



Analisis Keselamatan Simpang Jalan Arteri Primer di Kabupaten Sleman Menggunakan Metode TCT

Zulfan Muhammad Ihza, *Noor Mahmudah

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

*noor.mahmudah@umy.ac.id

Received: 19 Juni 2025 Revised: 29 Oktober 2025 Accepted: 12 November 2025

Abstract

Traffic safety is an important aspect of a sustainable transportation system. The increase in number of vehicles and high mobility make intersections as the points with the highest risk of accidents. The Special Region of Yogyakarta (DIY), as a province with dynamic tourism and economic activities, has a significant accident rate, with Sleman Regency contributing approximately 34.8% of the total 4,730 accident cases in DIY in 2018. This condition emphasizes the need for a comprehensive traffic safety analysis in this region. This study aims to analyze the safety level of intersections on primary arterial roads in Sleman Regency using the Swedish Traffic Conflict Technique (TCT). The approach was conducted by ranking road sections using the Accident Equivalent Number (AEK) and observing traffic conflicts using the TCT method. The results of the study show that all intersections observed have a high-level of conflict with a Time to Accident (TA) value that is close to or exceeds the critical threshold. Speed has been proven to be the main determinant of increased risk and severity of conflict. Therefore, this study emphasizes the need to calibrate the Swedish TCT threshold based on vehicle type so that the analysis results remain contextual to Indonesian traffic conditions. Technical recommendations focus on speed limits and the implementation of traffic engineering interventions.

Keywords: Intersection, TCT, traffic conflict, traffic safety

Abstrak

Keselamatan lalu lintas merupakan aspek penting dalam sistem transportasi yang berkelanjutan. Peningkatan jumlah kendaraan dan mobilitas yang tinggi menjadikan persimpangan sebagai titik dengan risiko kecelakaan tertinggi. Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sebagai provinsi dengan aktivitas pariwisata dan ekonomi yang dinamis menunjukkan tingkat kecelakaan yang signifikan, di mana Kabupaten Sleman menyumbang sekitar 34,8% dari total 4.730 kasus kecelakaan di DIY pada tahun 2018. Kondisi tersebut menegaskan perlunya analisis keselamatan lalu lintas yang komprehensif pada wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keselamatan simpang pada jalan arteri primer di Kabupaten Sleman dengan menggunakan Swedish Traffic Conflict Technique (TCT). Pendekatan dilakukan melalui pemeringkatan ruas jalan menggunakan Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) dan observasi konflik lalu lintas menggunakan metode TCT. Hasil studi menunjukkan bahwa seluruh simpang yang diamati memiliki tingkat konflik tinggi dengan nilai time to accident (TA) yang mendekati atau melampaui ambang batas kritis. Faktor kecepatan terbukti menjadi determinan utama peningkatan risiko dan tingkat keparahan konflik. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan perlunya kalibrasi ambang batas Swedish TCT berdasarkan jenis kendaraan agar hasil analisis tetap kontekstual terhadap kondisi lalu lintas Indonesia. Rekomendasi teknis difokuskan pada pembatasan kecepatan dan penerapan intervensi rekayasa lalu lintas.

Kata kunci: Simpang; TCT, konflik lalu lintas, keselamatan lalu lintas

Pendahuluan

Keselamatan lalu lintas merupakan aspek yang sangat penting dalam sistem transportasi modern, dengan tujuan utama mengurangi risiko kecelakaan

serta dampak negatifnya terhadap individu dan masyarakat. Seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan kepadatan lalu lintas di berbagai wilayah, risiko kecelakaan lalu lintas juga semakin tinggi. Kecelakaan lalu lintas tidak hanya

menyebabkan kerugian materiil, tetapi juga mengakibatkan cedera serius dan kematian. Data dari *World Health Organization (WHO)* menunjukkan bahwa kecelakaan lalu lintas adalah salah satu penyebab kematian terbesar di seluruh dunia, dengan lebih dari 1,25 juta orang meninggal setiap tahunnya. Di negara berkembang, masalah ini diperburuk oleh beberapa faktor seperti kurangnya kesadaran akan keselamatan berkendara, lemahnya penegakan hukum, serta infrastruktur jalan yang belum mendukung keselamatan bagi semua pengguna jalan (Karimi *et al.*, 2023; Kamabu *et al.*, 2023; Ahmed *et al.*, 2023; Aziz *et al.*, 2025; Mahmudah *et al.*, 2025; Sarebni *et al.*, 2025)

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu provinsi dengan potensi pariwisata yang tinggi dan tersebar di lima kabupaten dan kota. Namun, peningkatan jumlah wisatawan dan aktivitas ekonomi turut berkontribusi terhadap tingginya risiko kecelakaan lalu lintas. Pada tahun 2018, tercatat sebanyak 1.646 kasus kecelakaan lalu lintas terjadi di Kabupaten Sleman, yang mencakup sekitar 34,8% dari total 4.730 kasus di seluruh wilayah DIY. Data ini menunjukkan bahwa Kabupaten Sleman merupakan kontributor utama terhadap angka kecelakaan lalu lintas di provinsi tersebut (Indrianawati & Romadani, 2022). Kabupaten Sleman mengalami kecelakaan yang sering terjadi di persimpangan, yang merupakan titik rawan kecelakaan akibat interaksi kompleks antar pengguna jalan. Data dari Polres Sleman (2023) menunjukkan lebih dari 30% kecelakaan terjadi di persimpangan, dengan tingkat fatalitas yang tinggi. Faktor kepadatan penduduk dan peningkatan jumlah kendaraan turut memperburuk situasi ini (Sujarweni & Jaya, 2019; Harmanto & Gunawan, 2020; Pamungkas & Suhendar, 2024).

Dalam upaya mengidentifikasi potensi kecelakaan dan memahami karakteristiknya, penelitian ini menggunakan metode *Traffic Conflict Technique (TCT)*. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Hydén pada akhir 1970-an sebagai pendekatan pra-kecelakaan untuk menilai tingkat bahaya lalu lintas tanpa menunggu terjadinya kecelakaan aktual. Seiring waktu, *TCT* mengalami perkembangan di berbagai negara dengan penyesuaian terhadap karakteristik lalu lintas masing-masing. Misalnya, *US TCT* menekankan aspek perilaku dan sering dikombinasikan dengan data *near-miss*, *Germany TCT* fokus pada pengujian validitas antar-pengamat dan konsistensi observasi, sedangkan *Dutch* dan *Canadian TCT* menyesuaikan metode ini untuk kondisi *urban* dan interaksi antara kendaraan dan pejalan kaki. Beberapa pengembangan terbaru bahkan memasukkan *automated video analysis*, *trajectory data*, serta penerapan *Extreme Value Theory (EVT)* untuk meningkatkan ketelitian

analisis konflik. Berdasarkan berbagai varian tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan dasar dari *Swedish TCT*, karena memiliki dasar teoritis yang paling kuat dan telah teruji secara empiris (Pratama & Mahmudah, 2024a).

Pendekatan *Swedish TCT* dinilai paling sesuai untuk diterapkan di Indonesia, khususnya pada jalan arteri primer, karena mampu menilai potensi bahaya lalu lintas secara kuantitatif dalam kondisi data kecelakaan yang terbatas, volume kendaraan tinggi, serta pola interaksi lalu lintas yang kompleks dengan dominasi kendaraan roda dua (Setiawan *et al.*, 2024; Wahyuningsih *et al.*, 2024). Fleksibilitas metode ini dan kemampuannya beradaptasi terhadap teknologi modern menjadikannya efektif digunakan dalam konteks lalu lintas campuran yang umum dijumpai di kawasan jalan arteri primer khususnya di Indonesia (Pratama & Mahmudah, 2024a). Selain itu, sejumlah studi empiris menunjukkan bahwa frekuensi dan tingkat keparahan konflik yang diidentifikasi melalui parameter *Time to Accident (TA)* dan *Conflicting Speed (CS)* memiliki korelasi signifikan dengan angka kecelakaan aktual di lokasi yang sama. Dengan demikian, *Swedish TCT* dapat digunakan sebagai indikator prediktif yang andal dalam menilai tingkat keselamatan lalu lintas, terutama pada jalan arteri primer (Hyden & Linderholm, 1984; Lareshyn *et al.*, 2016; Lareshyn & Varhelyi, 2018; Mahmudah *et al.*, 2025).

Pada penelitian ini, pendekatan metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK) digunakan sebagai landasan untuk mengidentifikasi ruas jalan dan persimpangan dengan tingkat risiko tinggi, sehingga pemilihan lokasi pengamatan dapat dilakukan secara objektif dan terukur. Metode ini, merepresentasikan tingkat risiko aktual melalui kombinasi antara frekuensi kejadian dan tingkat keparahan kecelakaan, sehingga mampu memberikan dukungan dalam penerapan *Swedish TCT* (Isfandyari & Lazuardi, 2018; Yandi & Lubis, 2020; Ramadhani *et al.*, 2021; Pratama & Mahmudah, 2024). Dengan demikian, tujuan utama dari studi ini adalah menganalisis keselamatan simpang rawan kecelakaan pada jalan arteri primer di Kabupaten Sleman menggunakan metode *Swedish Traffic Conflict Technique (TCT)*.

Sementara itu, dalam penerapan *TCT* tetap mengacu sepenuhnya pada pola dan prinsip dasar *Swedish TCT* tanpa melakukan modifikasi terhadap struktur metode maupun indikator utamanya. Namun demikian, agar hasil analisis mencerminkan kondisi nyata lalu lintas di negara berkembang, diperlukan penyesuaian kalibratif terhadap nilai ambang batas antar moda transportasi, khususnya untuk parameter *Time-to-Accident (TA)* dan kecepatan konflik pada

jalan arteri primer. Penyesuaian ini bertujuan untuk menyesuaikan sensitivitas pengukuran terhadap karakteristik lalu lintas heterogen yang khas di Indonesia, di mana sepeda motor memiliki dominasi signifikan dalam arus kendaraan. Dengan pendekatan ini, metode *Swedish TCT* tetap mempertahankan keaslian dan validitas teoretisnya, namun menjadi lebih kontekstual dan representatif terhadap perilaku pengguna jalan di negara berkembang. Secara ilmiah, langkah kalibratif ini menawarkan pendekatan yang memperkaya pemahaman terhadap sensitivitas parameter *Swedish TCT* di Indonesia, karena menetapkan ambang batas konflik antar moda yang spesifik bagi kondisi lalu lintas Indonesia pada jaringan jalan arteri primer.

Metode

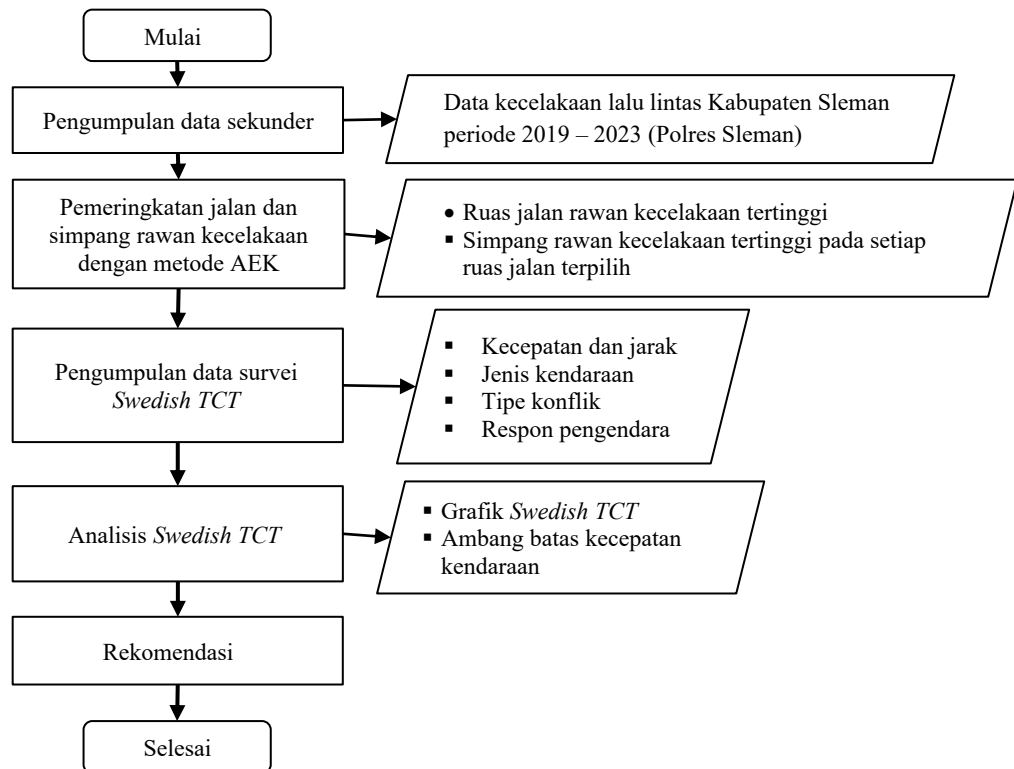
Alur penelitian ini menunjukkan tahapan penelitian secara sistematis, mulai dari pengumpulan data hingga analisis. Tahapan penelitian pada Gambar 1 mencakup pengumpulan data, pemeringkatan lokasi rawan kecelakaan, penentuan simpang terpilih, dan analisis konflik lalu lintas.

Data yang digunakan dalam studi ini terdiri atas data survei dan data sekunder dari instansi Kepolisian Resor Kabupaten Sleman periode data 2019-2023. Data sekunder digunakan untuk mengidentifikasi ruas dan simpang jalan rawan kecelakaan yang dilakukan menggunakan metode

AEK dan dipilih tiga lokasi kecelakaan tertinggi. Studi ini menerapkan pembobotan berdasarkan ketentuan dalam Pd T-09-2004-B. Simpang dipilih dengan spesifikasi jalan nasional sesuai dalam Keputusan Menteri PUPR 1688/KPTS/M/2022 dan jalan arteri primer sesuai dalam Keputusan Menteri 430/KPTS/M/2022.

Pengumpulan data survei konflik *Swedish TCT* dilaksanakan dalam tiga hari. Pemilihan hari survei dilakukan pada hari kerja (*weekday*), dengan pertimbangan bahwa wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta mengalami peningkatan signifikan jumlah wisatawan pada akhir pekan yang dikhawatirkan dapat memengaruhi validitas data lalu lintas harian yang representatif. Survei di setiap lokasi dilaksanakan selama satu hari dengan durasi dua jam pengamatan, waktu survei dilaksanakan pada pukul 08:00 hingga 10:00 WIB. Pengambilan data primer dimaksudkan untuk mencari data kecepatan dan jarak, jenis kendaraan, tipe konflik dan respon pengemudi.

Observasi kecepatan dilakukan dengan alat *speed gun* terhadap kendaraan yang terlibat dalam interaksi berisiko. Jarak antar kendaraan saat konflik diukur berdasarkan acuan geometrik di lapangan, seperti marka jalan, garis henti, dan elemen fisik lain yang memiliki jarak tetap. Jenis kendaraan yang diamati berupa sepeda motor, mobil, bus dan truk, pesepeda, dan pejalan kaki.



Gambar 1. Bagan alir studi

Tipe konflik diidentifikasi dan diklasifikasikan berdasarkan jenisnya, yang meliputi konflik depan-samping, konflik depan-depan, konflik depan-belakang, konflik samping-samping, sepeda, dan pejalan kaki. Respon pengemudi diklasifikasikan menjadi tindakan mengerem, melaju, dan menghindari. Data seluruhnya dicatat dalam formulir *Swedish TCT* yang menjadi acuan utama pengambilan data primer (Gambar 2) (Laureshyn & Varhelyi, 2018).


Observer: _____ Date: _____ Time: _____ Number: _____

City: _____

Intersection: _____


Weather: ☐ Sunny ☐ Cloudy ☐ Rainy
 Surface: ☐ Dry ☐ Wet


Time period _____

North 

	Road-user I	Road-user II	Secondary involved III
Private car	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bicycle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedestrian	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sex (ped.)	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
Age (ped.)	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
Speed	_____ kmph	_____ kmph	_____ kmph
Distance to coll. point	_____ mtrs	_____ mtrs	
TA value	_____ sec	_____ sec	
Avoiding action			
Braking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Swerving	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Acceleration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Possibility to swerve	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
Description of the event:			

Sketch including the positions of the road-users involved.

Mark your own position with 

If video is used mark the position of the camera with 

Continued on the other side: ☐ =>

**Gambar 2. Form Swedish TCT
(Laureshyn & Varhelyi, 2018)**

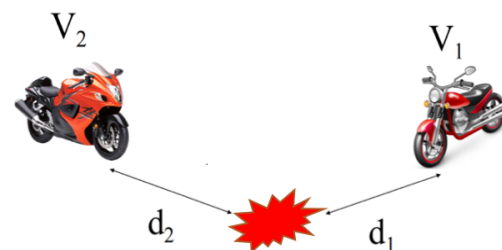
Analisis terakhir menggunakan metode *Traffic Conflict Technique (TCT)* yang dtunjukkan dalam Gambar 3. Metode ini mengidentifikasi konflik lalu lintas yang berpotensi menyebabkan kecelakaan.

Time to Accident (TA) merepresentasikan interval waktu aktual yang tersisa sebelum potensi tabrakan terjadi. Indikator ini mencerminkan tingkat kewaspadaan dan kecepatan respons pengemudi terhadap ancaman tabrakan, serta menggambarkan dinamika perilaku pengemudi dalam menghadapi situasi konflik lalu lintas. Persamaan pada *Time to Accident (TA)* dirumuskan dalam Persamaan 1.

$$TA = \frac{d}{v}, \quad TA = \frac{dt}{\Delta V} = \frac{(d1+d2)}{|v1-v2|} \quad (1)$$

Dimana TA adalah waktu tersisa sebelum tabrakan terjadi, d adalah jarak antara kendaraan yang terlibat konflik (meter), dan v adalah kecepatan kendaraan yang terlibat konflik (meter/detik).

TA digunakan untuk menilai tingkat fatalitas konflik lalu lintas berdasarkan hubungan antara kecepatan dan jarak. Untuk mempermudah proses klasifikasi konflik, nilai *TA* disajikan dalam tabel sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut, konflik dengan nilai *TA* yang semakin kecil menunjukkan tingkat keseriusan yang lebih tinggi. Nilai *TA* selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam mengklasifikasikan konflik lalu lintas dan menjadi acuan dalam analisis dan pembahasan hasil (Laureshyn & Varhelyi, 2018).



**Gambar 3. Konflik TCT
(Laureshyn & Varhelyi, 2018)**

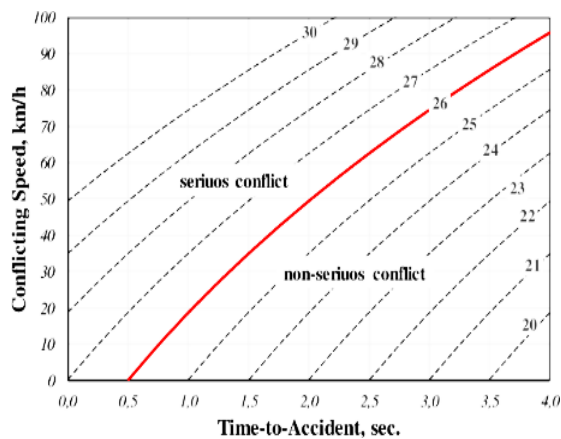
**Tabel 1. Parameter *Time to Accident (TA)*
(Laureshyn & Varhelyi, 2018)**

Speed				Distance, m																	
km/h	m/s	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
5	1,4	0,4	0,7	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5	7,2	###	###	###	###	###	###	###	###	###
10	2,8	0,2	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	5,4	7,2	9,0	###	###	###	###	###	###
15	4,2	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	###	###	###
20	5,6	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0	9,9
25	6,9	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5	7,2	7,9
30	8,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6
35	9,7	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,7
40	11,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0
45	12,5	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4
50	13,9	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0
55	15,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6
60	16,7	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
65	18,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0
70	19,4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8
75	20,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6
80	22,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3	2,5
85	23,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
90	25,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
95	26,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
100	27,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0

Conflicting Speed (CS) sebagai dalam Persamaan 2 merepresentasikan kecepatan kendaraan pada momen kritis terjadinya konflik. Parameter ini mencerminkan fatalitas yang akan dihasilkan apabila tabrakan benar-benar terjadi, sehingga berperan penting dalam menentukan fatalitas konflik, dimana v adalah kecepatan kendaraan yang terlibat konflik (meter/detik).

$$CS = |v_1 - v_2| \quad (2)$$

Kombinasi antara nilai TA dan CS digunakan untuk mengklasifikasikan konflik ke dalam kategori serius atau konflik tidak serius melalui garis merah batas empiris yang dikenal sebagai *conflict severity boundary line* yang ditunjukkan pada Gambar 4 (Laureshyn & Varhelyi, 2018).



Gambar 4. Grafik fatalitas konflik TCT (Laureshyn & Varhelyi, 2018)

Dalam penerapannya, nilai ambang batas waktu konflik *Swedish TCT* sebesar 1,5 detik digunakan sebagai batas untuk membedakan antara *serious conflict* dan *potential conflict*. Nilai ini diperoleh melalui kalibrasi empiris yang menunjukkan bahwa konflik dengan *time to accident (TA)* kurang dari 1,5 detik memiliki korelasi kuat dengan kejadian kecelakaan aktual.

Sejak itu, ambang batas tersebut digunakan secara luas sebagai parameter praktis dalam analisis tingkat keparahan konflik, meskipun tetap bersifat kontekstual dan dapat disesuaikan dengan karakteristik lalu lintas masing-masing negara. Berdasarkan ambang tersebut, maka konflik diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama.

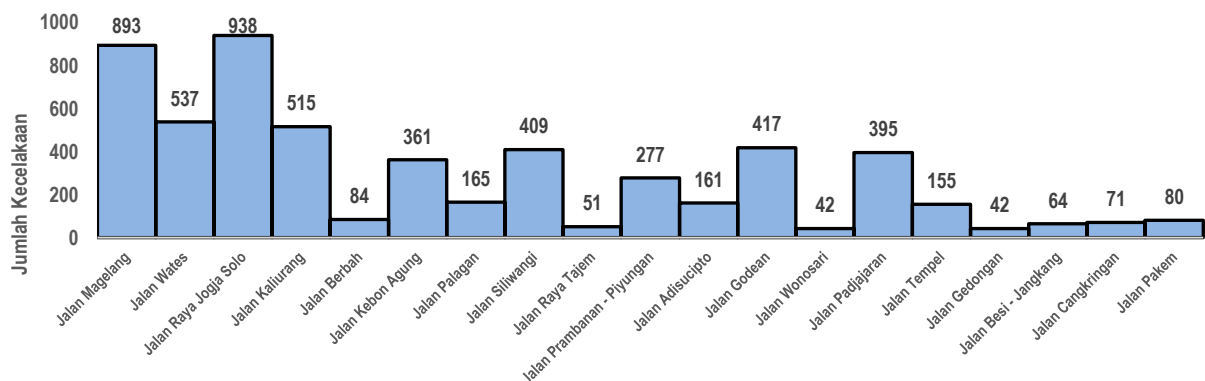
Pertama, *serious conflict* $\rightarrow TA < 1,5$ detik (risiko tabrakan tinggi) dan kedua *potential conflict* $\rightarrow TA \geq 1,5$ detik (risiko tabrakan rendah). Meskipun nilai ambang batas sebesar 1,5 detik telah digunakan secara luas dalam berbagai penelitian *Traffic Conflict Technique (TCT)*, penerapannya di konteks lalu lintas Indonesia memerlukan penyesuaian agar hasil analisis tetap valid.

Karakteristik lalu lintas di Indonesia berbeda dengan negara asal pengembangan *Swedish TCT*, di mana arus kendaraan bersifat campuran, tidak berlapis, dan didominasi oleh sepeda motor dengan perilaku manuver yang lebih dinamis. Kondisi tersebut menyebabkan variasi signifikan dalam waktu reaksi dan kemampuan deselerasi antar moda transportasi.

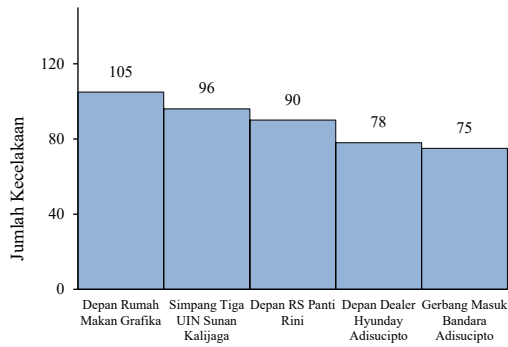
Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi prinsip dasar *Swedish TCT* tanpa mengubah kerangka metodenya, namun melakukan kalibrasi nilai ambang waktu konflik berdasarkan jenis kendaraan. Pendekatan ini bertujuan agar klasifikasi tingkat keparahan konflik lebih kontekstual terhadap perilaku aktual pengguna jalan di jalan arteri primer Indonesia.

Hasil dan Pembahasan

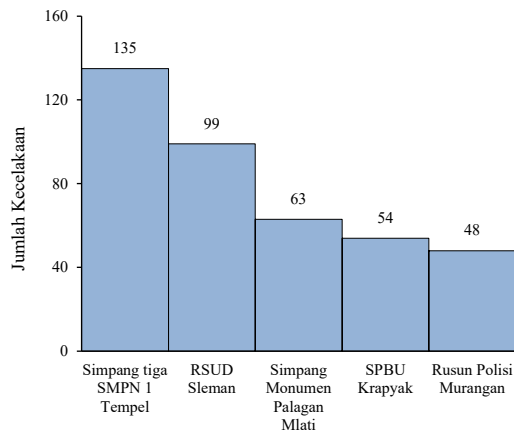
Pemeringkatan ruas jalan rawan kecelakaan dilakukan sebagai langkah awal dalam menentukan lokasi jalan yang memiliki tingkat risiko kecelakaan tertinggi di Kabupaten Sleman. Proses ini didasarkan pada data gabungan kecelakaan lalu lintas periode tahun 2019 hingga 2023 yang diperoleh dari Kepolisian Kabupaten Sleman.



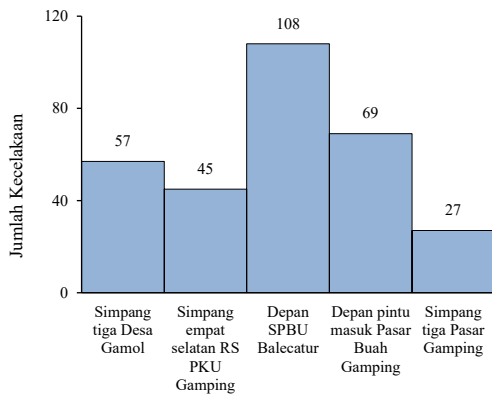
Gambar 5. Angka ekivalen kecelakaan di Kabupaten Sleman



Gambar 6. Skor pemeringkatan simpang di Jalan Raya Jogja-Solo, Sleman (Simpang A)



Gambar 7. Skor pemeringkatan simpang di Jalan Magelang, Sleman (Simpang B)

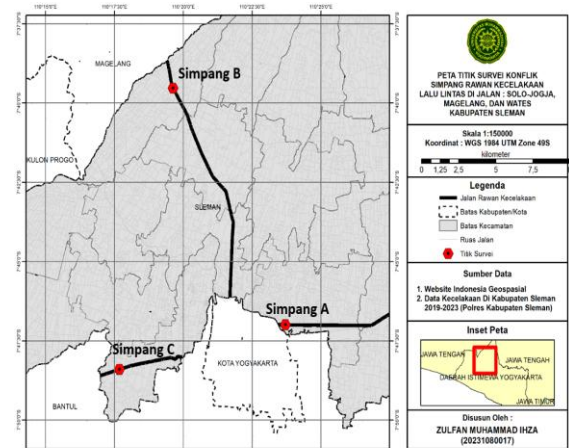


Gambar 8. Skor pemeringkatan simpang di Wates, Sleman (Simpang C)

Gambar 5 menunjukkan analisis AEK di Kabupaten Sleman. Hasil analisis menunjukkan Jalan Raya Jogja-Solo, Jalan Magelang, dan Jalan Wates merupakan tiga tertinggi jalan rawan kecelakaan di Kabupaten Sleman. Hasil pemeringkatan simpang disajikan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

Ditetapkan tiga lokasi persimpangan sebagai objek studi, yaitu Simpang Tiga UIN Sunan Kalijaga yang terletak pada Jalan Raya Jogja-Solo Km. 8,

Simpang Tiga SMPN 1, Tempel yang terletak di Jalan Magelang Km. 17,5 dan Simpang Tiga Desa Gamol yang terletak pada Jalan Wates Km. 9. Letak geografis ketiga simpang ini ditunjukkan pada Gambar 9. Meskipun terdapat lokasi dengan skor AEK tertinggi, titik tersebut berada di luar kawasan persimpangan sehingga kurang relevan dengan fokus studi yang menitikberatkan pada area simpang.



Gambar 9. Lokasi simpang rawan kecelakaan

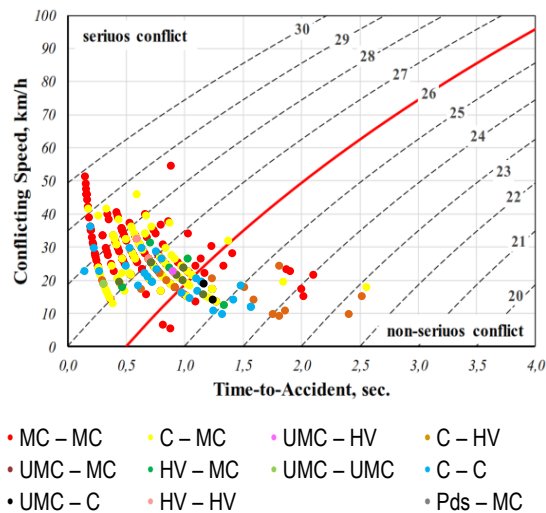
Untuk mempermudah penyajian data dan menghindari penulisan nama ruas jalan yang terlalu panjang, setiap ruas jalan direpresentasikan menggunakan simbol huruf. Keterangan simbol yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Simbol simpang rawan kecelakaan

Simpang	Penamaan
Jalan Raya Jogja-Solo km 8 (Simpang tiga bersinyal)	(Simpang A)
Jalan Magelang km 17,5 (Simpang tiga tidak bersinyal)	(Simpang B)
Jalan Wates km 9 (Simpang tiga tidak bersinyal)	(Simpang C)

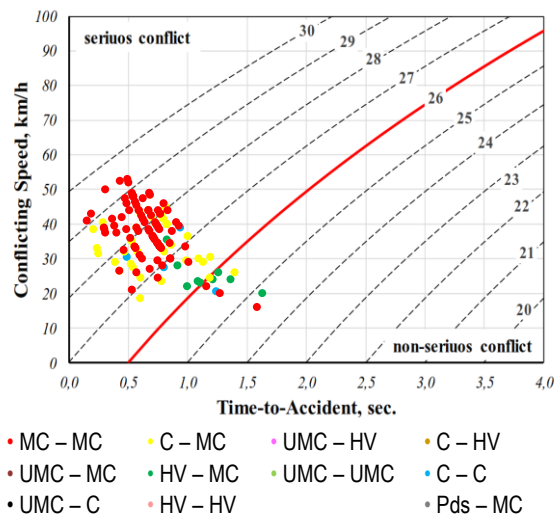
Hasil analisis *Swedish TCT* Simpang A pada Gambar 10, menunjukkan tingkat kompleksitas yang cukup tinggi. Didapatkan data sebanyak 309 kasus konflik lalu lintas campuran. Kompleksitas ini muncul sebagai akibat dari beragamnya jenis pengguna jalan yang melintas, termasuk kendaraan pribadi, kendaraan umum, sepeda motor, serta pejalan kaki. Keberagaman ini menyebabkan variasi interaksi antar pengguna jalan menjadi lebih dinamis, sehingga menghasilkan data konflik yang lebih rinci dan beragam dibandingkan dengan lokasi survei lainnya. Faktor lingkungan sekitar, seperti keberadaan kampus, aktivitas pejalan kaki yang intensif, serta konektivitas antar jalan utama, turut memperkaya dinamika lalu lintas di area

tersebut. Kondisi ini memberikan tantangan tersendiri dalam pengelolaan keselamatan lalu lintas pada simpang.



Gambar 10. Hasil analisis Swedish TCT pada Simpang A

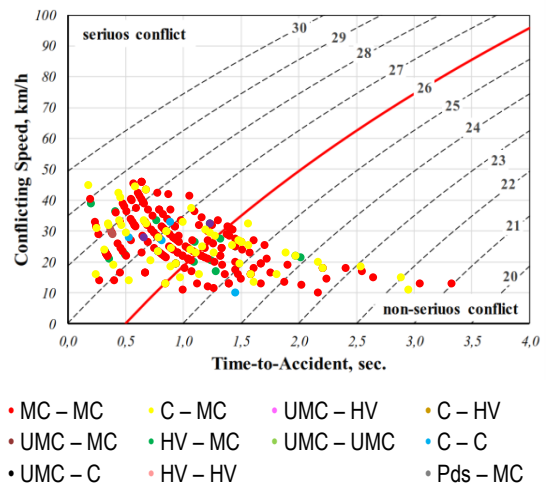
Hasil analisis *Swedish TCT* Simpang B pada Gambar 11, tergolong sebagai lokasi dengan tingkat fatalitas konflik yang sangat tinggi. Didapatkan data sebanyak 136 kasus konflik lalu lintas campuran. Meskipun volume kendaraan yang melintas tidak tergolong besar, rasio antara konflik serius dan konflik tidak serius menunjukkan kesenjangan yang signifikan.



Gambar 11. Hasil analisis Swedish TCT pada Simpang B

Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kecepatan yang cukup besar ketika kendaraan keluar dari area sekitar SMPN 1 Tempel dan bergabung ke jalur utama Jalan Magelang. Perbedaan kecepatan ini meningkatkan potensi terjadinya konflik serius.

Hasil analisis *Swedish TCT* Simpang C pada Gambar 12 menunjukkan bahwa variasi jenis kendaraan yang terlibat tergolong relatif rendah, meskipun tetap menunjukkan keberagaman dalam tipe kendaraan. Didapatkan data sebanyak 244 kasus konflik lalu lintas campuran. Kondisi ini dapat dijelaskan oleh karakteristik lokasi yang merupakan jalur lalu lintas antar kota sekaligus berada di kawasan permukiman. Keberadaan aktivitas lokal, seperti sepeda motor yang menyeberang jalan dan potensi gangguan lain dari lingkungan sekitar, turut memengaruhi dinamika lalu lintas di simpang ini.



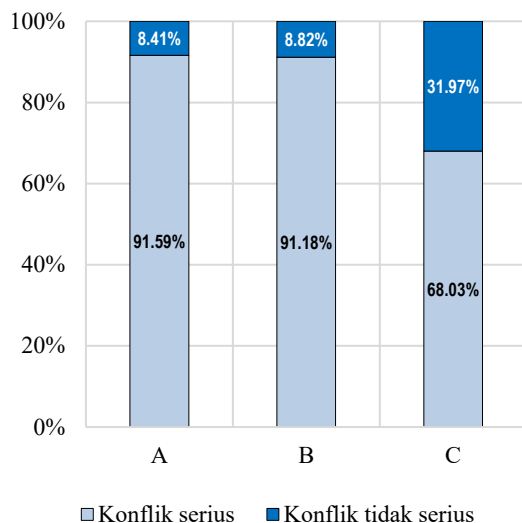
Gambar 12. Hasil analisis Swedish TCT pada Simpang C

Berdasarkan hasil tersebut, seluruh simpang yang dianalisis tergolong dalam kategori tidak aman. Meskipun Simpang C menunjukkan tingkat fatalitas konflik yang lebih rendah dibandingkan dua simpang lainnya, data juga mengindikasikan bahwa mayoritas kendaraan yang melintas tetap terlibat dalam konflik lalu lintas. Oleh karena itu, ketiga simpang tersebut secara umum dapat dikategorikan sebagai area dengan tingkat konflik yang tinggi dan potensi risiko kecelakaan yang serius. Ringkasan rasio persentase fatalitas konflik ditunjukkan pada Gambar 13.

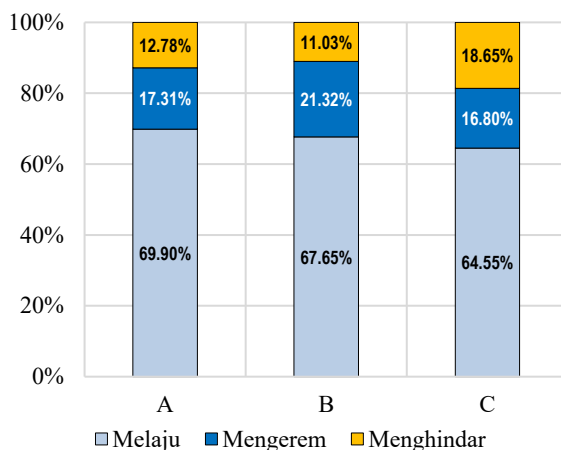
Gambar 14 menyajikan kesimpulan dari ketiga simpang berdasarkan respons pengemudi yang terlibat konflik di lokasi tersebut. Terlihat bahwa pada seluruh simpang, mayoritas pengemudi memberikan respons berupa mempercepat laju kendaraannya. Fenomena ini dapat dipahami mengingat Jalan Magelang dan Jalan Wates merupakan bagian dari jaringan jalan lintas antar kota yang didominasi oleh kendaraan berkecepatan tinggi.

Namun demikian, hasil analisis *Swedish TCT* menunjukkan bahwa pengemudi di Simpang C

cenderung memiliki kontrol kecepatan yang lebih baik dibandingkan dua simpang lainnya. Meski demikian, hal ini tidak dapat dianggap remeh karena mayoritas kendaraan yang melintas tetap terlibat dalam konflik lalu lintas. Sementara itu, Simpang A menunjukkan aktivitas lalu lintas yang lebih tinggi, terutama pada jam-jam sibuk. Kondisi ini mendorong perilaku tergesa-gesa dari pengemudi, khususnya dalam upaya memasuki kawasan kampus atau perkantoran, sehingga respons yang dominan cenderung berupa peningkatan kecepatan daripada memberikan prioritas kepada kendaraan lain.



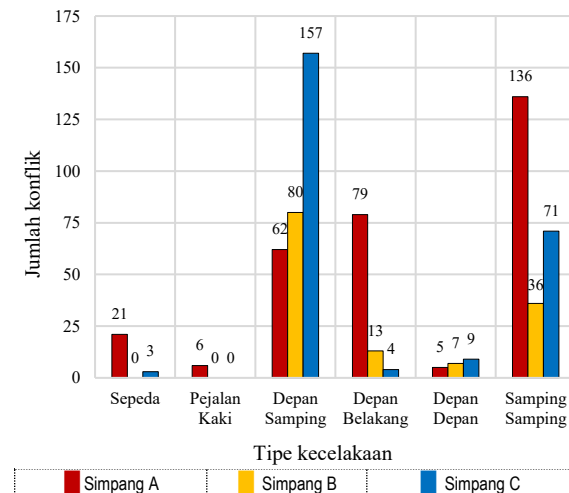
Gambar 13. Fatalitas konflik



Gambar 14. Respon kendaraan yang terlibat konflik

Gambar 15 menunjukkan tipe kecelakaan yang teridentifikasi pada masing-masing lokasi simpang. Di Simpang A, konflik samping-samping merupakan tipe kecelakaan yang paling sering terjadi, diikuti oleh konflik depan-samping dan depan-belakang. Sementara itu, di Simpang B,

konflik depan-samping mendominasi, disusul oleh konflik samping-samping. Pola serupa juga terlihat di Simpang C, di mana konflik depan-samping menjadi yang paling dominan, diikuti oleh konflik samping-samping. Temuan ini konsisten dengan data historis kecelakaan yang menunjukkan pola berulang pada tipe konflik yang sama.



Gambar 15. Hasil analisis tipe konflik pada simpang

Data pada Tabel 3 menyajikan hasil pengamatan nilai *Conflicting Speed (CS)* dan *Time to Accident (TA)* berdasarkan tipe kendaraan utama yang terlibat dalam konflik lalu lintas pada semua simpang. Klasifikasi kendaraan tidak menunjukkan pasangan konflik tertentu (seperti motor–mobil atau motor–motor), melainkan mewakili moda dominan yang diamati dalam konteks arus lalu lintas campuran.

Dengan demikian, disimpulkan kategori kendaraan menggambarkan tipe kendaraan utama yang berinteraksi dengan berbagai moda lain selama periode observasi. Pendekatan ini digunakan karena kondisi lalu lintas di Indonesia bersifat heterogen di mana satu jenis kendaraan dapat berinteraksi dengan beragam moda dalam satu waktu, sehingga klasifikasi berbasis moda dominan dinilai lebih representatif terhadap realitas di lapangan.

Pada moda sepeda motor (*MC*), rentang *CS* berkisar antara 11–58 km/jam untuk konflik serius dan 10–37 km/jam untuk konflik tidak serius, dengan nilai *TA* antara 0,86–0,98 detik pada konflik serius dan 1,36–2,15 detik pada konflik tidak serius. Pola ini memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan di atas 37–40 km/jam secara konsisten diikuti dengan penurunan waktu reaksi di bawah 1,2 detik, yang menandakan potensi terjadinya tabrakan meningkat tajam. Maka, ambang batas empiris untuk konflik serius pada moda sepeda motor dapat ditetapkan sekitar $CS > 37$ km/jam dan $TA < 1,15$ detik.

Pada moda mobil (C), nilai CS untuk konflik serius berada pada kisaran 13–50 km/jam dengan TA antara 0,57–0,83 detik. Sementara itu, konflik tidak serius menunjukkan nilai CS antara 10–37 km/jam dan TA sekitar 1,36–1,43 detik. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa konflik serius pada kendaraan ringan mulai meningkat ketika kecepatan melampaui 37–40 km/jam dengan waktu reaksi di bawah 1 detik. Hal ini menegaskan bahwa ambang batas yang berlaku untuk moda mobil relatif sejalan dengan moda sepeda motor, sehingga penetapan zona pendekatan simpang dengan batas kecepatan maksimum 40 km/jam dinilai efektif untuk menekan risiko konflik serius.

Untuk kendaraan berat (HV), rentang CS tercatat antara 20–39 km/jam pada konflik serius dan 17–32 km/jam pada konflik tidak serius, dengan nilai TA masing-masing 0,18–0,92 detik dan 1,21–1,27 detik. Meskipun kecepatan kendaraan berat relatif lebih rendah dibandingkan kendaraan ringan, nilai TA yang sangat kecil menunjukkan bahwa kapasitas pengereman dan waktu reaksi pengemudi kendaraan berat yang lebih lambat berkontribusi pada risiko tabrakan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, ambang batas konflik serius pada moda ini dapat ditetapkan sekitar $CS > 32$ km/jam dan $TA < 1,2$ detik, dengan rekomendasi penerapan rambu peringatan khusus kendaraan berat di sekitar area simpang.

Pada kondisi *unmotorcycle* (UMC), di mana interaksi antara kendaraan ringan, berat, dan sepeda motor terjadi secara simultan, konflik serius terjadi pada CS 21–31 km/jam dengan TA 0,35–1,22 detik. Sementara itu, konflik tidak serius terjadi pada kecepatan 16–30 km/jam dengan TA sekitar 1,79 detik. Pola ini menunjukkan bahwa meskipun kecepatan rata-rata lebih rendah dibandingkan moda tunggal, risiko konflik serius tetap tinggi

akibat tingginya intensitas interaksi antar moda. Oleh sebab itu, ambang batas empiris di area campuran dapat ditetapkan pada $CS > 30$ –35 km/jam dan $TA < 1,4$ –1,5 detik, dengan rekomendasi penerapan *speed calming* seperti marka kejut, *zebra cross*, dan zona perlambatan 30–40 km/jam.

Sementara itu, konflik yang melibatkan pejalan kaki (Pds) menunjukkan pola yang sangat sensitif terhadap kecepatan kendaraan. Konflik serius tercatat pada kecepatan 22–31 km/jam dengan TA 0,69–1,14 detik, sedangkan data konflik tidak serius tidak teridentifikasi secara signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kecepatan di atas 25–30 km/jam, potensi cedera fatal bagi pejalan kaki meningkat secara eksponensial. Dengan demikian, penerapan batas kecepatan maksimum 30 km/jam di zona penyeberangan dan pendekatan simpang dengan aktivitas pejalan kaki tinggi menjadi sangat krusial untuk meminimalkan risiko kecelakaan.

Dalam konteks keselamatan lalu lintas di jalan arteri primer Indonesia, hasil ini menggambarkan risiko khas pada lalu lintas campuran yang didominasi sepeda motor. Jalan arteri primer umumnya memiliki volume kendaraan tinggi, kecepatan relatif besar, serta perbedaan signifikan dalam dimensi dan kemampuan manuver antar moda. Kombinasi faktor tersebut meningkatkan peluang terjadinya konflik serius, terutama ketika sepeda motor berinteraksi dengan kendaraan berukuran lebih besar. Oleh karena itu, hasil analisis ini memperkuat urgensi penyesuaian ambang batas waktu konflik terhadap kondisi lokal. Dengan kalibrasi nilai ambang berdasarkan pengamatan, *Swedish TCT* dapat memberikan hasil yang lebih akurat dalam menilai tingkat risiko prakecelakaan pada sistem lalu lintas Indonesia yang heterogen terutama pada jalan arteri primer.

Tabel 3. Ambang batas fatalitas konflik setiap kendaraan

No	Tipe kendaraan	Conflicting speed (CS) (km/jam)		Time to accident (TA) (detik)		Jenis konflik
		min	max	min	max	
1	MC	11	58	0,98	0,86	Konflik serius
		10	37	2,15	1,36	Konflik tidak serius
2	C	13	50	0,83	0,57	Konflik serius
		10	37	1,43	1,36	Konflik tidak serius
3	HV	20	39	0,92	0,18	Konflik serius
		17	32	1,27	1,21	Konflik tidak serius
4	UMC	21	31	1,22	0,35	Konflik serius
		16	30	1,79	1,79	Konflik tidak serius
5	Pds	22	31	1,14	0,69	Konflik serius
		-	-	-	-	Konflik tidak serius

Temuan ini memperkuat relevansi penerapan batas kecepatan maksimum sebesar 40 km/jam pada Jalan Raya Jogja–Solo yang berkarakteristik padat dan kompleks, serta 60 km/jam pada Jalan Magelang dan Jalan Wates yang memiliki arus kendaraan lebih stabil. Penetapan batas tersebut sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan, yang merupakan turunan dari Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 dan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2013 tentang Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.

Dengan integrasi antara hasil analisis *Swedish TCT* dan regulasi pemerintah, penelitian ini menegaskan bahwa kebijakan batas kecepatan nasional memiliki dasar empiris yang kuat, terutama ketika diterapkan secara adaptif pada area simpang dengan risiko tinggi. Oleh karena itu, direkomendasikan agar penerapan batas kecepatan tersebut disertai dengan penguatan infrastruktur keselamatan, seperti pemasangan rambu batas kecepatan, marka kejut (*rumble strip*), dan kamera pemantau kecepatan di zona pendekatan simpang. Pendekatan berbasis bukti empiris ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas kebijakan keselamatan lalu lintas dan menurunkan potensi konflik serius pada jalan arteri primer di Indonesia.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis keselamatan simpang pada ruas jalan rawan kecelakaan di Kabupaten Sleman menggunakan metode *Swedish Traffic Conflict Technique (TCT)*, diperoleh beberapa temuan utama. Hasil penerapan *Swedish TCT* pada ketiga simpang menunjukkan tingkat konflik lalu lintas yang tergolong tinggi, dengan dominasi konflik samping–samping dan depan–samping. Nilai *Time to Accident (TA)* pada beberapa kejadian mendekati atau berada di bawah ambang batas kritis 1,5 detik, menandakan tingginya potensi risiko tabrakan. Namun, hasil ini perlu diinterpretasikan secara kontekstual, mengingat karakteristik lalu lintas di Indonesia yang bersifat heterogen.

Penelitian ini menegaskan bahwa meskipun metode *Swedish TCT* tetap valid secara konseptual sebagai pendekatan prakecelakaan, penerapannya di Indonesia memerlukan kalibrasi ambang batas berdasarkan jenis kendaraan dan konteks jalan arteri primer. Nilai ambang *Time to Accident* dan *Conflicting Speed* yang berbeda antar moda, khususnya antara sepeda motor, kendaraan ringan, dan kendaraan berat perlu diperhitungkan agar hasil analisis lebih representatif terhadap kondisi lalu lintas campuran. Integrasi antara hasil analisis *Swedish TCT*, serta regulasi batas kecepatan

nasional (PM No. 111 Tahun 2015) menunjukkan konsistensi antara temuan empiris dan kebijakan pemerintah. Pembatasan kecepatan 40 km/jam pada Jalan Raya Jogja–Solo dan 60 km/jam pada Jalan Magelang serta Jalan Wates dinilai sejalan dengan hasil *Swedish TCT*, yang menunjukkan peningkatan konflik pada kecepatan. Oleh karena itu, pengendalian kecepatan perlu dioptimalkan melalui penataan geometri simpang, pemasangan rambu batas kecepatan, dan penerapan zona kecepatan berbasis risiko sebagai langkah strategis peningkatan keselamatan di kawasan arteri primer.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Assoc. Prof. Ghazwan Al-Haji, Associate Professor di Linköping University sebagai Koordinator ERASMUS+ CBHE PROJECT "ASIASAFE" yang didanai oleh hibah dari Uni Eropa dengan nomor kontrak 618325-EPP-1-2020-1-SE-EPPKA2-CBHE-JP bekerja sama dengan Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan Institut Riset dan Inovasi (LRI) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- Ahmed, S. K., Mohammed, M. G., Abdulqadir, S. O., El-Kader, R. G. A., El-Shall, N. A., Chandran, D., Rehman, M. E. U., & Dhama, K. (2023). Road traffic accidental injuries and deaths: A neglected global health issue. *Health Science Reports*, 6(5), e1240.
- Aziz, F., Mahmudah, N., & Comi, A. (2025). Advancing road safety in urban area: the impact of roundabouts on intersection design. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 11(2), 191–202.
- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah. 2004. Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. Pd T-09-2004-B. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta (2004).
- Harmanto, J. P., & Gunawan, H. E. (2020). Pola Spasial Temporal Kecelakaan Lalu Lintas Di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 20(1), 27–36.
- Hyden, C., & Linderholm, L. (1984). The Swedish traffic-conflicts technique. In *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques* (pp. 133–139). Springer.
- Indrianawati, I., & Romadani, I. D. (2022). Penentuan Rute Evakuasi Korban Kecelakaan Lalu Lintas di Kabupaten Sleman Menuju UGD

- Terdekat. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 6(2), 165–175.
<https://doi.org/10.26760/jrh.v6i2.165-175>
- Isfandyari, A., & Lazuardi, L. (2018). Fatalitas dan analisis spasial kecelakaan lalu lintas di Gunung Kidul. *Berita Kedokteran Masyarakat*, 34(2), 50–54.
- Kamabu, K., Soria, J. L. O., Tumwesigye, D., Okedi, X. F., Kyomukama, L., Muhumuza, J., Musunguzi, B., Kavuma, D., Mutume, B. N. V., & Loduk, M. (2023). *24 hour mortality and its predictors among road traffic accident victims in a resource limited setting; a multicenter cohort study*.
- Karimi, M. B. U. Al, Haryadi, B., & Setiadji, B. H. (2023). Analysis capacity of U-turn movement at median opening using microsimulation PTV Vissim (case study: median opening Jl. Prof. Soedarto, SH. Tembalang, Semarang, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1195(1), 12051.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012051>
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. 2022. Penetapan Ruas Jalan Dalam Jaringan Jalan Primer Menurut Fungsinya Sebagai Jalan Arteri Primer (JAP) Dan Jalan Kolektor Primer-1 (JKP-1). 430/KPTS/M/2022. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta, 1 (2022).
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. 2022. Penetapan Ruas Jalan Menurut Statusnya Sebagai Jalan Nasional. 1688/KPTS/M/2022. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta, 1 (2022).
- Laureshyn, A., Johnsson, C., De Ceunynck, T., Svensson, Å., de Goede, M., Saunier, N., Włodarek, P., van der Horst, R., & Daniels, S. (2016). *Review of current study methods for VRU safety. Appendix 6—Scoping review: surrogate measures of safety in site-based road traffic observations: Deliverable 2.1—part 4*.
- Laureshyn, A., & Varhelyi, A. (2018). *The Swedish Traffic Conflict technique: observer's manual*.
- Mahmudah, N., Pratama, W. A., Aziz, F., Ihza, Z. M., & Karim, M. A. (2025). Road Traffic Safety Analysis at Unsignalized Intersection of Rural Road in Yogyakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 2989(1), 12022.
- Mahmudah, N., Pratama, W., & Fadhillah, M. (2025). Road Safety Evaluation on Collector Road Section of Siluk-Panggang, Yogyakarta, Indonesia. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 35, 35–46. <https://doi.org/10.59440/ceer/202031>
- Organization, W. H. (2015). *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization.
- Pamungkas, D. B., & Suhendar, A. (2024). Perancangan Aplikasi Pemesanan Tiket Pariwisata Berbasis Mobile di Kota Yogyakarta. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 713–721.
- Pratama, W. A., & Mahmudah, N. (2024a). Review of the adaptive Swedish traffic conflict technique: Applications and implications for road traffic safety. *Journal of Applied Engineering Science*, 22(3), 593–603.
- Pratama, W. A., & Mahmudah, N. (2024b). Spatial Analysis to Determine Black Spot Area in Kulon Progo Regency, Yogyakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1294(1), 12016.
- Ramadhani, M. J., Juita, E., & Zuriyani, E. (2021). Analisis Spasial Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Arteri Kota Padang. *EL-JUGHRAFIYAH*, 4(1), 91–98.
- Sarebni, A. V. F., Setiadji, B. H., & Narendra, A. (2025). Accident Analysis on the Arteri Yos Sudarso street. *Eduvest-Journal of Universal Studies*, 5(5), 5013–5022.
- Setiawan, A., Prasetyo, H. E., Novriani, S., Soerjatmodjo, I. S., & Hanif, F. (2024). Tingkat Keselamatan Pada Simpang Tiga Dengan Metode Traffic Conflict Technique Pada Persimpangan Jalan Raya Kalimalang–Jalan Raden Inten. *Konstruksia*, 15(2), 164–176.
- Sujarweni, V. W., & Jaya, I. M. L. M. (2019). Community Empowerment in the Development of Geoheritage Tourism Cliff Breksi for Improved Livelihood Villagers Sambirejo Yogyakarta [Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengembangan Wisata Warisan Geoheritage Tebing Breksi untuk Peningkatan Taraf Hidup Warga De. *Proceeding of Community Development*, 2, 915–919.
- Wahyuningsih, T., Assuhaeli, L. M. D., Efendy, A., & Fariyadin, A. (2024). Analisa Tingkat Keselamatan Lalu Lintas Pada Simpang Bengkel Dengan Metode Traffic Conflict Technique (TCT). *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 10(3), 486–497.
- Yandi, T., & Lubis, F. (2020). Analisis Karakteristik Kecelakaan Lalu Lintas pada Jalan Yos Sudarso Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik*, 14(1), 17–21.