

ANALISIS GEOMETRIK TIKUNGAN TAJAM PADA RUAS JALAN DI WILAYAH KOTA TOMOHON BERDASARKAN STANDAR BINA MARGA

Christian J.V Saul ¹, Toar U.Y Pangkey ^{2*}, Yessy C.S Pandeiroth ³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,

Universitas Negeri Manado

Email : christiansaul441@gmail.com¹, toarpangkey@unima.ac.id^{2*}, yessypandeiroth@unima.ac.id³

*Corresponding Author : toarpangkey@unima.ac.id

ABSTRAK

Desain geometrik jalan di wilayah perbukitan Kota Tomohon seringkali tidak memenuhi standar keselamatan pada tikungan tajam, sehingga berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kesesuaian geometrik lima tikungan tajam terhadap standar PDGJ 2021 dan merancang ulang tiga tikungan paling kritis. Menggunakan metode kuantitatif deskriptif melalui survei lapangan, hasil analisis menunjukkan kelima tikungan tidak memenuhi syarat keselamatan, dengan radius eksisting yang sangat kecil (5,13 m – 12,01 m) dan superelevasi ekstrem. Desain ulang menggunakan tipe Spiral-Circle-Spiral (S-C-S) berhasil merumuskan parameter yang aman, meliputi radius rencana 35 m dan superelevasi 6%, serta memenuhi syarat jarak pandang henti. Disimpulkan bahwa perbaikan geometrik mendesak diperlukan, dengan rekomendasi pemasangan rambu peringatan sebagai solusi jangka pendek dan studi realinyemen sebagai solusi jangka panjang.

Kata Kunci : Geometrik Jalan, Tikungan Tajam, Keselamatan Lalu Lintas, Desain Ulang, Standar Bina Marga

ABSTRACT

Road geometric designs in the hilly terrain of Tomohon City often fail to meet safety standards at sharp curves, increasing the risk of traffic accidents. This study aims to evaluate the geometric conformity of five sharp curves with the 2021 PDGJ standard and redesign the three most critical ones. Using a quantitative descriptive method with field surveys, the analysis revealed that all five curves failed to meet safety requirements, showing extremely small existing radii (5.13 m – 12.01 m) and excessive superelevation. The redesign, using the Spiral-Circle-Spiral (S-C-S) method, successfully established safe parameters, including a 35 m design radius, 6% superelevation, and adequate stopping sight distance. It is concluded that urgent geometric improvements are necessary, with recommendations for installing warning signs as a short-term solution and conducting a realignment study for a long-term solution.

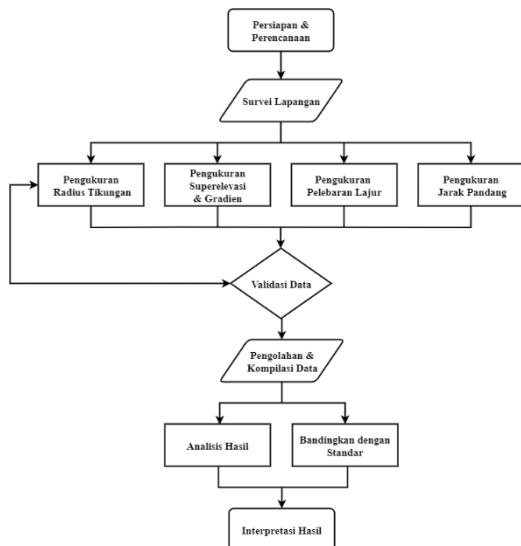
Keywords : Road Geometry, Sharp Curve, Traffic Safety, Redesign, Bina Marga Standard

1. Pendahuluan

Kualitas desain geometrik jalan sangat menentukan keselamatan, terutama di topografi perbukitan seperti Kota Tomohon, di mana tikungan tajam menjadi titik rawan kecelakaan. Observasi awal pada beberapa ruas jalan kritis di Tomohon mengidentifikasi permasalahan signifikan, seperti radius yang terlalu sempit dan superelevasi yang tidak standar. Kondisi ini menciptakan kesenjangan yang jelas antara kondisi lapangan dengan Pedoman Desain Geometrik Jalan (PDGJ) 2021. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian geometrik eksisting pada lima tikungan tajam dan menyusun desain ulang (redesain) untuk tiga tikungan paling kritis agar memenuhi standar keselamatan yang berlaku.

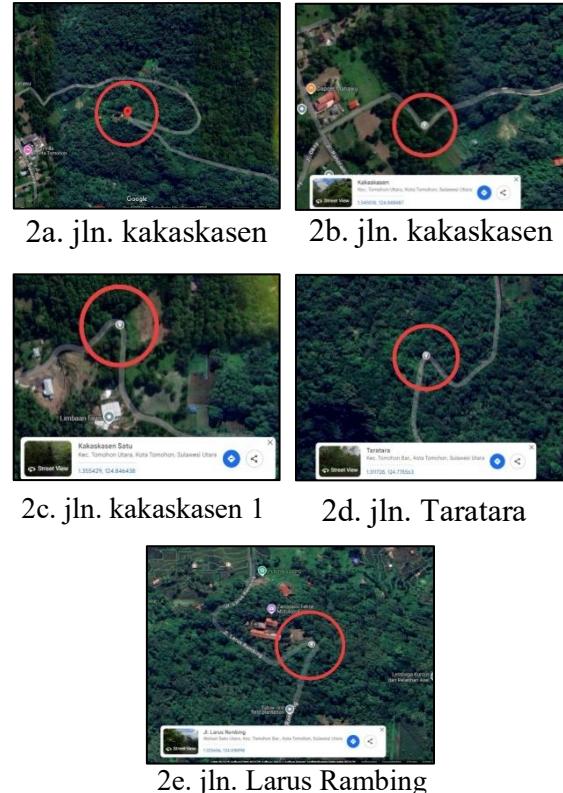
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif analitis, dengan fokus pada pengumpulan data numerik parameter geometrik di lapangan untuk dievaluasi terhadap standar teknis pedoman desain geometrik jalan (PDGJ) 2021. Alur kerja penelitian, mulai dari persiapan hingga interpretasi hasil, disajikan dalam gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

sample penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* yang mencakup lima tikungan tajam di kota Tomohon. Lokasi dan koordinat spesifik dari kelima tikungan disajikan pada gambar 2 dan tabel 1.



Tabel 1 Koordinat dan Lokasi Penelitian

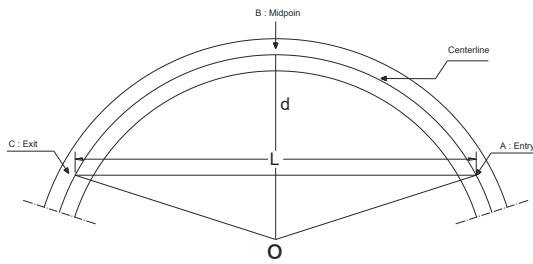
No	Identitas Tikungan	Koordinat (Lintang, Bujur)
1	Jln Kakaskasen	1°20'42.6"N, 124°51'02.6"E
2	Jln Kakaskasen	1°20'43.7"N, 124°50'54.5"E
3	Jln Kakaskasen Satu	1°21'19.5"N, 124°50'47.2"E
4	Jln Taratara	1°18'42.2"N, 124°46'42.8"E
5	Jln. Larus Rambing	1°19'32.4"N, 124°49'08.0"E

Dari lima tikungan tersebut, tiga lokasi (Tikungan 1, 3, dan 4) diidentifikasi sebagai yang paling kritis berdasarkan persentase deviasi radius eksisting (R_{eks}) terhadap radius minimum standar (R_{min}). Ketiga tikungan ini dipilih untuk proses desain ulang penuh.

Tiga tikungan dengan deviasi radius eksisting (R_{eks}) terbesar terhadap radius minimum standar (R_{min}) dipilih untuk proses desain ulang penuh.

2.1 Pengumpulan Data Lapangan

Data primer diperoleh melalui survei lapangan. Radius eksisting (R_{eks}) diukur menggunakan metode *Chord-Offset* (Gambar 3) yang menghitung jari-jari berdasarkan hubungan panjang tali busur (L) dan jarak offset (d) seperti dinyatakan dalam persamaan (1).



Gambar 3: Skema Pengukuran Radius Metode Chord-Offset

$$R = \frac{L^2}{8d} + \frac{d}{2} \quad (1)$$

Pengukuran kemiringan melintang (*superelevasi*) dilakukan menggunakan *Clinometer* digital. Validasi manual dilakukan menggunakan *waterpass* dengan mengukur selisih tinggi tepi luar (h_2) dan tepi dalam (h_1) perkerasan untuk mendapatkan beda tinggi (Δh) sesuai persamaan (2).

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Nilai beda tinggi kemudian digunakan untuk menghitung persentase superelevasi eksisting (e_{eks}) terhadap lebar perkerasan (D) menggunakan persamaan (3).

$$e(\%) = \frac{\Delta h}{D} \times 100\% \quad (3)$$

2.2 Analisis dan Desain Ulang

Evaluasi geometrik mengacu pada standar PDGJ 2021 dengan Kecepatan Rencana (V_r) 30 km/jam, superelevasi maksimum (e_{maks}) 6%, dan koefisien gesek (f_{maks}) 0,17. Radius minimum (R_{min}) ditentukan menggunakan persamaan (4).

$$R_{min} = \frac{V_r^2}{127(e_{maks} + f_{maks})} \quad (4)$$

Untuk tikungan kritis, desain ulang tipe *Spiral-Circle-Spiral* (S-C-S) diterapkan. Panjang lengkung peralihan (L_s) dihitung berdasarkan nilai maksimum dari tiga kriteria standar, dengan acuan utama rumus modifikasi Shortt pada persamaan (5).

$$L_s = 0,022 \frac{V_r^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \frac{V_r \cdot e_d}{C} \quad (5)$$

Dimana C adalah perubahan percepatan ($0,4 \text{m/s}^3$) dan e_d adalah superelevasi rencana. Komponen geometrik S-C-S lainnya, meliputi sudut spiral (θ_s), pergeseran lateral (p), absis (k), panjang busur lingkaran (L_c), dan panjang tangen (T_s), dihitung berdasarkan persamaan (6) hingga (10).

$$\theta_s = \frac{90 \cdot L_s}{\pi \cdot R_c} \quad (6)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6R_c} - R_c(1 - \cos\theta_s) \quad (7)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40R_c^2} - R_c \sin\theta_s \quad (8)$$

$$L_c = \frac{(\Delta - 2\theta_s)\pi \cdot R_c}{180} \quad (9)$$

$$T_s = (R_c + p) \tan\left(\frac{1}{2}\Delta\right) + k \quad (10)$$

Verifikasi keselamatan dilakukan dengan menghitung kebutuhan Jarak Pandang Henti (J_{PH}) dan Ruang Bebas Samping (M) menggunakan persamaan (11) dan (12).

$$J_{PH} = 0,278 \cdot V_r \cdot t + \frac{V^2}{254(f \pm g)} \quad (11)$$

$$M = R_c \left(1 - \cos\left(\frac{28,65 \cdot J_{PH}}{R_c}\right) \right) \quad (12)$$

3. Hasil Dan Pembahasan

Analisis data difokuskan pada dua tahap: pertama, evaluasi kesenjangan (gap analysis) antara kondisi eksisting kelima tikungan terhadap standar PDGJ 2021; dan kedua, perancangan ulang (redesain) tiga tikungan paling kritis.

3.1. Kesenjangan Geometrik Eksisting

Tahap pertama adalah analisis untuk menentukan Kecepatan Rencana (V_r). Berdasarkan klasifikasi fungsi jalan (Jalan Lokal Sekunder) dan kondisi medan (Perbukitan), V_r ditetapkan sebesar 30 km/jam. Berdasarkan nilai ini, parameter keselamatan minimum sesuai PDGJ 2021

dihitung sebagai berikut: Radius Minimum (R_{min}) = 30,81 m (untuk $e_{maks}=6\%$ dan $f_{maks}=0,17$) dan Jarak Pandang Henti (JPH) minimum = 35 m.

Data hasil survei lapangan untuk kelima tikungan kemudian dibandingkan dengan standar tersebut. Hasil evaluasi komparatif dirangkum dalam Tabel .

Tabel 3A Perbandingan Radius, Superelevasi, dan Kelandaian

Nama Jalan	Elemen	Standar $V_r = 30$ km/jm	Nilai Eksisting	Keterangan
Jln. Kakaskasen	R	min. 30 m	5.13 m	Tidak Memenuhi
	e	maks. 6.0%	7.87%	Tidak Memenuhi
	g	maks. 12.0%	7.87%	Memenuhi
Jln. Kakaskasen	R	min. 30 m	12.01 m	Tidak Memenuhi
	e	maks. 6.0%	15.66%	Tidak Memenuhi
	g	maks. 12.0%	15.66%	Tidak Memenuhi
Jln. Kakaskasen Satu	R	min. 30 m	6.00 m	Tidak Memenuhi
	e	maks. 6.0%	11.23%	Tidak Memenuhi
	g	maks. 12.0%	11.23%	Memenuhi
Jln. Taratara	R	min. 30 m	8.10 m	Tidak Memenuhi
	e	maks. 6.0%	10.70%	Tidak Memenuhi
	g	maks. 12.0%	10.70%	Memenuhi
Jln. Larus Rambing	R	min. 30 m	9.04 m	Tidak Memenuhi
	e	maks. 6.0%	4.89%	Memenuhi
	g	maks. 12.0%	4.89%	Memenuhi

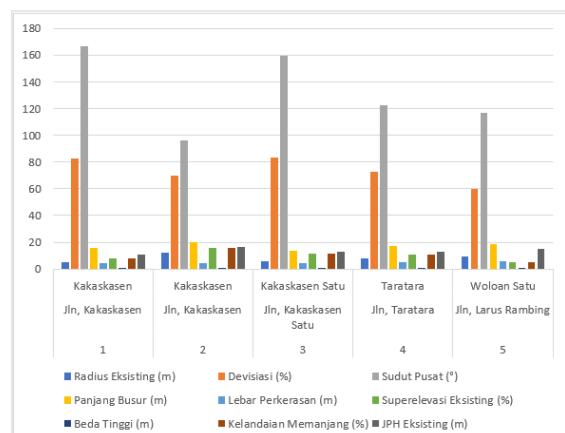
Tabel 3B Perbandingan Jarak Pandang Henti (JPH) dan Pelebaran

Nama Jalan	Elemen	Standar $V_r = 30$ km/jam	Nilai Eksisting	Keterangan
Jln. Kakaskasen	JPH	min. 35 m	10.8 m	Tidak Memenuhi
	Pelebaran	~2.40 m	0.30 m	Tidak Memenuhi
Jln. Kakaskasen	JPH	min. 35 m	16.7 m	Tidak Memenuhi
	Pelebaran	~1.80 m	0.20 m	Tidak Memenuhi
Jln. Kakaskasen Satu	JPH	min. 35 m	13.0 m	Tidak Memenuhi
	Pelebaran	~2.20 m	0.20 m	Tidak Memenuhi
Jln. Taratara	JPH	min. 35 m	12.6 m	Tidak Memenuhi
	Pelebaran	~2.00 m	0.30 m	Tidak Memenuhi
Jln. Larus Rambing	JPH	min. 35 m	15.4 m	Tidak Memenuhi
	Pelebaran	~1.90 m	1.40 m	Tidak Memenuhi

Hasil analisis pada Tabel 3 menunjukkan bahwa 100% tikungan studi gagal memenuhi standar keselamatan dasar PDGJ 2021. Kesenjangan yang ditemukan sangat signifikan:

1. Radius (R): Radius eksisting (R_{eks}) berkisar antara 5,13 m hingga 12,01 m, yang secara drastis berada di bawah radius minimum absolut (R_{min}) sebesar 30,81 m
2. Superelevasi (e): Empat dari lima tikungan memiliki superelevasi eksisting yang ekstrem (misalnya 7,87%, 10,70%, 11,23%, dan 15,66%), jauh melampaui batas aman maksimum (e_{maks}) sebesar 6%
3. Jarak Pandang Henti (JPH): Tidak ada satupun tikungan yang memenuhi JPH minimum 35 m. Nilai JPH eksisting di lapangan hanya berkisar antara 10,8 m hingga 16,7 m.

Visualisasi pada Grafik 1 memperlihatkan ketidakseimbangan proporsional parameter geometri, di mana nilai radius eksisting (kolom biru) yang sangat kecil terlihat kontras dibandingkan besarnya sudut deviasi (kolom oranye) dan sudut pusat (kolom abu-abu). Disparitas antara radius yang minim dengan sudut-sudut yang besar ini mengindikasikan desain tikungan yang sangat tajam, sehingga menciptakan kondisi yang berpotensi tinggi membahayakan keselamatan pengguna jalan



Grafik 1: Grafik Perbandingan Data Geometrik Eksisting

3.2. Hasil Desain Ulang Tikungan Kritis

Berdasarkan evaluasi mendalam dari analisis kesenjangan, intervensi desain diarahkan pada tiga titik dengan deviasi terbesar, yakni Tikungan 1, Tikungan 3, dan Tikungan 4. Mengingat kondisi eksisting tikungan-tikungan ini masih berupa tipe *Spiral-Spiral* (S-S) non-standar yang berisiko, maka dilakukan langkah perancangan ulang secara menyeluruh. Desain baru ini beralih menggunakan metode *Spiral-Circle-Spiral* (S-C-S), sebuah pendekatan yang dipilih untuk memperbaiki alinyemen horizontal agar menghasilkan transisi geometri yang jauh lebih aman dan nyaman bagi pengguna jalan sesuai standar yang berlaku.

Parameter desain utama ditetapkan seragam untuk ketiga lokasi guna memenuhi standar PDGJ 2021:

1. Radius Rencana (R_c): 35 m (lebih besar dari R_{min} 30,81 m).
2. Superelevasi Rencana (e_d): 6% (nilai perhitungan 5,92% dibulatkan ke e_{maks} 6% untuk keamanan).
3. Panjang Lengkung Peralihan (L_s): 36 m (diambil dari nilai terbesar hasil perhitungan L_s).

Untuk mengevaluasi sejauh mana intervensi teknis mampu mengatasi permasalahan di lapangan, dilakukan analisis komparatif antara kondisi awal dan rencana perbaikan. Tabel 4 merangkum perbandingan parameter kunci antara kondisi geometrik eksisting yang teridentifikasi memiliki keterbatasan dengan hasil desain ulang menggunakan lengkung *Spiral-Circle-Spiral* (S-C-S). Perbandingan ini disusun guna memberikan gambaran jelas mengenai transformasi geometri jalan, serta menyoroti peningkatan signifikan pada aspek keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan yang ditawarkan oleh solusi desain baru tersebut.

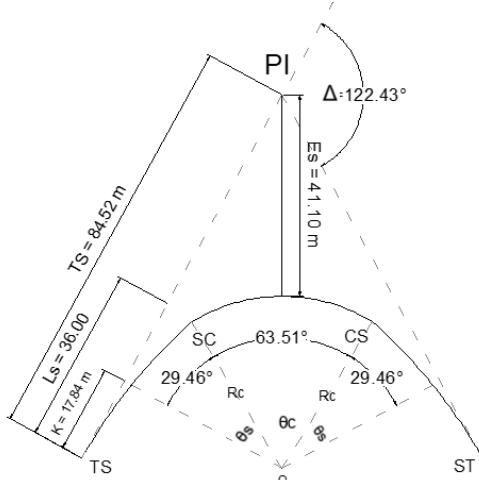
Tabel 4 Parameter Geometrik Sebelum dan Sesudah Desain Ulang

Parameter	Tikungan 3 (Jln. K. Satu)	Tikungan 1 (Jln. Kakaskasen)	Tikungan 4 (Jln. Taratara)
	Eksisting → Desain	Eksisting → Desain	Eksisting → Desain
Radius (R_c)	6,00 m → 35,00 m	5,13 m → 35,00 m	8,10 m → 35,00 m
Superelevasi (e)	11,23 % → 6 %	7,87 % → 6 %	10,70 % → 6 %
Jarak Pandang (J_{PH})	13,0 m → 35,0 m	10,8 m → 35,0 m	12,6 m → 35,0 m
Pelebaran (Δb)	0,20 m → 1,80 m	0,30 m → 1,80 m	0,30 m → 1,80 m
Ruang Bebas (M)	Tidak Ada → 4,28 m	Tidak Ada → 4,28 m	Tidak Ada → 4,28 m

Mengacu pada Tabel 4, Redesain menghasilkan peningkatan keselamatan yang signifikan:

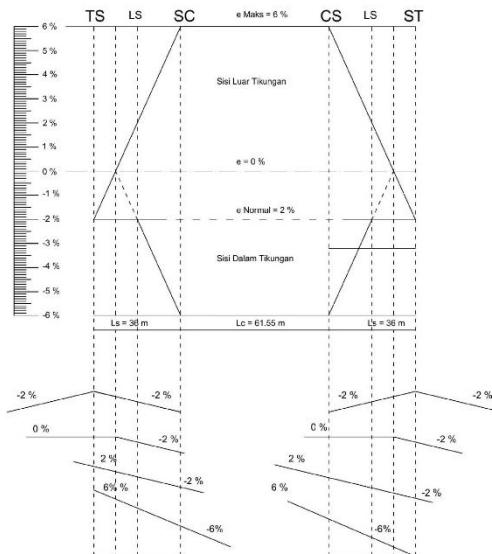
1. Radius (R) diperbesar dari 5-8 m menjadi 35 m, menjadikan tikungan jauh lebih landai.
2. Superelevasi (e) dinormalisasi dari kondisi ekstrem (11,23%) menjadi 6% sesuai standar PDGJ 2021.
3. Jarak Pandang Henti (JPH) mencapai standar 35 m (sebelumnya 10-13 m) dengan dukungan Ruang Bebas Samping (M) 4,28 m.
4. Pelebaran Tikungan (B_t) disediakan sebesar 1,8 m guna mengakomodasi manuver kendaraan besar.

Visualisasi desain tipikal S-C-S ditampilkan pada Gambar 4, sedangkan metode pencapaian superelevasi 6% diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 4: Diagram Alinyemen Horizontal S-C-S Hasil Desain Ulang

Berikut adalah diagram superelevasi yang memperlihatkan Transisi superelevasi dari normal 2% menuju rencana 6% dilakukan secara linear sepanjang L_s 36 meter pada sumbu jalan (Gambar 5).



Gambar 5 Diagram Superelevasi

4. Pembahasan: Kendala Implementasi

Desain Ideal. Ini adalah bagian yang sangat krusial karena menunjukkan engineering judgment (pertimbangan rekayasa) Anda. Di sini Anda menjelaskan bahwa meskipun hitungan di atas benar secara teori, penerapannya sulit karena kondisi lapangan. Berikut adalah draf untuk bagian tersebut:

- 3.3. Kendala Desain dan Rekomendasi

Meskipun desain ulang S-C-S dengan $R_c = 35$ m dan $e = 6\%$ secara teoretis memenuhi seluruh kriteria

keselamatan PDGJ 2021, analisis lebih lanjut mengungkapkan kendala implementasi yang kritis. Ditemukan bahwa pada Tikungan 1 dan 3, sudut tikungan (Δ) yang sangat ekstrem (masing-masing $166,62^\circ$ dan $159,69^\circ$) menyebabkan nilai Panjang Tangen (T_s) menjadi sangat besar, mencapai 336 m dan 223 m. Secara praktis, penerapan panjang tangen sebesar ini di lokasi studi (kawasan perbukitan Tomohon) sangat sulit atau tidak mungkin dilakukan karena membutuhkan pembebasan lahan yang masif dan bertabrakan dengan kondisi topografi (tebing dan jurang) 1111. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk tikungan dengan sudut defleksi mendekati 180° (hairpin), penerapan standar radius minimum 30 km/jam memerlukan penyesuaian trase yang radikal.

5. Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi dan analisis desain ulang, diperoleh tiga kesimpulan utama. Pertama, kondisi geometrik eksisting pada lima tikungan tajam di ruas jalan studi Kota Tomohon secara signifikan tidak memenuhi standar keselamatan PDGJ 2021. Hal ini ditunjukkan oleh radius eksisting (R_{eks}) yang sangat kecil (5,13 m – 12,01 m) di bawah standar minimum 30,81 m, serta superelevasi (e_{eks}) yang ekstrem mencapai 15,66% melampaui batas aman 6%. Kedua, desain ulang menggunakan metode *Spiral-Circle-Spiral* (S-C-S) dengan parameter $R_c = 35$ m dan $e = 6\%$ secara teoretis berhasil memenuhi seluruh kriteria keselamatan, termasuk pemenuhan Jarak Pandang Henti standar 35 m. Ketiga, meskipun memenuhi standar secara teoretis, desain ideal S-C-S teridentifikasi memiliki kendala implementasi yang kritis pada tikungan dengan sudut defleksi ekstrem (mendekati 180°). Nilai Panjang Tangen (T_s) yang dihasilkan (hingga 336 m) dinilai tidak

praktis untuk diterapkan pada kondisi topografi perbukitan eksisting karena membutuhkan pembebasan lahan yang massif.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan strategi penanganan sebagai berikut:

1. Penanganan Jangka Pendek (Mitigasi): Segera lengkapi lokasi tikungan kritis dengan rambu peringatan tikungan tajam, rambu batas kecepatan maksimum (15-20 km/jam), cermin tikungan, dan marka *chevron* untuk meningkatkan kewaspadaan pengemudi terhadap kondisi geometrik yang substandar.
2. Penanganan Jangka Panjang (Solusi Permanen): Untuk Tikungan 4 (Jln. Taratara), desain ulang S-C-S dapat dipertimbangkan untuk studi kelayakan teknis. Namun, untuk Tikungan 1 dan 3 (kawasan Kakaskasen) yang memiliki sudut ekstrem, disarankan melakukan studi rekayasa trase (*realignment*) lanjutan guna memecah tikungan tunggal tersebut menjadi rute baru dengan kelengkungan yang lebih landai dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/TBM/1997*. 7. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Pedoman Desain Geometrik Jalan (PDGJ) No. 13/P/BM/2021*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Gultom, H. R. A., Manoppo, M. R. E., & Sendow, T. K. (2022). Evaluasi Geometrik Ruas Jalan Batas Kota Manado–Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 10(2), 1-8.

- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kusmaryono, I. (2018). *Rekayasa Jalan Raya 1*. Jakarta: ISTN Press.
- Mahmudah, N., Reswara, H., & Al-Haji, G. (2023). Analisis Hubungan Geometrik Jalan dengan Potensi Kecelakaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(1), 10-18.
- Murniati, M., Sakti, D., & Salonten, S. (2024). Analisis Tikungan pada Kawasan Wisata Bukit Batu. *Jurnal PNL*, 5(1), 45-52.
- Purwanto, D., & Indriastuti, A. K. (2015). Hubungan antara Kecepatan dan Kondisi Geometrik Jalan pada Tikungan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 21(2), 127-136.
- Reuhut, R. M. E. D. J., & Leihitu, J. (2022). Evaluasi Geometrik Jalan pada Tikungan Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 4(2), 55-64.
- Sukirman, S. (1999). *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- Yuzaeva, P. M., & Wibisono, R. E. (2023). Desain Perencanaan Geometrik Jalan pada Tikungan dengan Metode Bina Marga. *Mitrans: Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 1(1), 49-63.