

Penentuan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas (*Black-spot*) Berbasis Geometrik Jalan

Gunawan Wibisono¹, Gito Sugiyanto², Probo Hardini³

¹Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
Jalan Mayjend Sungkono Km 5, Blater, Purbalingga, Jawa Tengah, Indonesia.

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
Jalan Mayjend Sungkono Km 5, Blater, Purbalingga, Jawa Tengah, Indonesia.
gito.sugiyanto@unsoed.ac.id

Abstrak

Angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia sangat tinggi, mencapai 1.150.025 kecelakaan dengan korban meninggal dunia 27.329 orang pada tahun 2024. Upaya mengurangi jumlah kecelakaan yaitu dengan menentukan dan menangani daerah rawan kecelakaan lalu lintas (*black-spot*). Metode yang digunakan untuk menentukan lokasi rawan kecelakaan yaitu berdasarkan Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)-*Upper Control Limit* (UCL). Kelemahan metode AEK-UCL yaitu lokasi rawan kecelakaan baru dapat ditentukan menunggu adanya data kecelakaan dan korban baik nyawa maupun harta benda. Untuk itu perlu dicari metode pendekatan baru dalam menentukan lokasi rawan kecelakaan tanpa harus menunggu kecelakaan dan korban. Tujuan penelitian untuk merumuskan model penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas berdasarkan fasilitas geometrik jalan. Setiap parameter geometrik jalan dibandingkan dengan nilai standar perencanaan geometrik jalan sesuai fungsi dan dilakukan pembobotan. Nilai total pembobotan dianalisis statistik untuk menentukan ruas jalan tersebut masuk kategori lokasi rawan kecelakaan atau tidak. Enam parameter geometrik jalan yang digunakan yaitu kecepatan kendaraan, lebar lajur jalan, lebar bahu jalan, lebar trotoar jalan, lebar median jalan, dan beda elevasi antara bahu dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*). Lokasi rawan kecelakaan di Kabupaten Purbalingga meliputi ruas jalan Bayeman Tlahab Lor Karangreja, ruas jalan Majasari Bukateja, ruas jalan Bojongsari, ruas jalan Mayjend Sungkono Kalimanah Wetan, ruas jalan Gembong Bojongsari, ruas jalan Kejobong, ruas jalan Selanegara Kaligondang, ruas jalan Kebutuh Bukateja, ruas jalan Bojong Bukateja, dan ruas jalan Bojanegara Padamara. Terdapat perbedaan urutan peringkat lokasi rawan kecelakaan antara metode AEK-UCL dan metode pembobotan berdasarkan parameter geometrik jalan.

Kata kunci: Lokasi rawan kecelakaan, keselamatan lalu lintas, geometrik jalan, angka ekuivalen kecelakaan, *upper control limit*

Abstract

The number of traffic accidents in Indonesia is very high, reaching 1,150,025 accidents with 27,329 fatalities in 2024. Efforts to reduce the number of accidents include identifying and addressing accident-prone areas. The method used to determine black-spot is based on the Equivalent Accident Number (EAN) and Upper Control Limit (UCL). The weakness of the EAN-UCL method is that black-spot can only be determined after data on accidents and casualties, both life and property, is available. Therefore, research is needed to find new methods and approaches to determine black-spot locations without having to wait for accidents and casualties. The aim of this research is to formulate a model for determining black-spot locations based on road geometric facilities. Each road geometric parameter is compared with the standard road geometric design according to its function and is weighted. The total weighted value is analyzed statistically to determine whether the road section is categorized as a black-spot location or not. Six geometric road parameters include vehicle speed, lane width, shoulder width, sidewalk width, median width, and the difference in elevation between shoulder and edge of the road pavement (*drop-off*). Black-spot locations in Purbalingga Regency include Bayeman Tlahab Lor Karangreja road, Majasari Bukateja road, Bojongsari road, Mayjend Sungkono Kalimanah Wetan road, Gembong Bojongsari road, Kejobong road, Selanegara Kaligondang road, Kebutuh Bukateja road, Bojong Bukateja road, and Bojanegara Padamara. There are differences in the ranking of black-spot locations between the EAN-UCL method and the weighting method based on road geometric facilities.

Keywords: Black-spot, traffic safety, road geometric, equivalent accident number, upper control limit

I. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia mencapai kondisi sangat memprihatinkan. Penyebabnya adalah tingginya pertumbuhan kepemilikan kendaraan pribadi khususnya sepeda motor. Faktor lain penyebab tingginya kecelakaan adalah rendahnya tingkat kedisiplinan para pengguna jalan dalam berlalulintas [1]. Mengacu data Korlantas Polri, kecelakaan tahun 2024 mencapai 1.150.025 kecelakaan dengan korban meninggal dunia 27.329 orang, luka berat 10.751 orang dan luka ringan 113.518 orang. Angka kecelakaan ini naik 8 kali lipat dibandingkan dengan data tahun 2023 [2]. Tiga faktor penyebab kecelakaan lalu lintas yaitu faktor manusia, kendaraan, dan jalan/lingkungan [3][4]. Penyebab kecelakaan tertinggi adalah faktor manusia (*human-error*), karena kecerobohan pengendara, kurangnya pemahaman pengendara sepeda motor terhadap teknik berkendara [5] dan mengendarai kendaraan dengan kecepatan tinggi (*speeding*). Sebanyak 66% kecelakaan disebabkan oleh faktor manusia dan 33% karena faktor interaksi kendaraan, pengguna jalan, dan faktor lingkungan [5][6]. Mobilitas menjadi salah satu komponen yang berkontribusi terhadap kecelakaan lalu lintas [7][8]. Model keselamatan jalan difokuskan pada faktor risiko [9][10] dan penentuan nilai batas kecepatan maksimum [11][12]. Di New South Wales risiko kecelakaan turun 25,30% setelah penerapan aturan batas kecepatan [13][14]. Australia menurunkan nilai batas kecepatan di daerah perkotaan sebesar 10 km/jam dari 60 menjadi 50 km/jam, terbukti mampu mengurangi risiko akibat kecelakaan [15]. Perubahan kecepatan rerata 1 km/jam mengubah risiko kecelakaan lalu lintas sebesar 3%, meskipun kualitas dan fungsi jalan juga berpengaruh [16][17].

Upaya untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas dilakukan dengan cara menentukan dan menangani daerah rawan kecelakaan lalu lintas (*black-spot*). Daerah rawan kecelakaan adalah daerah yang mempunyai angka kecelakaan tinggi, risiko, dan potensi kecelakaan yang tinggi pada suatu ruas jalan [18]. Sampai sekarang, metode yang digunakan di Indonesia untuk menentukan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas yaitu berdasarkan Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)-*Upper Control Limit* (UCL) [19]. Akan tetapi, metode AEK-UCL mempunyai kelemahan yaitu lokasi rawan kecelakaan baru dapat ditentukan menunggu setelah adanya data kecelakaan lalu lintas dan korban kecelakaan [1][20]. Berdasarkan data korban kecelakaan selanjutnya baru dilakukan pembobotan dengan nilai untuk korban meninggal dunia (MD),

luka berat (LB), luka ringan (LR), dan *property damage only* (PDO). Untuk itu perlu metode atau pendekatan baru dalam menentukan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas tanpa harus menunggu terjadinya kecelakaan dan korban manusia atau harta benda.

Penelitian bertujuan untuk menentukan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga dengan menggunakan metode pembobotan angka ekuivalen kecelakaan-*upper control limit*, menentukan bobot parameter fasilitas geometrik jalan yang digunakan untuk menentukan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas, dan menentukan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas berdasarkan parameter fasilitas geometrik jalan.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Kabupaten Purbalingga, Provinsi Jawa Tengah. Data kecelakaan lalu lintas diperoleh dari Satlantas Polres Purbalingga untuk kejadian kecelakaan dari tanggal 1 Januari 2020 s.d 31 Desember 2023. Lokasi kecelakaan lalu lintas adalah semua ruas jalan yang terletak di Kabupaten Purbalingga baik berupa ruas jalan arteri maupun ruas jalan kolektor.

Pendekatan Analisis

Pendekatan analisis yang digunakan dalam riset adalah statistik kendali mutu. Nilai Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) mengacu hasil studi Puslitbang Prasarana Transportasi 2005 [21] dengan nilai pembobotan korban MD:LB:LR:PDO = 12:3:3:1. Penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas menggunakan statistik kendali mutu sebagai *control-chart upper control limit* seperti ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$UCL = \lambda + \psi \times \sqrt{\left(\frac{\lambda}{m}\right) + \left(\frac{0,829}{m}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)xm} \quad (1)$$

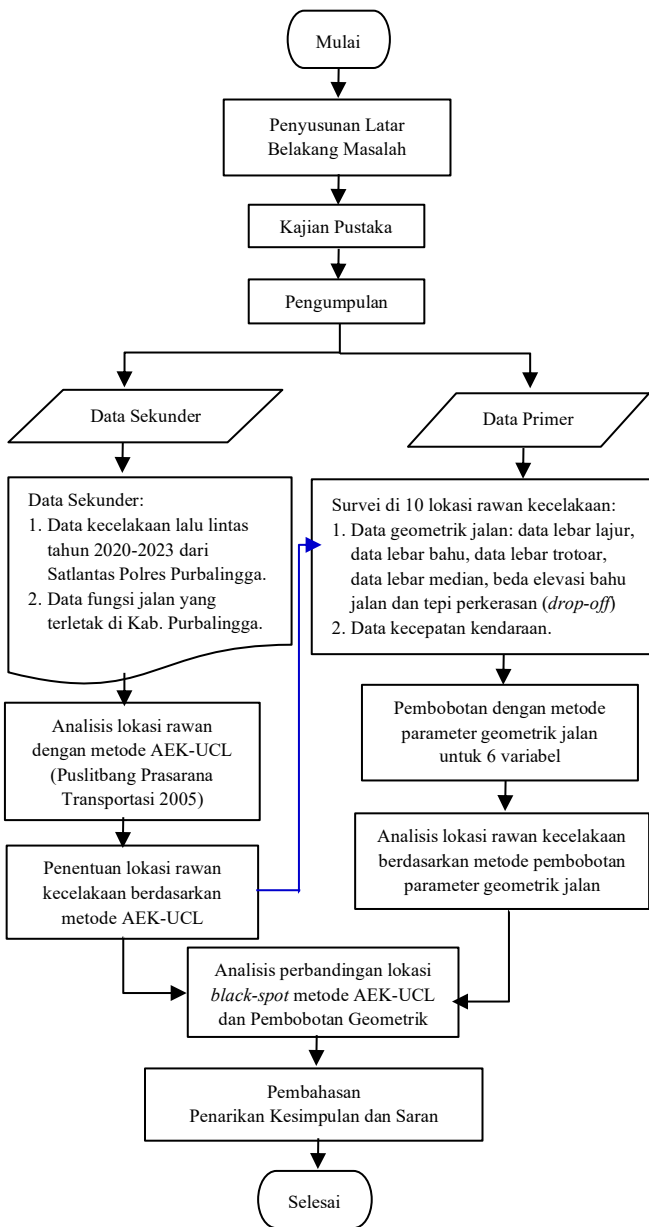
dimana:

λ = nilai rata-rata angka kecelakaan lalu lintas.

Ψ = faktor probabilitas = 2,576.

M = nilai kecelakaan di setiap segmen.

Jika suatu segmen ruas jalan memiliki nilai tingkat kecelakaan (jumlah Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)) berada di atas garis UCL maka segmen ruas jalan tersebut diidentifikasi sebagai lokasi rawan kecelakaan lalu lintas (*black-spot*) [21]. Nilai faktor probabilitas (Ψ) diambil sebesar 2,576, nilai probabilitas ini berarti tingkat kecelakaan cukup besar sehingga kecelakaan tidak dapat dianggap sebagai suatu kejadian acak [22]. Pada **Gambar 1** berikut ditunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Pada penelitian ini ditetapkan enam parameter fasilitas geometrik jalan yang digunakan dalam pembobotan penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas meliputi kecepatan kendaraan, lebar lajur jalan, lebar bahu jalan, lebar trotoar jalan, lebar median jalan, dan beda elevasi antara bahu dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*). Hal yang ditingkatkan dari penelitian sebelumnya adalah penggabungan dua standar perencanaan geometrik jalan di Indonesia yaitu berdasarkan Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) tahun 2004 [23] dan berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun

2021 [24]. Standar yang digunakan untuk pembobotan nilai kecepatan rencana yaitu mengacu pada Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 [23]. Kecepatan rencana untuk tipe jalan kolektor primer yaitu 40-80 km/jam dan untuk jalan arteri sekunder sebesar 50-80 [23]. Parameter geometrik jalan kedua yaitu lebar lajur jalan. Nilai lebar lajur lalu lintas paling kecil untuk kecepatan rencana sedang ($40 \leq V_D < 80$) km/jam yaitu 3,50 m per lajur [23]. Lebar lajur jalan untuk jalan sedang dan jalan raya mengacu pada Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24].

Standar yang digunakan untuk parameter geometrik jalan ketiga lebar bahu jalan adalah Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24]. Untuk tipe Jalan Sedang (JSD), 2/2-TT atau lebih, dengan kecepatan desain rendah ($V_D < 60$ km/jam), maka lebar bahu jalan minimum perkotaan harus 1,50 m dan diberi lapisan penutup agar dapat dikendarai pengendara sepeda motor, atau untuk bahu jalan antarkota harus 1,0 m dan cukup diberi perkerasan tidak berpenutup [24]. Lebar bahu jalan berdasarkan kelas jalan dapat bervariasi antara 0,5-2,5 m [23]. Parameter keempat lebar trotoar jalan menggunakan Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24], dengan lebar trotoar jalan minimal 1,50 m. Parameter kelima yaitu lebar median jalan bervariasi antara 1,50-12 m. Median jalan dengan lebar sampai 5 m sebaiknya ditinggikan dengan kerb. Lebar median jalan minimal 1,50 m [23]. Parameter keenam yaitu beda elevasi antara bahu dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*), mengacu pada Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 [23]. Ketinggian permukaan bahu jalan harus menerus dengan permukaan perkerasan jalan [23].

Metode pendekatan yang diusulkan yaitu berdasarkan parameter geometrik jalan. Setiap nilai parameter geometrik jalan dibandingkan dengan nilai standar perencanaan geometrik jalan yang berlaku di Indonesia yang disesuaikan dengan fungsi jalan. Nilai setiap parameter geometrik jalan selanjutnya dilakukan pembobotan. Dengan metode pembobotan geometrik jalan maka lokasi rawan kecelakaan dapat diprediksi/ditentukan sebelum insiden kecelakaan terjadi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Nilai AEK

Penyusunan peringkat ruas jalan disusun berdasarkan urutan nilai Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) total yang diperoleh dari pembobotan metode AEK pada setiap ruas jalan untuk semua tingkat fatalitas korban. Setelah nilai total AEK setiap ruas jalan dijumlahkan, kemudian

dilakukan pemeringkatan. Selanjutnya dibandingkan dengan nilai *Upper Control Limit* (UCL) setiap ruas jalan. Jika nilai AEK lebih besar dari nilai UCL maka dinyatakan sebagai lokasi rawan kecelakaan lalu lintas (*black-spot*). Ruas jalan dengan nilai total AEK terbesar dan nilai AEK > UCL maka diartikan sebagai ruas jalan yang paling rawan terjadi kecelakaan lalu lintas. Sehingga, ruas jalan dengan bobot total AEK paling besar menempati peringkat urutan pertama dan sebaliknya untuk ruas jalan dengan nilai total AEK paling kecil menempati urutan terakhir. Hasil analisis nilai AEK dan UCL untuk sepuluh ruas jalan di Kabupaten Purbalingga, Propinsi Jawa Tengah yang menjadi lokasi rawan kecelakaan lalu lintas ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai AEK dan UCL untuk sepuluh ruas jalan di Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah

No.	Ruas jalan	Nilai AEK	Nilai UCL
1.	Jalan Raya turut Bayeman, Desa Tlahab Lor Kec. Karangreja	168	58,32
2.	Jalan Raya turut Desa Majasari Kec. Bukateja	114	54,18
3.	Jalan Raya turut Desa Bojongsari Kec. Bojongsari	96	41,89
4.	Jalan Raya Mayjen Sungkono, Desa Kalimanah Wetan	90	52,03
5.	Jalan Raya Desa Gembong, Kec. Bojongsari	86	51,65
6.	Jalan Raya turut Desa Kejobong, Kec. Kejobong	85	51,55
7.	Jalan Raya turut Desa Selanegara, Kaligondang	83	51,36
8.	Jalan Raya turut Desa Kebutuh, Kec. Bukateja	80	51,06
9.	Jalan Raya turut Desa Bojong, Kec. Bukateja	77	50,76
10.	Jalan Raya turut Desa Bojanegara, Kec. Padamara	77	34,26

Berdasarkan **Tabel 1** diperoleh urutan 10 lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga. Ruas Jalan Raya turut Bayeman, Desa Tlahab Lor Kecamatan Karangreja mempunyai nilai AEK 168 dan nilai UCL 58,32. Nilai AEK yang diperoleh lebih besar jika dibandingkan dengan nilai UCL, maka ruas Jalan Raya turut Bayeman, Desa Tlahab Lor Kecamatan Karangreja merupakan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas (*black-spot*) dengan urutan pertama. Ruas jalan raya turut Desa Bojanegara, Kecamatan Padamara mempunyai nilai AEK 77 dan nilai UCL 34,26. Nilai AEK > UCL, maka ruang jalan Raya turut Desa Bojanegara, Kecamatan Padamara juga merupakan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga, menempati peringkat ke-10.

2. Pembobotan Parameter Geometrik Jalan

Parameter geometrik jalan pertama yaitu kecepatan kendaraan. Kecepatan kendaraan yang digunakan untuk pembobotan adalah berdasarkan kecepatan persentil 85th dari semua jenis kendaraan yang ada di lapangan. Ditetapkan lima interval pembobotan berdasarkan kecepatan kendaraan dengan angka bobot dari 1 sampai dengan 5. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan kenaikan kecepatan kendaraan setiap kelipatan 10% dari kecepatan standarnya. Standar yang digunakan untuk pembobotan nilai kecepatan rencana yaitu mengacu pada Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 [23]. Kecepatan rencana untuk tipe jalan kolektor primer yaitu 40-80 km/jam dan untuk jalan arteri sekunder sebesar 50-80 [23]. Interval pertama dengan nilai bobot 1 adalah kecepatan yang sesuai dengan standar, yaitu 60 km/jam untuk jalan arteri dan 50 km/jam untuk jalan kolektor. Untuk interval kedua sampai kelima diperoleh berdasarkan kenaikan kecepatan kendaraan setiap kelipatan 10% dari kecepatan standarnya. Diberikan bobot 5 jika kecepatan kendaraan di ruas jalan arteri ≥ 79 km/jam dan untuk ruas jalan kolektor ≥ 66 km/jam. Interval pembobotan nilai kecepatan kendaraan untuk jalan arteri dan jalan kolektor selengkapnya seperti dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Interval pembobotan kecepatan kendaraan untuk jalan arteri dan jalan kolektor

Interval kecepatan jalan arteri (km/jam)	Bobot	Interval kecepatan jalan kolektor (km/jam)
≤ 60	1	≤ 50
61-66	2	51-55
67-72	3	56-60
73-78	4	61-65
≥ 79	5	≥ 66

Parameter geometrik jalan yang kedua yaitu lebar lajur jalan. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan selisih lebar lajur jalan setiap kelipatan 0,20 m dari ukuran standarnya. Lebar lajur jalan untuk jalan sedang dan jalan raya mengacu pada Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24]. Nilai standar lebar lajur jalan untuk jalan arteri adalah 3,50 m per lajur dan untuk jalan kolektor 3,0 m per lajur. Bobot 1 adalah bobot terbaik dimana ukuran lebar lajur jalan sesuai dengan standar dalam peraturan Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24]. Diberikan bobot 5 jika lebar lajur untuk jalan arteri $\leq 2,89$ m dan untuk jalan kolektor $\leq 2,39$ m. Interval pembobotan lebar lajur jalan untuk jalan arteri dan jalan kolektor selengkapnya disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Interval pembobotan lebar lajur untuk jalan arteri dan jalan kolektor

Interval lebar lajur jalan arteri (m)	Bobot	Interval lebar lajur jalan kolektor (m)
$\geq 3,50$	1	$\geq 3,00$
3,30-3,49	2	2,80-2,99
3,10-3,29	3	2,60-2,79
2,90-3,09	4	2,40-2,59
$\leq 2,89$	5	$\leq 2,39$

Parameter geometrik jalan yang ketiga yaitu lebar bahu jalan. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan selisih lebar bahu jalan dibandingkan dengan lebar bahu standar yaitu berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24]. Bobot 1 adalah bobot terbaik dimana ukuran lebar bahu jalan sesuai dengan standar yaitu 0,25 m untuk jalan arteri dan jalan kolektor dengan trotoar dan 2 m untuk jalan arteri dan jalan kolektor tanpa trotoar. Diberikan bobot 5 jika lebar bahu jalan untuk jalan arteri dan jalan kolektor dengan trotoar 0-0,04 m dan untuk jalan tanpa trotoar 0-0,39 m. Interval pembobotan lebar bahu jalan dibedakan menjadi 2 yaitu untuk jalan dengan trotoar dan jalan tanpa trotoar baik untuk jalan arteri maupun jalan kolektor seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Interval pembobotan lebar bahu jalan untuk jalan arteri dan jalan kolektor dengan trotoar dan tanpa trotoar

Interval lebar bahu jalan arteri dan jalan kolektor ada trotoar (m)	Bobot	Interval lebar bahu jalan arteri dan jalan kolektor tanpa trotoar (m)
$\geq 0,25$	1	$\geq 2,00$
0,15-0,24	2	1,20-1,99
0,10-0,14	3	0,80-1,19
0,05-0,09	4	0,40-0,79
0,00-0,04	5	0,00-0,39

Parameter geometrik jalan yang keempat yaitu lebar trotoar jalan. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan selisih lebar trotoar jalan dibandingkan dengan lebar trotoar standar menggunakan Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 [24], dengan lebar trotoar jalan minimal 1,50 m. Bobot 1 adalah bobot terbaik dimana kondisi trotoar jalan sesuai dengan standar aturan yaitu $\geq 1,50$ m baik untuk jalan arteri maupun jalan kolektor, sementara bobot yang bernilai 5 adalah bobot yang paling buruk dimana ruas jalan tersebut tidak memiliki trotoar atau lebar trotoar 0 m. Interval pembobotan lebar trotoar jalan untuk ruas jalan arteri dan ruas jalan kolektor disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Interval pembobotan lebar trotoar jalan untuk jalan arteri dan jalan kolektor

Interval lebar trotoar jalan arteri (m)	Bobot	Interval lebar trotoar jalan kolektor (m)
$\geq 1,50$	1	$\geq 1,50$
0,90-1,49	2	0,90-1,49
0,60-0,89	3	0,60-0,89
0,30-0,59	4	0,30-0,59
0,00-0,29	5	0,00-0,29

Parameter geometrik jalan yang kelima yaitu lebar median jalan. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan selisih lebar median jalan dibandingkan dengan lebar median standarnya. Lebar median jalan minimal 1,50 m untuk jalan kolektor [23] dan 2,50 m untuk jalan arteri. Bobot 1 adalah bobot terbaik dimana ukuran lebar median jalan sesuai dengan standar/peraturan yaitu Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 [23]. Interval pembobotan lebar median jalan untuk ruas jalan arteri dan jalan kolektor disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Interval pembobotan lebar median jalan untuk jalan arteri dan jalan kolektor

Interval lebar median untuk jalan arteri (m)	Bobot	Interval lebar median untuk jalan kolektor (m)
$\geq 2,50$	1	$\geq 1,50$
1,50-2,49	2	0,90-1,49
1,00-1,49	3	0,60-0,89
0,50-0,99	4	0,30-0,59
0,00-0,49	5	0,00-0,29

Parameter geometrik jalan yang keenam untuk penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas yaitu beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*). Besarnya nilai *drop-off* mengacu pada Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004 [23] yaitu 0 m. Ketinggian permukaan bahu jalan harus menerus dengan permukaan perkerasan jalan [23]. Interval pembobotan ditetapkan berdasarkan besarnya selisih beda elevasi setiap kenaikan kelipatan 0,04 m. Bobot 1 adalah bobot yang terbaik dimana beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan 0-1 cm. Diberikan bobot 5 jika beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*) untuk jalan arteri maupun untuk jalan kolektor bernilai $> 0,13$ m. Interval pembobotan beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*) untuk ruas jalan arteri dan jalan kolektor disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Interval pembobotan beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*) untuk jalan arteri dan jalan kolektor

Interval beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan untuk jalan arteri (m)	Bobot	Interval beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan untuk jalan kolektor (m)
0,00-0,01	1	0,00-0,01
0,02-0,05	2	0,02-0,05
0,06-0,09	3	0,06-0,09
0,10-0,13	4	0,10-0,13
> 0,13	5	> 0,13

3. Uji Coba Penentuan Lokasi Rawan Kecelakaan dengan Parameter Geometrik Jalan

Pembobotan parameter geometrik jalan dilakukan dengan membandingkan data geometrik jalan hasil pengukuran di lapangan dengan interval pembobotan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2** sampai dengan **Tabel 7**. Enam parameter geometrik jalan yang digunakan meliputi kecepatan kendaraan, lebar lajur jalan, lebar bahu jalan, lebar trotoar jalan, lebar median jalan, dan *drop-off*. Dikarenakan untuk beberapa parameter geometrik ada yang memiliki dua data hasil pengukuran seperti lebar bahu jalan,

lebar trotoar jalan, dan beda elevasi (*drop-off*), maka yang digunakan untuk pembobotan adalah data yang terburuk. Hasil pembobotan parameter geometrik di ruas jalan turut Bayeman, Desa Tlahab Lor, Kecamatan Karangreja dengan fungsi jalan kolektor adalah kecepatan kendaraan 42 km/jam, masuk ke dalam interval pertama dengan nilai bobot 1. Parameter kedua yaitu lebar lajur jalan sebesar 3,60 m, maka bobotnya 1. Parameter ketiga yaitu lebar bahu jalan diperoleh nilai 0,90 m maka bobotnya 3. Parameter keempat lebar trotoar, tidak ada trotoar di lapangan (0 m) maka bobotnya 5. Parameter lebar median jalan 0 m (tidak ada), masuk dalam interval kelima sehingga bobotnya 5. Parameter keenam beda elevasi antara bahu jalan dan tepi perkerasan nilainya 30 cm (sisi arah Pemalang) dan 20 cm (sisi arah Bobotsari), dipilih nilai terbesar 30 cm maka nilai bobotnya 5. Sehingga dari enam parameter geometrik jalan, ruas jalan raya turut Bayeman, Desa Tlahab Lor, Karangreja memperoleh total bobot 20. Untuk sembilan ruas jalan di Kabupaten Purbalingga juga dilakukan survei di lapangan dan pembobotan untuk keenam parameter geometrik jalan. Jalan Raya turut Majasari, Bukateja memperoleh total bobot nilai 19. Hasil pembobotan parameter geometrik jalan untuk sepuluh ruas jalan di Kabupaten Purbalingga selengkapnya ditunjukkan di **Tabel 8**.

Tabel 8. Pembobotan parameter geometrik jalan ruas jalan di Kabupaten Purbalingga

No.	Nama jalan	Fungsi jalan	Kecepatan kendaraan (km/jam)	Lebar lajur (m)	Lebar bahu (m)	Lebar trotoar (m)	Lebar median (m)	Beda elevasi (cm)	Total bobot
1.	Jalan Raya turut Bayeman, Tlahab Lor	Jalan Kolektor	42,00	3,60	0,90	0,00	0,00	30,00	
	Bobot		1	1	3	5	5	5	20
2.	Jalan Raya turut Majasari, Bukateja	Jalan Kolektor	56,00	3,20	1,30	0,00	0,00	6,00	
	Bobot		3	1	2	5	5	3	19
3.	Jalan Raya turut Desa Bojongsari	Jalan Kolektor	48,00	4,00	2,00	0,00	0,00	13,00	
	Bobot		1	1	1	5	5	4	17
4.	Jalan Mayjend Sungkono (arah ke Purwokerto)	Jalan Arteri Sekunder	47,00	2,85	1,50	1,90	0,80	13,00	
	Bobot		1	5	1	1	4	4	16
5.	Jalan Raya turut Desa Gembong	Jalan Kolektor	49,00	3,40	1,80	0,00	0,00	8,00	
	Bobot		1	1	2	5	5	3	17
6.	Jalan Raya turut Desa Kejobong	Jalan Kolektor	50,00	3,40	1,00	0,00	0,00	0,00	
	Bobot		1	1	3	5	5	1	16
7.	Jalan Raya turut Desa Selanegara	Jalan Kolektor	47,00	3,40	1,00	1,00	0,00	1,00	
	Bobot		1	1	1	2	5	1	11
8.	Jalan Raya turut Desa Kebutuh	Jalan Kolektor	50,00	3,60	0,55	0,00	0,00	0,00	
	Bobot		1	1	4	5	5	1	17

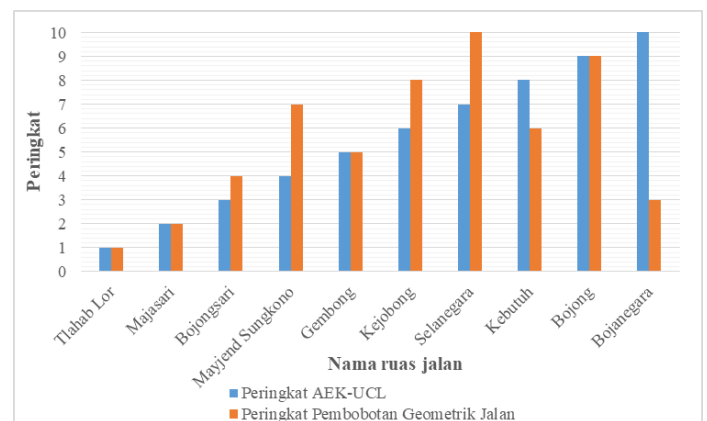
No.	Nama jalan	Fungsi jalan	Kecepatan kendaraan (km/jam)	Lebar lajur (m)	Lebar bahu (m)	Lebar trotoar (m)	Lebar median (m)	Beda elevasi (cm)	Total bobot
9	Jalan Raya turut Desa Bojong	Jalan Kolektor	48,00	3,50	2,10	1,50	0,00	13,00	
	Bobot		1	1	1	1	5	4	13
10.	Jalan Raya turut Desa Bojanegara	Jalan Kolektor	45,00	3,30	1,20	0,00	0,00	13,00	
	Bobot		1	1	2	5	5	4	18

Berdasarkan **Tabel 8** diperoleh urutan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga berdasarkan hasil pembobotan dengan metode parameter geometrik jalan yaitu:

- 1) Jalan Raya turut Bayeman, Desa Tlahab Lor, Kecamatan Karangreja dengan nilai bobot 20.
- 2) Jalan Raya turut Desa Majasari, Kecamatan Bukateja dengan nilai bobot 19.
- 3) Jalan Raya turut Desa Bojanegara, Kecamatan Padamara dengan nilai bobot 18.
- 4) Jalan Raya turut Desa Bojongsari, Kecamatan Bojongsari dengan nilai bobot 17.
- 5) Jalan Raya turut Desa Gembong, Kecamatan Bojongsari dengan nilai bobot 17.
- 6) Jalan Raya turut Desa Kebutuh, Kecamatan Bukateja dengan nilai bobot 17.
- 7) Jalan Raya Mayjend Sungkono (arah ke Purwokerto), Desa Kalimanah Wetan, Kecamatan Kalimanah dengan nilai bobot 16.
- 8) Jalan Raya turut Desa Kejobong, Kecamatan Kejobong dengan nilai bobot 16.
- 9) Jalan Raya turut Desa Bojong, Kecamatan Bukateja dengan nilai bobot 13.
- 10) Jalan Raya turut Desa Selanegara, Kecamatan Kaligondang dengan nilai bobot 11.

Dari hasil pemeringkatan lokasi rawan kecelakaan berdasarkan pembobotan metode angka ekuivalen kecelakaan (**Tabel 1**) dan metode parameter geometrik jalan (**Tabel 8**), bisa diketahui bahwa urutan lokasi rawan kecelakaan cenderung tidak jauh berbeda diantara kedua metode tersebut. Sebagai perbandingan, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**, ruas jalan raya turut Bayeman Desa Tlahab Lor menempati urutan pertama pada peringkat lokasi rawan kecelakaan lalu lintas berdasarkan pembobotan metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) dengan nilai total bobot sebesar 168. Sementara pada pembobotan metode parameter geometrik jalan juga menempati urutan pertama dengan nilai total bobot sebesar 20 dari bobot total maksimal untuk semua parameter sebanyak 30.

Sementara ruas jalan raya turut Desa Bojanegara, Padamara yang menempati urutan ke-10 pada metode AEK, berubah menjadi urutan ke-3 pada metode parameter geometrik jalan atau naik sebanyak tujuh peringkat. Perbandingan urutan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga dengan menggunakan pendekatan AEK-UCL dan pembobotan parameter geometrik jalan selengkapnya ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Urutan peringkat lokasi rawan kecelakaan lalu lintas berdasarkan metode AEK-UCL dan pembobotan geometrik jalan di Kabupaten Purbalingga

Berdasarkan **Gambar 2** diperoleh bahwa perbedaan peringkat yang cenderung besar jaraknya juga terjadi pada ruas jalan Raya Mayjend Sungkono (arah ke Purwokerto), Desa Kalimanah Wetan, dimana pada pembobotan metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) menempati urutan ke-4, tetapi pada pembobotan metode parameter geometrik jalan menempati urutan ke-7 atau turun 3 peringkat. Perbedaan lainnya yang mengalami kenaikan peringkat yaitu ruas jalan raya turut Kebutuh, Bukateja, dimana pada pembobotan metode AEK menempati urutan ke-8, tetapi pada pembobotan metode parameter geometrik jalan menempati urutan ke-6 atau naik sebanyak 2 peringkat. Hal ini mengindikasikan bahwa selain faktor geometrik jalan masih ada faktor lain yang berpengaruh terhadap terjadinya kecelakaan lalu lintas, salah satunya yaitu faktor fasilitas perlengkapan jalan [25]. Hal ini disebabkan terdapat beberapa faktor

lain yang berpengaruh besar terhadap terjadinya kecelakaan pada beberapa ruas jalan yang menyebabkan ketidakkonsistenan hasil peringkat pada beberapa ruas jalan dengan kedua metode. Tingkat keparahan korban kecelakaan lalu lintas juga dipengaruhi oleh faktor alam. Hal ini berkaitan dengan jarak pandang pengemudi, kondisi permukaan jalan [10]. Faktor alam misalnya pada saat kondisi hujan juga akan mempengaruhi besarnya kecepatan kendaraan yang dipilih oleh pengendara dan batas kecepatan kendaraan [11]. Beberapa studi yang mengkaji dampak kecepatan terhadap perilaku mengemudi [26], pengaruh kecepatan terhadap waktu tempuh perjalanan [27], dan penentuan nilai batas kecepatan maksimum di ruas jalan perkotaan [19][28].

Titik lokasi rawan kecelakaan lalu lintas dengan menggunakan metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) hanya bisa diketahui setelah terjadinya kecelakaan lalu lintas (timbul korban manusia dan harta benda terlebih dahulu) sedangkan metode pembobotan parameter geometrik jalan dapat diprediksi sebelum insiden kecelakaan terjadi. Metode penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas lainnya adalah dengan menggunakan metode *Weighted Severity Index* (WSI) [29], *machine learning algorithms* [30], logit model [31], *bayesian logit* [32], kategori kluster dan tingkat keparahan korban [33].

Hasil identifikasi lokasi rawan kecelakaan lalu lintas selanjutnya digunakan untuk memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas [34]. Identifikasi titik-titik lokasi rawan kecelakaan lalu lintas tersebut merupakan cara yang hemat biaya dan sangat efektif untuk menganalisis penyebab kecelakaan lalu lintas dan mengurungnya [35]. Selain itu, analisis dan penanganan lebih lanjut terhadap titik-titik lokasi rawan kecelakaan lalu lintas secara luas dianggap sebagai metode pendekatan yang efektif untuk pencegahan kecelakaan lalu lintas [36]. Hal ini terkait dengan identifikasi masalah yang berkaitan dengan desain jaringan jalan dan perilaku mengemudi yang secara nyata menyebabkan kecelakaan lalu lintas. Ketersediaan dan kelengkapan data serta catatan kecelakaan juga sangat penting. Penggabungan antara metode statistik dan indeks keparahan kecelakaan dapat berkontribusi dalam menilai infrastruktur jalan secara lebih menyeluruh dan memberikan hasil yang dapat diandalkan terkait dengan tingkat keselamatan jalan [37]. Analisis tingkat keparahan dan fatalitas korban kecelakaan lalu lintas diperlukan dan dicocokkan dengan data kematian dari pihak rumah sakit [38]. Teknologi terbaru untuk analisis keparahan korban kecelakaan dengan menggunakan

metode *deep learning* [39], metode *latent class ordered probit model* [40][41], dan metode *latent segmentation modeling scheme* [42].

IV. KESIMPULAN

Enam parameter fasilitas geometrik jalan yang digunakan dalam pembobotan penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas meliputi kecepatan kendaraan, lebar lajur jalan, lebar bahu jalan, lebar trotoar jalan, lebar median jalan, dan beda elevasi antara bahu dan tepi perkerasan jalan (*drop-off*). Lokasi rawan kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Purbalingga meliputi ruas jalan raya Dukuh Bayeman Tlahab Lor Karangreja, ruas jalan Majasari Bukateja, ruas jalan Bojongsari, ruas jalan Mayjend Sungkono Kalimantan Wetan, ruas jalan Gembong Bojongsari, ruas jalan Kejobong, ruas jalan Selanegara Kaligondang, ruas jalan Kebutuh Bukateja, ruas jalan Bojong Bukateja, dan ruas jalan Bojanegara, Padamara. Terdapat perbedaan urutan peringkat lokasi rawan kecelakaan antara metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)-UCL dan metode pembobotan berdasarkan parameter geometrik jalan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengkombinasikan faktor geometrik jalan, faktor kondisi perkerasan jalan, dan fasilitas perlengkapan jalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian dasar skim Penelitian Pascasarjana Penelitian Tesis Magister tahun 2025 dengan nomor kontrak penelitian 073/C3/DT.05.00/PL/2025 tanggal 28 Mei 2025.

REFERENSI

- [1] G. Sugiyanto, "The cost of traffic accident and equivalent accident number in developing countries (case study in Indonesia)," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12 no. 2, pp. 389-397, 2017. http://www.arpnjournals.com/jeas/volume_02_2017.htm.
- [2] Korps Lalu lintas (Korlantas) Polri, "*Polantas dalam Angka 2024*," Jakarta: Korlantas Kepolisian Republik Indonesia, 2025.
- [3] G. Sugiyanto and M.Y. Santi, "Road traffic accident cost using human capital method (case study in Purbalingga, Central Java, Indonesia)," *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, vol. 79 no. 2,

- pp. 107-116, 2017. <http://www.jurnalteknologi.utm.my/index.php/jurna/teknologi/article/view/5375/6081>.
- [4] E.D. Pauw, S. Daniels, M. Thierie, and T. Brijs, "Safety effects of reducing the speed limit from 90 km/h to 70 km/h," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 62, pp. 426-431, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.003>.
- [5] B.S. Rao, S. Jalihal, E. Madhu, and T.S. Reddy, "Accident Study on National Highway-5 between Anakapalli to Visakhapatnam," *Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*, vol. 5, pp. 1973-1988, 2005. www.jstage.jst.go.jp.
- [6] Q.S. Hossain and S.K. Adhikari, "Road traffic accident situation in Khulna City, Bangladesh," *Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5, pp. 65-74, 2005. <http://www.jstage.jst.go.jp>.
- [7] B.P. Hughes, A. Anund, and T. Falkmer, "System theory and safety models in Swedish, UK, Dutch and Australian road safety strategies," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 74, pp. 271-278, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.017>.
- [8] X. Wang, J. Yuan, G.G. Schultz, and S. Fang, "Investigating the safety impact of roadway network features of suburban arterials in Shanghai," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 113, pp. 137-148, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.029>.
- [9] P. Schepers, M. Hagenzieker, R. Methorst, B.V. Wee, and F. Wegman, "A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 62, pp. 331-340, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.032>.
- [10] M.S. Shaheed, K. Gkritza, A.L. Carriquiry, and S.L. Hallmark, "Analysis of occupant injury severity in winter weather crashes: A fully Bayesian multivariate approach," *Analytic Methods in Accident Research*, vol. 11, pp. 33-47, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2016.06.002>.
- [11] F. Soriguera, I. Martinez, M. Sala, and M. Menendez, "Effects of low speed limits on freeway traffic flow," *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, vol. 77, pp. 257-274, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.024>.
- [12] A. Tapp, C. Nancarrow, A. Davis, and S. Jones, "Vicious or virtuous circles? Exploring the vulnerability of drivers to break low urban speed limits," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 91, pp. 195-212, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.007>.
- [13] J. Wooley, "Recent Advantages of Lower Speed Limits in Australia," *Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*, Vol. 6, pp. 3562-3573, 2005. <http://www.jstage.jst.go.jp>.
- [14] L.B. Connely and R. Supangan, "The economic costs of road traffic crashes: Australia, States and Territories," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 38 issue 6, pp. 1087-1093, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.04.015>.
- [15] E. Hoareau, S. Newstead, P. Oxley, and M. Cameron, "An evaluation of the 50 km/h speed limit in South East Queensland," *Journal Report No. 264*, Monash: Monash University, Accident Research Centre (MUARC), 2002.
- [16] R. Fuller, "Towards a general theory of driver behaviour," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37 no. 3, pp. 461-472, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.11.003>.
- [17] R. Elvik, "A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 50, pp. 854-860, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.012>.
- [18] Direktorat Keselamatan Transportasi Darat (DKTD), "Pedoman Operasi Accident Black Spot Investigation Unit/Unit Penelitian Kecelakaan Lalu lintas (ABIU/UPK)," Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Direktorat Keselamatan Transportasi Darat, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2007.
- [19] G. Sugiyanto and S. Malkhamah, "Determining the maximum speed limit in urban road to increase traffic safety," *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, vol. 80 no. 5, pp. 67-77, 2018. <https://doi.org/10.11113/jt.v80.10489>.
- [20] G. Sugiyanto, A. Fadli, and M.Y. Santi, "Identification of black spot and equivalent accident number using upper control limit method," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12 no. 2, pp. 528-535, 2017. http://www.arpnjournals.com/jeas/volume_02_2017.htm.
- [21] Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi. "Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas: Pd.T-09-2004-B," Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2005.
- [22] C.J. Khisty and B.L. Kent, "Dasar-dasar Rekayasa Transportasi (*Transportation Engineering: An Introduction*)," Jakarta: Erlangga, 2003.
- [23] Badan Standardisasi Nasional (BSN), "Standar Geometri Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004," Badan Standardisasi Nasional, 2004.
- [24] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021," Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021.
- [25] A.D. Ermawati, G. Sugiyanto, and E.W. Indriyati, "Penentuan lokasi rawan kecelakaan lalu lintas dengan pendekatan fasilitas perlengkapan jalan di Kabupaten Purbalingga," *Dinamika Rekayasa*, vol. 15, no. 1, pp. 65-74, 2019. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2019.15.1.258>.
- [26] A.P. Tarko, "Modeling drivers' speed selection as a trade-off behavior," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 41, pp. 608-616, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.008>.
- [27] G. Nilsson, "Speed limits, enforcement and other factors influencing speed," in M.J. Koornstra and J.

- Christensen (Eds.), Enforcement and rewarding: strategies and effects. SWOV, Leidschendam, Netherlands, pp. 46-50, 1991.
- [28] G. Sugiyanto, F. Wirawan, E.W. Indriyati, Y. Yanto, and M.Y. Santi, "Determining the maximum speed limit based on stopping sight distance (SSD) and risk of fatality," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2489, pp. 030030, 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0093890>.
- [29] A.T. Kabeer, M.R. Athulya, A.S. Sandra, and D. Joy, "Analysis of road traffic accident and identification of blackspot locations," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 22, no. 2, pp. 33-38, 2025. <https://doi.org/10.9790/1684-2202033338>.
- [30] I. Karamanlis, A. Kokkalis, V. Profillidis, G. Botzorlis, and A. Galanis, "Identifying road accident black spots using classical and modern approaches," *WSEAS Transactions on Systems*, vol. 22, pp. 556-565, 2023. <https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.56>.
- [31] M.A. Vajari, K. Aghabayk, M. Sadeghian, and N. Shiwakoti, "A multinomial logit model of motorcycle crash severity at Australian intersections," *Journal of Safety Research*, vol. 73, pp. 17-24, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.02.008>.
- [32] X. Zhang, H. Wen, T. Yamamoto, and Q. Zeng, "Investigating hazardous factors affecting freeway crash injury severity incorporating real-time weather data: Using a Bayesian multinomial logit model with conditional autoregressive priors," *Journal of Safety Research*, vol. 76, pp. 248-255, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.12.014>.
- [33] S.A. Samerei, K. Aghabayk, A. Mohammadi, and N. Shiwakoti, "Data mining approach to model bus crash severity in Australia," *Journal of Safety Research*, vol. 76, pp. 73-82, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.12.004>.
- [34] G. Sugiyanto, R. Suciningtyas, E.W. Indriyati, Y. Yanto, B. Mulyono, and M.Y. Santi, "Road infrastructure deficiency and road safety audit at black spot area in rural road," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1000 012031, 2022. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1000/1/012031>.
- [35] C. Zhang, Y. Shu, and L. Yan, "A novel identification model for road traffic accident black spots: A case study in Ningbo, China," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 140197-140205, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942647>.
- [36] M. Ghadi and Á. Török, "A comparative analysis of black spot identification methods and road accidents segmentation methods," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 128, pp. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.002>.
- [37] I. Karamanlis, A. Nikiforiadis, G. Botzorlis, A. Kokkalis, and S. Basbas, "Towards sustainable transportation: the role of black spot analysis in improving road safety," *Sustainability*, vol. 15, no. 19, pp. 14478, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151914478>.
- [38] K. Heathcote, A. Devlin, E. McKie, P. Cameron, A. Earnest, G. Morgan, B. Gardiner, D. Campbell, M. Wullschleger, and J. Warren, "Rural and urban patterns of severe injuries and hospital mortality in Australia: An analysis of the Australia New Zealand trauma registry: 2015-2019," *Injury*, vol. 53, issue 6, pp. 1893-1903, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.03.044>.
- [39] C. Dong, C. Shao, D.B. Clarke, and S.S. Nambisan, "An innovative approach for traffic crash estimation and prediction on accommodating un-observed heterogeneities," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 118, pp. 407-428, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.10.020>.
- [40] J. Li, S. Fang, J. Guo, T. Fu, and M. Qiu, "A motorcyclist-injury severity analysis: a comparison of single, two, and multi-vehicle crashes using latent class ordered probit model," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 151, no. 105953, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105953>.
- [41] N.C. Karabulut and M. Ozen, "Exploring Driver Injury Severity Using Latent Class Ordered Probit Model: A case study of Turkey," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 27, pp. 1312-1322, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-0473-6>.
- [42] F. Chang, S. Yasmin, H. Huang, A.H.S. Chan, and S.M.M. Haque, "Injury severity analysis of motorcycle crashes: A comparison of latent class clustering and latent segmentation based models with un-observed heterogeneity," *Analytic Methods in Accident Research*, vol. 32, no. 100188, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2021.100188>.