatan tinggi (dan seragam).

Tabel 5a. Korelasi semua variabel terhadap kecepatan LV dan EAN

	a	b	c	d	e
a	1,00				
b	-0,100	1,00			
c	-0,250	0,814	1,00		
d	0,453	-0,632	-0,918	1,00	
e	-0,588	-0,370	-0,331	0,000	1,00

Keterangan:

a = EAN, b = kecepatan rata-rata (km/jam), c = DS, d = kelandaian (%), e = panjang landai (m)

Tabel 5b. Korelasi semua variabel terhadap kecepatan HV dan EAN

	a	b	c	d	e
a	1,00				
b	0,173	1,00			
c	-0,250	0,820	1,00		
d	0,453	-0,571	-0,918	1,00	
e	-0,588	-0,700	-0,331	0,000	1,00

Keterangan:

a = EAN, b = kecepatan rata-rata (km/jam), c = DS, d = kelandaian (%), e = panjang landai (m)

Hal yang agak berbeda ditunjukkan oleh hubungan korelasi antara EAN dengan kecepatan kendaraan jenis HV. Meskipun secara kekuatan hubungan termasuk kategori lemah (seperti kekuatan hubungan antara EAN dan kecepatan kendaraan jenis LV), namun kedua parameter mempunyai hubungan yang searah. Ini menunjukkan bahwa karena karakteristik operasional yang berbeda antara kendaraan jenis LV dan HV, kendaraan jenis HV diharapkan berjalan dengan kecepatan yang relatif rendah saat melewati tanjakan atau turunan, untuk menurunkan potensi fatalitas kecelakaan. Kecepatan kendaraan jenis HV yang tinggi, terutama saat kondisi jalan menurun, akan menjadikan kendaraan menjadi tidak stabil dan rentan untuk terjadinya kecelakaan lalu lintas.

Selanjutnya, karakteristik jalan (kelandaian dan panjang landai) mempunyai arah hubungan yang berbeda dengan EAN. Fatalitas kecelakaan meningkat dengan semakin besarnya kelandaian (baik tanjakan atau turunan), namun fatalitas kecelakaan menurun dengan semakin besarnya panjang landai. Dengan panjang landai yang semakin besar, akan menyebabkan kecepatan

kendaraan semakin menurun, sehingga pengendalian kendaraan akan lebih mudah. Namun untuk jalan yang menurun secara terus menerus (*continuous long*), dapat memicu pula terjadinya kecelakaan (Fu *et al.*, 2011), khususnya pada kendaraan jenis HV yang hanya menerapkan pengereman dengan rem utama secara terus menerus sehingga terjadi kegagalan pengereman (*brake failure*). Pada wilayah segmen yang ditinjau, panjang sisipan bagian lurus yang terbatas antara lengkung horizontal pertama dan kedua (hanya sekitar 150 m), akan menyulitkan pengemudi untuk melakukan perubahan perilaku berkendara. Apabila kecepatan kendaraan jenis LV pada saat jalan menurun pada Segmen 2 adalah sekitar 89 km/jam (Tabel 2), maka pengemudi hanya memiliki waktu sekitar 6 detik untuk melakukan perubahan perilaku berkendara. Waktu 6 detik mungkin cukup untuk pengemudi dalam merespon perubahan alinemen yang terjadi. Namun, waktu 6 detik menjadi tidak cukup baik bagi pengemudi untuk merespon perubahan alinemen yang disertai dengan analisis kondisi lalu lintas yang ada, apalagi saat pengemudi dalam kondisi mengantuk atau kelelahan.

Sebagai *concluding remarks*, ruas tol yang ideal adalah ruas tol yang berada pada medan yang relatif datar, dengan beberapa lengkung horizontal atau vertikal yang tidak monoton, sehingga menghindari rasa bosan dan mengantuk pada pengemudi. Ini adalah prasyarat bagi ruas tol yang diperuntukkan bagi semua golongan kendaraan (kelompok I – V). Namun apabila ditemui lokasi ruas tol dengan medan yang berbukit, maka penggunaan teknologi konstruksi dan pemilihan jenis struktur yang sesuai (seperti pembuatan terowongan/*tunnel* dan jembatan bentang panjang dengan kolom/*pier* tinggi) sangat direkomendasikan untuk mengupayakan agar ruas tol tersebut memiliki profil yang relatif datar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komponen alinemen vertikal, baik itu kelandaian maupun panjang landai, merupakan parameter yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap kinerja mesin kendaraan jenis HV, sehingga akan berdampak pada kecepatannya yang tidak sesuai dengan ketentuan batas kecepatan di jalan tol. Demikian pula, kelandaian yang besar pada turunan dapat menjadi ancaman bagi pengendalian kestabilan dan keselamatan kendaraan jenis HV. Dan sebagai dampak lanjutannya, adanya kendaraan jenis HV yang berjalan lambat pada ruas tol dapat menjadi gangguan/hambatan pada kendaraan jenis LV yang melaju dengan kecepatan yang tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan alinemen vertikal. Perbedaan kecepatan yang signifikan (lebih dari 20 km/jam) antara kedua jenis kendaraan dapat berpotensi besar menjadi ancaman terhadap keselamatan, terutama pada periode waktu

dimana faktor mengantuk dan kelelahan sangat dominan, yaitu antara pukul 00.00 – 06.00 dan 12.00 – 18.00.

Oleh karena itu, saat ini pintu tol telah seharusnya dilengkapi dengan jembatan timbang dan lajur khusus yang terhubung dengan jalan non-tol untuk memungkinkan kendaraan truk yang tidak memenuhi ketentuan untuk keluar dari jalan tol. Selain itu, peninjauan ulang perlu dilakukan terhadap aturan yang membolehkan angkutan truk dengan berat tertentu, misalnya 50 ton pada Jalan Tol Semarang – Bawen, untuk memasuki jalan tol yang memiliki kemiringan memanjang yang cukup besar, atau dua alinyemen vertikal yang berurutan. Direktorat Jenderal Bina Marga (2021). menyebutkan bahwa *weight to power ratio* (WPR) sekitar 85 kg/kw telah cukup untuk memberikan kemampuan menanjak yang memadai bagi truk. Namun WPR sebesar itu mungkin hanya sesuai untuk truk dengan dua sumbu dan sumbu belakang merupakan sumbu tunggal roda ganda yang memiliki tenaga maksimum 260 PS dan berat total 15,1 ton, atau dengan WPR sebesar 79 kg/kw (Hino, 2022). Namun apabila terjadi 30% kelebihan beban (*overload*) pada jenis truk tersebut atau untuk jenis truk tiga sumbu dan sumbu belakang merupakan sumbu ganda roda ganda dengan tenaga maksimum 260 PS dan berat total 26 ton, maka truk jenis ini seharusnya tidak diperbolehkan untuk memasuki jalan tol karena telah memiliki WPR > 100, yang akan berpengaruh terhadap kinerja truk dan potensi terjadinya kecelakaan yang melibatkan truk di tanjakan ataupun turunan (Scott & O'Day, 1971)

Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh dari kelandaian dan panjang landai pada ruas tol Semarang – Solo Km 437+200 – 439+400 terhadap kecelakaan lalu lintas pada segmen tersebut. Segmen ini memiliki dua alinemen horizontal berjenis *full circle* yang melingkupi dua lengkung vertikal, dan sebagian besar segmen ini adalah jalur jalan yang menanjak (arah Solo) atau jalur jalan yang menurun (arah Semarang) sejauh kurang lebih 1.600 m. Kondisi ini menjadikan segmen ini memiliki jarak pandang henti yang memadai sepanjang segmen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelandaian dan panjang landai tidak terlalu mempengaruhi kecepatan dan potensi terjadinya kecelakaan pada kendaraan jenis *light vehicle* (LV), namun kelandaian dan panjang landai berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan jenis HV, dan potensi terjadinya kecelakaan akibat adanya perbedaan kecepatan antara kendaraan jenis HV dan LV, terutama di bagian tanjakan dan turunan. Selain itu, kondisi koordinasi alinemen horizontal dan alinemen vertikal yang kompleks

pada segmen ini turut berkontribusi pada potensi kecelakaan kendaraan jenis LV, terutama saat kondisi pengemudi mengantuk atau kelelahan pada periode waktu 00.00 – 06.00 dan 12.00 – 18.00. Selain itu, aturan memperbolehkan HV untuk memasuki Jalan Tol Semarang – Bawen perlu dievaluasi lebih mendalam, dengan aturan pembatasan tidak hanya terbatas oleh berat maksimum kendaraan saja, tetapi mulai mempertimbangkan nilai *weight to power ratio* (PWR), khususnya untuk kendaraan berat (HV) yang termasuk pada kelompok II – V.

Daftar Pustaka

- Abele, L., & Møller, M. (2011). The relationship between road design and driving behavior: A simulator study. In *3rd International Conference on Road Safety and Simulation* (Vol. 13, pp. 26-27).
- Antonson, H., Mårdh, S., Wiklund, M., & Blomqvist, G. (2009). Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study. *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 493–502.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2009.03.005>
- Caliendo, C., & Lamberti, R. (2001). Relationships between Accidents and Geometric Characteristics for Four Lanes Median Separated Roads. *International Conference: Traffic Safety on Three Continents*.
- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah. (2004). Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. In *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-09-2004-B*
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). Pedoman Desain Geometrik Jalan. In *Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan No. 13/P/BM/2021*.
- Fu, R., Guo, Y., Yuan, W., Feng, H., & Ma, Y. (2011). The correlation between gradients of descending roads and accident rates. *Safety Science*, 49(3), 416–423.
<https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2010.10.006>
- Haryadi, B., Narendra, A., & Riyanto, B. (2009). Hubungan Antara Hourly Flow Dengan Kecelakaan: Kasus Jalan Tol Jakarta-Cikampek. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 11(2), 131–140.
- Hino. (2022, December 14). *List Product*. Retrieved December 14th, 2022 from <https://www.hino.co.id/product-list/2>.
- Høyve, A. K., & Hesjevoll, I. S. (2020). Traffic volume and crashes and how crash and road characteristics affect their relationship – A meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 145.
<https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105668>
- Islam, M. H., Teik Hua, L., Hamid, H., & Azarkerdar, A. (2019). Relationship of Accident Rates and Road Geometric Design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012040>
- Kementerian Pekerjaan Umum (2007). Penetapan Gol Jenis Kendaraan Bermotor pada Ruas Jalan Tol yang sudah Beroperasi dan Besarnya Tarif Tol pada Beberapa Ruas Jalan Tol. In *Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/M/2007*.
- Retallack, A. E., & Ostendorf, B. (2020). Relationship Between Traffic Volume and Accident Frequency at Intersections. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4).
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17041393>
- Scott, R. E., & O'Day, J. (1971). *Statistical Analysis of Truck Accident Involvement*. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.
- Toma, M., Andreescu, C., & Stan, C. (2018). Influence of tire inflation pressure on the results of diagnosing brakes and suspension. *Procedia Manufacturing*, 22, 121–128.
<https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.03.019>