

Zona Risiko: Identifikasi Dan Mitigasi Daerah Rawan Kecelakaan Di Tol Waru-Juanda Menggunakan Pendekatan Multianalisis

Risk Zone: Identification And Mitigation Of Accident-Prone Areas On The Waru-Juanda Toll Road Using A Multianalysis Approach

Audya Keisya Adelia¹, Ardhika Budhi Laksono², Difa Rakha Mudzaka³, Fiarentina Berlianindy^{4*},
Brasie Pradana Sela Bunga Riska Ayu⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Rekayasa Sistem Transportasi Jalan, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal,
Indonesia

¹audya.adelia@gmail.com, ²ardhikabudhi8@gmail.com, ³dmudzaka@gmail.com,

⁴berlianindyafiarentina@gmail.com, ⁵brasie@pktj.ac.id

Abstrak

Jalan Tol Waru–Juanda merupakan jalur penting yang menghubungkan Kota Surabaya dengan Bandara Internasional Juanda. Seiring dengan tingginya volume lalu lintas, potensi kecelakaan di ruas tol ini menjadi perhatian utama dalam upaya meningkatkan keselamatan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab kecelakaan, mengidentifikasi lokasi rawan kecelakaan, serta memberikan rekomendasi strategi mitigasi guna mengurangi angka kecelakaan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis statistik kendali mutu dengan pendekatan *Upper Control Limit* (UCL), metode regresi untuk melihat hubungan antara volume lalu lintas dan kecelakaan, serta perhitungan *Equivalent Accident Number* (EAN), Z-Score, dan Cusum untuk menentukan peringkat lokasi rawan kecelakaan. Data yang digunakan terdiri dari data primer hasil observasi lapangan serta data sekunder berupa rekaman kecelakaan yang dikelola oleh PT Citra Margatama Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecelakaan tunggal merupakan jenis kecelakaan yang paling sering terjadi, dengan faktor utama berupa kelalaian pengemudi dan kecepatan tinggi. Lokasi rawan kecelakaan yang paling dominan berada di KM 11+200, dengan tingkat kecelakaan yang lebih tinggi dibandingkan segmen lainnya. Selain itu, meskipun sebagian besar fasilitas keselamatan telah memenuhi standar pelayanan minimal, masih ditemukan beberapa kekurangan, seperti kondisi barier yang rusak dan pencahayaan yang kurang optimal. Sebagai rekomendasi, strategi mitigasi yang dapat diterapkan meliputi peningkatan pengawasan di lokasi rawan kecelakaan, pemasangan rambu tambahan, optimalisasi sistem penerangan, serta edukasi kepada pengguna jalan mengenai keselamatan berkendara.

Kata kunci: keselamatan jalan; kecelakaan lalu lintas; mitigasi kecelakaan

Abstract

The Waru–Juanda Toll Road is a crucial route connecting Surabaya City to Juanda International Airport. Due to the high traffic volume, the risk of accidents along this toll road has become a major concern in efforts to improve road safety. This study aims to analyze the contributing factors of accidents, identify accident-prone locations, and provide mitigation strategies to reduce the accident rate. The research employs several methods, including quality control statistical analysis using the Upper Control Limit (UCL) approach, regression analysis to examine the relationship between traffic volume and accident occurrences, and calculations of Equivalent Accident Number (EAN), Z-Score, and Cusum to determine rankings of accident-prone locations. The data used consists of primary data obtained from field observations and secondary data sourced from accident records managed by PT Citra Margatama Surabaya. The findings indicate that single-vehicle accidents are the most frequent type, primarily caused by driver negligence and excessive speed. The most accident-prone location is identified at KM 11+200, which records a higher accident rate compared to other segments. Additionally, while most road safety facilities comply with minimum service standards, some deficiencies remain, including damaged barriers and suboptimal lighting conditions. As a recommendation, several mitigation strategies can be implemented, including increased monitoring at accident-prone locations, installation of additional warning signs, optimization of the lighting system, and public awareness campaigns on safe driving practices.

Keywords: road safety; traffic accidents; accident mitigation

1. Pendahuluan

Pertumbuhan infrastruktur jalan tol di Indonesia telah menjadi pilar utama dalam meningkatkan konektivitas antarwilayah, mendukung kelancaran distribusi logistik, dan mempercepat mobilitas masyarakat. Salah satu proyek penting dalam jaringan transportasi ini adalah Jalan Tol Waru–Juanda yang menghubungkan Kota Surabaya dengan Bandara Internasional Juanda di Sidoarjo. Ruas tol dengan panjang 12,8 km dan dikelola oleh PT Citra Margatama Surabaya sejak 2008 memainkan peran vital sebagai akses utama menuju bandara. Peningkatan volume kendaraan pada jam sibuk dan hari libur, berbanding lurus dengan tingginya risiko kecelakaan lalu lintas. Berbagai studi sebelumnya menunjukkan bahwa lokasi rawan kecelakaan atau blackspot di jaringan

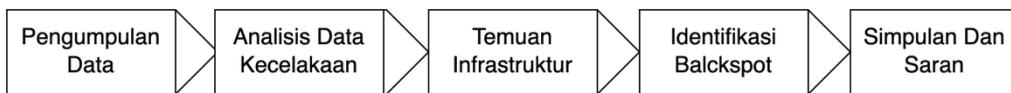
jalan dapat diidentifikasi melalui pendekatan berbasis data statistik dan observasi lapangan. Analisis lokasi kecelakaan dipentingkan dalam merumuskan kebijakan peningkatan keselamatan lalu lintas di ruas strategis. Pendekatan *Upper Control Limit* (UCL) dalam mengidentifikasi blackspot di Kabupaten Bekasi mampu mengarahkan penanganan infrastruktur secara lebih tepat sasaran pendekatan kuantitatif semacam ini terbukti efektif untuk menilai keberadaan anomali kecelakaan dalam suatu ruas jalan tol[1].

Meskipun sebagian besar fasilitas keselamatan pada Tol Waru–Juanda telah memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM), masih terdapat beberapa titik dengan potensi bahaya tinggi akibat faktor seperti geometri jalan yang tidak ideal, pencahayaan yang kurang memadai, hingga perilaku pengemudi yang lalai. Hal tersebut menegaskan perlunya pendekatan multimetodologi dalam memahami akar penyebab kecelakaan secara komprehensif. Fokus utama adalah

Identifikasi lokasi rawan kecelakaan difokuskan menggunakan pendekatan statistik dan observasi langsung, serta perumusan rekomendasi mitigasi berbasis bukti. Kontribusi nyata diberikan terhadap upaya peningkatan keselamatan jalan untuk berperan dalam pengembangan kebijakan berbasis data yang dapat diterapkan oleh pengelola jalan tol. Identifikasi dilakukan dengan memanfaatkan metode *Equivalent Accident Number* (EAN), *Upper Control Limit* (UCL), dan analisis regresi yang diharapkan dapat memberikan gambaran mendalam mengenai faktor dominan penyebab kecelakaan dan strategi penanganannya. Sistem pemantauan keselamatan jalan yang berbasis data menjadi respon terhadap kebutuhan mendesak sebagai upaya berkelanjutan dalam mendukung pencapaian target keselamatan transportasi nasional yang diamanatkan dalam Rencana Umum Nasional Keselamatan (RUNK) 2021-2024.

2. Metode

Pendekatan kuantitatif dan kualitatif digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan kecelakaan di KM 03+850. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui penerapan metode *Equivalent Accident Number* (EAN), metode *Upper Control Limit* (UCL) untuk analisis frekuensi kecelakaan tahunan, serta analisis kecepatan kendaraan berdasarkan klasifikasi golongan kendaraan. Pendekatan kualitatif melibatkan identifikasi faktor penyebab kecelakaan berdasarkan hasil observasi lapangan, evaluasi terhadap kondisi geometrik jalan dan kelengkapan fasilitas keselamatan, wawancara dengan pihak terkait, serta pengamatan terhadap perilaku pengguna jalan. Selain itu, pendekatan ini juga mencakup analisis terhadap efektivitas upaya penanganan yang telah diterapkan.



Gambar 1 Tahapan Proses

Observasi digunakan untuk memperoleh data mengenai kondisi fisik jalan, kejelasan dan kelayakan marka jalan, efektivitas serta keberadaan rambu lalu lintas, dan perilaku pengemudi dalam merespons berbagai elemen keselamatan jalan yang tersedia. Kegiatan observasi dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur guna mendapatkan gambaran yang akurat mengenai faktor-faktor yang berpotensi memengaruhi tingkat kecelakaan pada ruas jalan yang diteliti. Selain itu, data sekunder berupa jumlah kejadian kecelakaan, jenis kecelakaan yang terjadi, serta faktor-faktor penyebab kecelakaan diperoleh dari PT Citra Margatama Surabaya untuk periode tahun 2021 hingga 2024. Data tersebut dianalisis untuk mengidentifikasi pola kecelakaan yang berulang dan untuk menentukan faktor dominan yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko kecelakaan di lokasi tersebut. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam merumuskan strategi mitigasi yang tepat dan berbasis bukti. Metode EAN dihitung dengan menjumlahkan kejadian kecelakaan pada setiap kilometer panjang jalan, kemudian dikalikan dengan nilai bobot yang disesuaikan dengan tingkat keparahan kecelakaan. Nilai bobot standar yang digunakan seperti rumus(1).

$$EAN = 12 MD + 3 LB + 3 LR + 1 K \quad (1)$$

MD adalah Meninggal Dunia, LB adalah Luka Berat, LR adalah Luka Ringan, K adalah Kerusakan Kendaraan

Lokasi rawan kecelakaan ditentukan melalui pengendalian mutu dengan menggunakan metode *Upper Control Limit* (UCL) atau batas kendali atas. Jika nilai tingkat kecelakaan melebihi UCL, maka lokasi tersebut dikategorikan sebagai daerah rawan kecelakaan (Blackspot). Metode yang digunakan dalam kajian ini mengacu pada pendekatan statistik pengendalian mutu. UCL dihitung menggunakan rumus (2).

$$UCL = \lambda + \psi \times \sqrt{(\lambda/m + 0.829/m + (1/2) xm)} \quad (1)$$

UCL adalah Garis kendali batas atas, λ adalah nilai rata-rata angka kecelakaan, ψ adalah faktor probabilitas(2,576), m adalah nilai kecelakaan di setiap segmen.

Nilai faktor probabilitas (Ψ) yang sering digunakan yaitu 2,576 dengan probabilitas 0,005 (atau nilai signifikansi 99,5%) dan 1,645 dengan probabilitas 0,05 (atau nilai signifikansi 95%). Nilai batas kontrol atas dipengaruhi oleh nilai rata-rata dari angka ekivalen kecelakaan yang terdapat pada suatu wilayah pada kurun waktu satu tahun seperti pada 3.

$$BKA = C + 3 \sqrt{C} \quad (3)$$

C adalah rata-rata angka ekivalen kecelakaan (AEK).

3. Hasil dan Pembahasan

Lokasi rawan kecelakaan ditentukan dengan melakukan kendali mutu menggunakan *Upper Control Limit* (UCL) atau kendali batas atas [2]. Nilai tingkat kecelakaan yang melebihi UCL dinyatakan sebagai seksi rawan kecelakaan (blacklink). Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah statistik kendali mutu. Nilai angka ekivalen kecelakaan berdasarkan nilai pembobotan korban dari Bina Marga yaitu $MD:LB:LR/M=10:5:1$ [3]. Metode identifikasi lokasi rawan kecelakaan menggunakan perbandingan antara Jumlah AEK dengan UCL, jika jumlah AEK lebih besar dibandingkan dengan nilai UCL atau nilai BKA ($AEK > UCL$, $AEK > BKA$) maka dinyatakan sebagai lokasi rawan kecelakaan (blackspot) [4]. Berikut Identifikasi Blackspot di Tol Waru Juanda pada Jalur A dan B pada tahun 2021-2024.

Tabel 1. Daerah Rawan Kecelakaan

STA	Jalur	Frekuensi Kecelakaan				Jumlah	Rank
		2021	2022	2023	2024		
03+850	A	6	0	0	0	6	1
11+200	A	2	1	1	1	5	2
00+400	A	0	4	0	0	4	3
04+900	A	2	0	0	0	2	4
00+750	A	0	2	0	0	2	5
02+800	A	2	0	1	1	4	6
06+800	A	0	2	0	0	2	7
08+400	A	1	1	0	0	2	8

Hasil analisis pada tol Waru –Juanda, total hanya terdapat 1 lokasi rawan kecelakaan (blackspot). Pada jalur A pada kilometer 11+200 kecelakaan (blackspot) [5]. Pada jalur A pada kilometer 11+200. Kegiatan Monitoring dan Evaluasi Standar Pelayanan Minimal (SPM) Kendaraan dan Jalan Tol Waru-Juanda. Hasil perhitungan analisis lokasi rawan kecelakaan di ruas tol Waru-Djuanda Surabaya data dari 3 tahun, yaitu pada tahun 2021 sampai tahun 2024 yang akan digolongkan menggunakan metode perhitungan Frekuensi, EAN (UCL & BKA) [6]. Lokasi rawan kecelakaan sebagai berikut:

Tabel 2. Identifikasi Daerah Rawan Kecelakaan Tahun 2021-2024

KM	LR	LB	MD	12MD	6LB	3LR	EAN	BKA	UCL	KET
03+850	5	1	0	0	3	15	18	4,949648	7,747747953	BLACKSPOT
11+200	2	2	0	0	6	6	12	4,949648	6,346107273	BLACKSPOT
00+400	2	1	0	0	3	6	9	4,949648	5,520164916	BLACKSPOT
02+800	2	0	0	0	0	6	6	4,949648	4,563350858	BLACKSPOT
04+900	0	2	0	0	6	0	6	4,949648	4,563350858	BLACKSPOT
00+750	2	0	0	0	0	6	6	4,949648	4,563350858	BLACKSPOT
06+800	2	0	0	0	0	6	6	4,949648	4,563350858	BLACKSPOT

Lokasi rawan kecelakaan di ruas tol Waru- Djuanda Surabaya ada pada seksi A pada KM 03+850 nomor 1 tingkat kecelakaan dengan hasil EAN 21 dan UCL 8,362 , KM 11+200 nomor 2 tingkat kecelakaan dengan hasil EAN 18 dan UCL 11,377, KM 00+400 nomor 3 tingkat kecelakaan dengan hasil EAN 15 dan UCL 7,080, KM 04+900 nomor 4 tingkat kecelakaan dengan hasil EAN 12 dan UCL 6,346 [7]. Data frekuensi kecelakaan dari tahun 2021 hingga 2024, KM 11+200 tercatat mengalami lima kejadian kecelakaan, menjadikannya titik dengan jumlah kecelakaan tertinggi kedua setelah KM 03+850. Yang lebih mencolok, KM 11+200 menunjukkan konsistensi kecelakaan setiap tahunnya—dengan masing-masing satu kejadian tercatat pada tahun 2021, 2022, 2023, dan 2024 [8]. Pola ini mengindikasikan bahwa insiden yang terjadi bukan bersifat acak atau insidental, melainkan dapat mencerminkan adanya permasalahan sistemik di lokasi tersebut, baik dari sisi geometrik jalan, kondisi lingkungan sekitar, maupun perilaku pengguna jalan. Oleh karena itu, KM 11+200 layak menjadi fokus dalam upaya identifikasi dan mitigasi risiko kecelakaan lalu lintas, sebagai bagian dari perencanaan keselamatan jalan yang berbasis data dan berkelanjutan.

KM 11+200 di Jalan Tol Waru-Juanda merupakan salah satu daerah Blackspot yang teridentifikasi sebagai lokasi rawan kecelakaan. Dalam periode pengamatan, telah terjadi total 13 kecelakaan, yang terdiri dari: 1 kejadian kecelakaan pada tahun 2022, 6 kejadian kecelakaan pada tahun 2023, 6 kejadian kecelakaan pada tahun 2024). Dengan jumlah kecelakaan yang signifikan ini, KM 11+200 menduduki peringkat nomor 2 dalam daftar lokasi rawan kecelakaan di jalur tol tersebut. Daerah Blackspot ini menunjukkan perlunya perhatian khusus dalam hal keselamatan lalu lintas, termasuk pemasangan rambu- rambu peringatan dan peningkatan infrastruktur untuk mengurangi risiko kecelakaan di masa mendatang . Dikarenakan daerah rawan kecelakaan masih dalam satu lajur yang sama, maka dapat disimpulkan untuk daerah rawan kecelakaan di ruas tol Waru-Djuanda yaitu KM 11+200 Seksi A Ruas tol kearah Bandara Djuanda Jalur A. Daerah rawan kecelakaan di ruas tol tersebut diberikan rekomendasi penanganan.

Kondisi jalan di KM 11+200 Jalur A ini sama seperti dengan jalan lain yang mempunyai lebar jalur 8,5 m, lebar bahu 0,5 m dan lebar bahu luar 2,5 m. Perkerasan jalan pada KM 11+200 Jalur A yaitu perkerasan rigid dan aspal pavement. Kondisi perkerasan terhadap KM 11+200 ini baik [9]. Berdasarkan hasil inspeksi di ruas jalan tol, kondisi marka jalan secara umum dalam keadaan baik, termasuk marka tepi dan marka putus-putus yang masih terlihat jelas. Dari segi rambu lalu lintas, rambu dilarang berhenti serta rambu chevron juga dalam kondisi baik dan masih berfungsi sebagaimana mestinya. Namun, terdapat sedikit kerusakan pada rambu peringatan akhir tol yang mengalami penyok. Selain itu, fasilitas keselamatan jalan lainnya, seperti mata kucing dan delineator, masih dalam kondisi baik dan dapat berfungsi dengan optimal. Penerangan Jalan Umum (PJU) di sepanjang jalur tol juga terpantau dalam keadaan baik, sehingga dapat memberikan visibilitas yang cukup bagi pengendara, terutama pada malam hari. Namun, terdapat kerusakan pada barier, di mana beberapa bagian mengalami kerusakan fisik serta cat yang mulai memudar. Hal ini perlu mendapatkan perhatian agar tetap berfungsi secara maksimal dalam menjaga keselamatan pengguna jalan.

Sebagai upaya mengurangi angka kecelakaan di Tol Waru-Juanda, khususnya di KM 11+200 yang teridentifikasi sebagai daerah rawan kecelakaan, disarankan pemasangan lampu LED di tengah barier jalan . Lokasi ini kerap mengalami kecelakaan tunggal akibat pengemudi kehilangan kendali, terutama saat malam hari atau saat visibilitas rendah. Lampu LED ini berfungsi untuk meningkatkan pencahayaan dan visibilitas, sehingga pengemudi dapat lebih waspada terhadap kondisi jalan. Pemasangan dilakukan pada bagian tengah barier sepanjang KM 11+200, dengan sistem sensor otomatis yang menyala saat kondisi gelap.



Gambar 2 Lampu Tengah Barier

Untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas, disarankan pemasangan Variable Message Sign (VMS) di KM 11+000, yaitu sebelum titik rawan kecelakaan di KM 11+200. VMS berfungsi menampilkan pesan peringatan, imbauan kecepatan, serta kondisi lalu lintas secara real-time kepada pengendara . Pemasangan ini penting dilakukan karena KM 11+200 telah terbukti sebagai blackspot, dengan frekuensi kecelakaan tinggi selama tiga tahun terakhir. VMS akan membantu meningkatkan kewaspadaan pengemudi, terutama saat volume kendaraan padat, cuaca buruk, atau menjelang area tikungan dan barier. Perangkat ini akan dipasang di lokasi strategis, sebelum pengemudi memasuki area rawan, agar memiliki cukup waktu untuk mengantisipasi. Pengelolaan VMS dilakukan oleh operator jalan tol, bekerja sama dengan pusat kontrol lalu lintas dan instansi terkait.



Gambar 3 VMS

Untuk mendukung penurunan angka kecelakaan di Tol Waru–Juanda, khususnya akibat pelanggaran batas kecepatan, direkomendasikan pemasangan Speed Camera berbasis sistem Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE) di KM 11+150, yakni menjelang lokasi rawan kecelakaan KM 11+200. Alat ini digunakan untuk mengukur dan merekam kecepatan kendaraan secara otomatis, serta mendokumentasikan pelanggaran batas kecepatan melalui kamera pengawas. Data yang terekam kemudian digunakan untuk penegakan hukum secara elektronik, dan dapat juga dijadikan dasar untuk edukasi keselamatan berkendara. KM 11+200 merupakan titik dengan tingkat kecelakaan tunggal tertinggi selama tiga tahun terakhir, sebagian besar disebabkan oleh kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi di jalan lurus sebelum masuk ke segmen dengan barrier. Pemasangan Speed Camera sebelum titik ini akan membantu mengurangi pelanggaran kecepatan dan meningkatkan kesadaran pengemudi [10]. Speed Camera akan dipasang di lokasi strategis dan diintegrasikan dengan pusat pengawasan lalu lintas tol, dikelola oleh PT Citra Margatama Surabaya bekerja sama dengan pihak kepolisian (Polres/Polda Jawa Timur). Penerapan sistem ini juga akan mendukung penegakan hukum berbasis ETLE, yang memungkinkan pemberian sanksi kepada pelanggar tanpa perlu interaksi langsung.



Gambar 4 Speed Camera

Untuk meningkatkan keamanan, keselamatan, ketertiban dan juga kelancaran lalu lintas di Jalan Tol PT Citra Margatama Surabaya sebaiknya melakukan perjanjian kerjasama dengan Polres Surabaya, Polda Jawa Timur tentang penegakan hukum lalu lintas di jalan tol dengan memakai sistem Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE). Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE) yaitu penerapan kamera pemantau berteknologi canggih untuk mengontrol pelanggaran lalu lintas di sejumlah ruas jalan [11]. Untuk pengendara yang telah melanggar aturan terhadap batas kecepatan paling tinggi atau paling rendah akan mendapatkan denda paling banyak yaitu Rp. 500.000 atau dipidana kurungan paling lama dua bulan (Pasal 287 ayat 5). Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE) beroperasi dengan merekam dan memotret jika melakukan pelanggaran lalu lintas disetiap ruas tolnya yang secara otomatis [12]. Jika kendaraan akan dianggap telah melakukan pelanggaran, maka pengendara bersangkutan akan diberi tahu penilangannya melalui pesan elektronik atau surat konfirmasi yang akan diantarkan ke alamatnya (Samsiah et al., 2024). Apabila pelanggar benar-benar bersalah dan enggan melunasi denda tilangnya, maka Surat Tanda Nomor Kendaraan (STNK) pelanggar akan diblokir sampai melunasi denda tilang [13]. Untuk mengurangi angka kecelakaan di Tol Waru–Juanda, disarankan pemasangan *Roll Barrier* di KM 11+200 Jalur A, lokasi dengan tingkat kecelakaan tertinggi berdasarkan data tiga tahun terakhir. *Roll Barrier* berfungsi meredam benturan dan mengembalikan kendaraan ke jalur aman, sehingga efektif mencegah kecelakaan fatal akibat tergelincir atau keluar jalur. Pemasangan dilakukan di sisi luar jalan yang rawan kehilangan kendali, terutama saat hujan atau kecepatan tinggi. PT Citra Margatama Surabaya akan bertanggung jawab atas pelaksanaan, bekerja sama dengan kontraktor.

Gambar 5 *Roll Barier*

Salah satu faktor yang memperburuk potensi kecelakaan adalah kecepatan tinggi kendaraan, terutama kendaraan berat yang mendominasi lalu lintas di jalan tol ini. Selain itu, minimnya rambu peringatan yang jelas, serta kurangnya fasilitas keselamatan seperti delineator dan marka jalan reflektif, membuat pengemudi sulit untuk mengantisipasi perubahan kondisi jalan. Pada beberapa lokasi, penerangan jalan yang kurang memadai juga menjadi faktor penyumbang utama dalam meningkatnya risiko kecelakaan pada malam hari atau saat cuaca buruk. Frekuensi kecelakaan yang tinggi di titik-titik ini menunjukkan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap desain jalan dan penambahan fasilitas keselamatan. Di sisi lain, edukasi pengguna jalan dan penyebaran informasi mengenai titik rawan kecelakaan dapat meningkatkan kewaspadaan. Strategi ini perlu didukung oleh monitoring berkala berbasis data kecelakaan untuk menilai efektivitas perbaikan dan merumuskan tindak lanjut yang tepat. Dengan kombinasi pendekatan teknis, operasional, dan edukatif, perbaikan di lokasi rawan kecelakaan tikungan tol dapat meningkatkan keselamatan secara signifikan dan berkelanjutan, seperti pengaturan kecepatan, pemasangan rambu peringatan, serta peningkatan pencahayaan dan penataan ulang geometri jalan di beberapa segmen rawan kecelakaan. Dengan intervensi yang tepat, diharapkan angka kecelakaan dapat berkurang dan keselamatan pengguna jalan tol dapat terjaga dengan lebih baik.

Evaluasi terhadap kondisi ruas Jalan Tol Waru–Juanda menunjukkan bahwa keberadaan titik rawan kecelakaan atau blackspot di beberapa segmen jalan sangat dipengaruhi oleh faktor geometrik jalan yang tidak ideal, kecepatan kendaraan yang tinggi, serta minimnya fasilitas keselamatan yang memadai. Secara khusus, geometri jalan yang mencakup tikungan tajam dan penurunan jalan yang curam mengurangi visibilitas dan kontrol kendaraan, yang berpotensi menyebabkan kecelakaan, terutama pada kondisi cuaca buruk atau malam hari. Kecepatan tinggi yang umum terjadi di ruas jalan tol ini, ditambah dengan dominasi kendaraan berat, memperburuk kondisi tersebut, mengingat kendaraan-kendaraan ini membutuhkan jarak pengembaraan yang lebih panjang dan waktu reaksi yang lebih lama. Di sisi lain, minimnya pemasangan rambu peringatan yang jelas, delineator, serta penerangan jalan yang cukup, menyebabkan pengemudi kesulitan dalam merespons perubahan kondisi jalan secara tepat waktu. Berdasarkan data kecelakaan yang teridentifikasi, permasalahan ini menunjukkan perlunya tindakan perbaikan dari aspek desain jalan, seperti pengaturan kembali geometri jalan dan peningkatan fasilitas keselamatan, termasuk rambu dan penerangan. Selain itu, diperlukan pula pengawasan yang lebih ketat terkait pengaturan kecepatan untuk mencegah kecelakaan lebih lanjut. Evaluasi ini menyoroti pentingnya intervensi yang komprehensif guna meningkatkan keselamatan pengguna jalan tol dan mengurangi potensi kecelakaan pada ruas tersebut.

Secara umum, strategi perbaikan pada lokasi rawan kecelakaan (blackspot) di tikungan jalan tol harus didasarkan pada pendekatan yang menyeluruh dan terpadu. Tikungan merupakan bagian jalan yang secara alami memiliki tingkat risiko lebih tinggi akibat perubahan arah lajur, keterbatasan visibilitas, serta kecenderungan pengemudi untuk mempertahankan kecepatan tinggi. Oleh karena itu, strategi perbaikannya harus mencakup aspek perbaikan geometrik, seperti peningkatan radius tikungan, pelebaran bahu jalan, dan penyesuaian kemiringan melintang (superelevasi) agar sesuai dengan kecepatan rencana. Selain itu, diperlukan penambahan perlengkapan keselamatan, seperti chevron sign, marka jalan reflektif, delineator, serta pencahayaan yang memadai untuk meningkatkan visibilitas, terutama pada malam hari atau kondisi cuaca buruk. Pengendalian kecepatan melalui rambu, kamera pengawas, dan sistem peringatan dinamis juga penting untuk mendorong perilaku berkendara yang lebih aman. Di sisi lain, edukasi pengguna jalan dan penyebaran informasi mengenai titik rawan kecelakaan dapat meningkatkan kewaspadaan. Strategi ini perlu didukung oleh monitoring berkala berbasis data kecelakaan untuk menilai efektivitas perbaikan dan merumuskan tindak lanjut yang tepat. Dengan kombinasi pendekatan teknis, operasional, dan edukatif, perbaikan di lokasi rawan kecelakaan tikungan tol dapat meningkatkan keselamatan secara signifikan dan berkelanjutan.

4. Simpulan

Secara umum jalan tol ini telah memenuhi sebagian besar Standar Pelayanan Minimal (SPM) sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. Temuan utama menunjukkan bahwa aspek kondisi infrastruktur, seperti barier dan pencahayaan, masih memerlukan perbaikan untuk menjamin keselamatan pengguna jalan. Dari segi lalu lintas, arus kendaraan tergolong padat dengan dominasi kendaraan golongan I, dan meskipun kecepatan rata-rata masih dalam batas yang ditetapkan, terjadi perlambatan di titik-titik tertentu saat jam sibuk. Analisis kecelakaan mengungkapkan bahwa kecelakaan tunggal menjadi jenis yang paling sering terjadi, dengan penyebab utama berupa kelalaian pengemudi, terutama karena mengantuk dan kurangnya antisipasi, serta dominannya kejadian saat cuaca cerah. Salah satu titik rawan kecelakaan yang menonjol adalah di KM 11+200, yang memerlukan penanganan khusus berupa peringatan tambahan, peningkatan pengawasan, dan edukasi kepada pengguna jalan. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal cakupan waktu pengumpulan data dan belum mencakup analisis perilaku pengemudi secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut disarankan untuk meninjau faktor-faktor manusia secara lebih detail serta melakukan evaluasi terhadap efektivitas penanganan titik rawan kecelakaan dari waktu ke waktu.

Ucapan Terima Kasih [jika ada]

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya diberikan kepada PT Citra Margatama Surabaya, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan yang telah memfasilitasi penelitian.

Kontribusi

Konseptor: Fiarentina Berlianindya, Audya Keisya Adelia; Kajian Pustaka: Brasie Pradana S.B.R.A, Difa Rakha Mudzaka, Ardhika Budhi Laksono; Metodologi: Brasie Pradana S.B.R.A, Audya Keisya Adelia; Pengumpulan Data: Fiarentina Berlianindya; Pengolahan dan Implementasi Data: Fiarentina Berlianindya; Pelaporan: Brasie Pradana S.B.R.A, Fiarentina Berlianindya; Pembahasan dan Simpulan: Seluruh Author

Referensi

- [1] U. S. Lestari and R. I. Anjarsari, "Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Dan Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Jalan Ahmad Yani (Ruas KM 17-KM36) Kota Banjarbaru," *J. Teknol. Berkelaanjutan (Sustainable Technol. Journal)*, vol. 9, no. 2, pp. 110–117, 2020.
- [2] U. Fariz and D. Kusmayadi, "Identifikasi Lokasi Rawan Kecelakaan (Blackspot) Di Kabupaten Bekasi," *J. Keselam. Transp. Jalan (Indonesian J. Road Safety)*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.46447/ktj.v10i1.520.
- [3] D. Supriyatno, "Identifikasi Daerah Rawan Kecelakaan Surabaya 2020," vol. 5, no. 1, pp. 422–427, 2020.
- [4] M. R. Nurtisty, J. E. Simangunsong, T. S. P. Arifin, and B. Budi Haryanto, "ANALISIS KARAKTERISTIK KECELAKAAN LALU LINTAS PADA TITIK BLACKSPOT di RUAS JALAN AHMAD YANI KILOMETER 21, JALAN WAHID HASYIM II dan JALAN CIPTO MANGUNKUSUMO SAMARINDA," *Teknol. Sipil J. Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, p. 19, 2023, doi: 10.30872/ts.v7i2.13184.
- [5] H. Azwansyah, "Penentuan Blacksite dengan Metode Z-Score pada Koridor Ruas Jalan Alianyang – Jalan Pangeran Natakusuma – Jalan Danau Sentarum Kota Pontianak," vol. IX, no. 4, pp. 11206–11215, 2024.
- [6] Y. Oktopianto and S. Pangesty, "Analisis Daerah Lokasi Rawan Kecelakaan Jalan Tol Tangerang-Merak," *J. Keselam. Transp. Jalan (Indonesian J. Road Safety)*, vol. 8, no. 1, pp. 26–37, 2021, doi: 10.46447/ktj.v8i1.301.
- [7] R. Rahmawati, H. Widarto, and N. Hadansi, "Analisis Tingkat Kecelakaan Menggunakan Metode Accident Rate Dan Equivalent Accident Number (Ean) Di Kab. Enrekang," *STABILIT4 || J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 3, p. 143, 2023, doi: 10.55679/jts.v11i3.46257.
- [8] A. C. Sutandi, "Analisis Blackspot Di Indonesia Berdasarkan Perbedaan Kondisi Jalan, Fatalitas Kecelakaan, Dan Analisis Risiko," *J. Jalan Jemb.*, vol. 40, no. 1, pp. 67–76, 2023, doi: 10.58499/jatan.v40i1.1179.
- [9] K. Al Qubro, M. Fauzi, and A. Christine, "Penentuan Titik Rawan Kecelakaan (Black Spot) Pada Ruas Jalan Nasional Palembang – Indralaya," *Bear. J. Penelit. dan Kaji. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 3, p. 151, 2022, doi: 10.32502/jbearing.4650202273.
- [10] M. S. H. BayuKusumo Nugroho, "Identifikasi Daerah Rawan Kecelakaan Pada Jalan Tol Surabaya –Gresik," *Teknol. Transp. dan Logistik*, vol. 1, no. 1, pp. 29–34, 2020.
- [11] V. M. Benyamin Lufpi, "Efektivitas Electronic Traffic Law Enforcement," *J. Ilmu Kepol.*, vol. 16, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.35879/jik.v16i1.350.
- [12] A. Fahza and H. Widayastuti, "Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas pada Ruas Jalan Tol Surabaya-Gempol.," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 1, pp. 54–59, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v8i1.42123.
- [13] M. Juhendra et al, "Analisis Daerah Rawan Kecelakaan," *18th FSTPT Int. Symp.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–30, 2015.