

Contents list available at journal.uib.ac.id

Journal of Civil Engineering and Planning

Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Evaluasi Geometrik Jalan dengan Teknologi UAV Yang Diolah Melalui *Software* Berbasis *Orthophoto* pada Jalan Soekarno Hatta Km 10 – Km 15 Kalimantan Timur

Geometric Evaluation of Roads with UAV Technology Processed Through Orthophoto-Based Software on Jalan Soekarno Hatta Km 10 – Km 15 East Kalimantan

Dhinar Yoga Hanggung Legowo¹, Dhiana Dwi Widiawati², Angga Ridwan Sayid Mahendra²

¹Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Negeri Samarinda

²Teknik Sipil, Rekayasa Jalan & Jembatan, Politeknik Negeri Samarinda

Email Koresponden: dhinaryoga1992@gmail.com

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Kata kunci:</p> <p><i>Fotogrametri, Geometrik Jalan, UAV.</i></p>	<p>Penelitian ini mengevaluasi kondisi geometrik Jalan Poros Soekarno-Hatta KM 10–KM 15, Kalimantan Timur, menggunakan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan GPS Geodetik sebagai Ground Control Point (GCP). Data foto udara diolah dengan Agisoft Metashape, lalu dianalisis berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan Bina Marga 2021. Pengolahan 1.732 citra menghasilkan orthophoto berkualitas tinggi dengan nilai Ground Sample Distance (GSD) 3,56 cm/pixel. Uji akurasi model menghasilkan nilai Circular Error 90% (CE90) sebesar 0,0090 m dan Linear Error 90% (LE90) sebesar 0,0101 m, sehingga memenuhi spesifikasi Peta Dasar Skala 1:1.000 Kelas 1 berdasarkan Peraturan BIG No. 6 Tahun 2018. Hasil evaluasi alinyemen horizontal berdasarkan peraturan Bina Marga 2021 menunjukkan dari 34 tikungan berjenis Spiral-Circle-Spiral (S-C-S), terdapat 28 tikungan dinyatakan tidak memenuhi syarat (TMS) akibat overlap lengkung peralihan yang signifikan. Begitupun pada alinyemen vertikal, ditemukan satu titik kritis tidak aman pada STA 2+618 s.d STA 2+669 karena lengkung cembung terlalu pendek ($L = 51,13$ m, $K = 9,70$). Ketidaksesuaian geometrik ini menimbulkan blind spot yang membatasi jarak pandang henti (JPH) pada perubahan kecepatan 20–70 km/jam. Direkomendasikan melakukan rekonstruksi secara bertahap berupa perpanjangan jarak lurus tangen, perbaikan dimensi lengkung vertikal kritis, serta penambahan fasilitas keselamatan jalan.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p><i>Geometric Road Design, Photogrammetry, UAV.</i></p>	<p><i>This study evaluates the geometric conditions of the Soekarno-Hatta Poros Road KM 10–KM 15, East Kalimantan, utilizing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology and Geodetic GPS as Ground Control Points (GCPs). Aerial photographic data were processed within Agisoft Metashape and subsequently analyzed based on the 2021 Bina Marga Road Geometric Design Guidelines. The processing of 1,732 images yielded high-quality orthophotos with a Ground Sample Distance (GSD) value of 3.56 cm/pixel. The model accuracy test produced a Circular Error 90% (CE90) of 0.0090 m and a Linear Error 90% (LE90) of 0.0101</i></p>

m, thereby fulfilling the specifications for Class 1 Base Maps at a 1:1,000 Scale based on the Geospatial Information Agency (BIG) Regulation No. 6 of 2018. The horizontal alignment evaluation based on the 2021 Bina Marga regulation indicates that out of 34 Spiral-Circle-Spiral (S-C-S) type curves, 28 curves are declared as Not Meeting Requirements (TMS) due to significant transition curve overlap. Similarly, regarding the vertical alignment, a critical unsafe point was identified from STA 2+618 to STA 2+669 because the crest vertical curve is excessively short ($L = 51.13$ m, $K = 9.70$). These geometric non-conformities generate blind spots that restrict the stopping sight distance (SSD) within a speed variation of 20–70 km/h. It is recommended to perform phased reconstruction consisting of extending the straight tangent lengths, modifying the critical vertical curve dimensions, and adding road safety facilities.

1. Pendahuluan

Jalan raya memegang peranan penting dalam mendukung mobilitas ekonomi dan sosial masyarakat. Namun, seiring dengan meningkatnya volume lalu lintas, permasalahan jalan sering kali muncul, mulai dari kemacetan, kerusakan permukaan jalan, hingga potensi kecelakaan akibat geometrik jalan yang tidak memenuhi standar keamanan. Kendala-kendala umum yang sering ditemui pada jaringan jalan mencakup ketidaksesuaian antara lebar perkerasan dengan volume kendaraan, drainase yang buruk, serta tikungan tajam yang tidak dilengkapi dengan sistem pengamanan yang memadai bagi pengemudi.

Salah satu titik yang menjadi perhatian adalah ruas Jalan Soekarno Hatta pada segmen KM 10 hingga KM 15. Berdasarkan pengamatan dan data lapangan, ruas jalan ini menunjukkan karakteristik tikungan yang kompleks dan berpotensi membahayakan keselamatan pengguna jalan. Permasalahan utama di segmen ini adalah bentuk tikungan yang tidak sesuai dengan kecepatan rencana kendaraan, sehingga memicu tingginya risiko kecelakaan. Hal ini dibuktikan oleh data kecelakaan dari Agustus 2023 hingga Januari 2026 yang mencatat telah terjadi 12 kali kecelakaan di lokasi tersebut. Titik paling rawan berada di KM 11 dengan 5 kejadian, diikuti pada KM 12 dengan 3 kejadian, serta KM 10 dan KM 14 masing-masing dengan 2 kejadian. Total korban dari seluruh kejadian ini adalah 3 orang meninggal dunia, 11 orang luka berat, dan 5 orang luka ringan, yang didominasi oleh sepeda motor yang bertabrakan dengan mobil, pick-up, hingga truk besar. Kondisi ini membuktikan bahwa evaluasi atau perbaikan geometrik di titik-titik kilometer tersebut harus segera dilakukan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sebuah solusi teknis yang akurat melalui pendekatan metode evaluasi geometrik jalan yang terstandarisasi. Dalam penelitian ini, digunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau drone untuk mendapatkan data *orthophoto* yang presisi sebagai alat utama pemetaan kondisi eksisting. Metode yang diterapkan melibatkan analisis teknis terhadap alinyemen horizontal dan vertikal menggunakan software khusus yang mampu memproses data foto udara menjadi model geometrik yang terukur, sehingga penanganan jalan dapat dilakukan berdasarkan data yang faktual. Penelitian ini juga mengacu pada berbagai referensi standar teknis yang relevan, terutama pedoman dari Direktorat Jenderal Bina Marga 2021 terkait tata cara perencanaan geometri jalan antar kota.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menerapkan kerangka kerja operasional sistematis yang dibagi menjadi dua jalur utama, yaitu survei terestris dan survei fotogrametri udara, guna memperoleh data *existing* geometrik jalan secara komprehensif.

2.1. Survei Terestris

Pengukuran terestris dilakukan langsung di lapangan menggunakan alat GPS Geodetik Comnav yang dikoneksikan ke sistem CORS Badan Informasi Geospasial (BIG) (Geospasial, 2021). Pengukuran ini difokuskan pada pengumpulan data topografi presisi tinggi serta pemasangan *Ground Control Points* (GCP) sebagai titik kontrol tanah (Pamungkasari, 2019). Data hasil survei terestris ini diolah menggunakan perangkat lunak Autodesk Civil 3D untuk memproduksi representasi profil memanjang (*long section*) dan profil melintang (*cross section*) jalan.

2.2. Tahap Perencanaan Dan Desain Jalur Terbang (*Flight Planning*)

Sebelum pelaksanaan akuisisi data udara, dilakukan rekonstruksi sirkuit jalur terbang menggunakan aplikasi misi penerbangan otomatis (Perhubungan, 2020). Parameter utama yang dikonfigurasi meliputi ketinggian terbang (*altitude*) untuk mendapatkan resolusi spasial yang diinginkan, persentase tumpang tindih foto ke depan (*front overlap*) minimal 80%, dan tumpang tindih kesamping (*side overlap*) minimal 70% (Amrizal, 2016). Perencanaan yang matang bertujuan memastikan seluruh koridor Jalan Soekarno-Hatta sepanjang $\pm 5,5$ km dapat terliput secara stereoskopis tanpa adanya celah informasi (*blank spot*).

2.3. Pemasangan Titik *Ground Control Point* (GCP)

Ground Control Point (GCP) dipasang di sepanjang koridor jalan sebanyak 11 titik *pre-mark* berbentuk tanda silang dengan kontras warna tinggi agar mudah diidentifikasi pada foto udara. Pengukuran koordinat absolut (X, Y, Z) untuk ke-11 titik kontrol tanah tersebut dilakukan menggunakan alat GPS Geodetik dengan metode diferensial (RTK/NTRIP) yang terikat langsung pada jaringan *Continuously Operating Reference Stations* (CORS) Badan Informasi Geospasial (BIG) (Geospasial, 2021). Titik-titik GCP ini berfungsi sebagai jangkar penentu posisi spasial (*geo-referencing*) sejati untuk mengoreksi distorsi geometrik pada model fotogrametri (Pamungkasari, 2019).

2.4. Akuisisi Data Udara Berbasis UAV

Penerbangan UAV dilakukan pada kondisi cuaca cerah dengan intensitas angin rendah guna meminimalkan guncangan wahana (*pitch*, *roll*, *yaw*) yang dapat mengaburkan kualitas citra (Perhubungan, 2020). Wahana UAV terbang secara otonom mengikuti draf sirkuit yang telah direncanakan sebelumnya, merekam koridor jalan menggunakan kamera sensor optik beresolusi tinggi yang diletakkan tegak lurus permukaan bumi (*nadir*) (Rini Meiarti, 2019). Proses perekaman udara ini berhasil mengumpulkan dataset mentah sebanyak 1.732 citra digital berformat resolusi tinggi.

2.5. Proses Pengolahan Data Pada aplikasi Agisoft Metashape Professional

Seluruh citra udara mentah diunggah ke dalam perangkat lunak Agisoft Metashape Professional untuk melalui tahapan rekonstruksi 3D komputasional sebagai berikut (Sutoyo, 2020; Petrus Krisologus Hamur, 2019):

1. *Align Photos*: Penyesuaian orientasi *internal* dan *external* kamera untuk membentuk sebaran point cloud awal (*sparse cloud*).
2. *Guided GCP Marker Placement*: Memasukkan nilai koordinat terestris hasil pengukuran GPS Geodetik ke masing-masing 11 titik GCP pada foto udara untuk proses re-optimasi orientasi spasial.
3. *Build Dense Cloud & Mesh*: Peningkatan kerapatan titik koordinat hingga jutaan titik *point cloud* terperinci, dilanjutkan dengan pembentukan jaring segitiga 3D (*mesh*).

4. *Build DEM & Orthophoto*: Pembuatan *Digital Elevation Model* (DEM) sebagai representasi topografi digital, yang kemudian digunakan sebagai basis rektifikasi ortogonal untuk menghasilkan produk akhir berupa peta citra *orthophoto* bebas distorsi perspektif.

2.6. Analisa Kelayakan Geometrik Jalan

Peta citra orthophoto dan model elevasi digital (DEM) diekspor ke perangkat lunak Autodesk Civil 3D untuk dilakukan penarikan garis as jalan (*alignment*) dan pemodelan penampang. Parameter alinyemen horizontal eksisting radius tikungan (R_c), panjang lengkung peralihan (L_s), panjang lengkung lingkaran (L_c), sudut tikungan (Δ), dan jarak tangen antar tikungan serta alinyemen vertikal kelandaian memanjang jalan (g) dan profil lengkung vertikal dihitung secara matematis. Parameter lapangan ini kemudian dikomparasikan secara ketat terhadap batas baku dalam Pedoman Desain Geometrik Jalan (PDGJ) Nomor 13/P/BM/2021 dari Direktorat Jenderal Bina Marga (Marga, 2021; Rakyat, 2021).

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Akurasi Fotogrametri dan *Ground Sample Distance* (GSD)

Hasil pemrosesan Citra udara menghasilkan produk data *orthophoto* dengan nilai *Ground Sample Distance* (GSD) sebesar 3,56 cm/pixel. Uji ketelitian geometrik model berdasarkan verifikasi titik kontrol tanah menghasilkan nilai kesalahan horizontal *Circular Error* 90% (CE90) sebesar 0,0090 m dan kesalahan vertikal *Linear Error* 90% (LE90) sebesar 0,0101 m. Mengacu pada Peraturan BIG No. 6 Tahun 2018, kualitas model spasial ini secara resmi memenuhi spesifikasi teknis Peta Dasar Skala 1:1.000 Kelas 1, menjadikannya sangat akurat untuk kebutuhan analisis rekayasa geometrik jalan.

3.2. Evaluasi *Alinyemen Horizontal*

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan terdapat adanya 34 tikungan existing di mana semuanya didesain menggunakan tipe Spiral-Circle-Spiral (S-C-S) karena berdasarkan persyaratan Bina Marga 2021 jika nilai p kontrol > 0.25 maka masuk kriteria S-C-S (Marga, 2021). Hasil evaluasi menunjukkan deviasi masif, dimana 28 dari 34 tikungan berstatus Tidak Memenuhi Syarat (TMS) Bina Marga 2021. Mayoritas kegagalan dipicu oleh panjang lengkung peralihan lapangan (L_s existing) yang terlalu panjang melampaui kontrol batasan teori desainnya, berakibat pada tumpang tindih (*overlap*) lengkung peralihan antar tikungan yang berdekatan (Suryadi & Azhari, 2023). Berikut di bawah ini ringkasan sampel evaluasi tikungan horizontal disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1 Ringkasan Sampel Evaluasi Tikungan Horizontal

No	Station	Sudut	Kecepatan	Tipe Tikungan	L_s	L_c	Kontrol L_s	Kontrol L_c	Hasil Evaluasi
1	0+056.434	80.579°	40 Km/Jam	S-C-S	40	44.4	33.3	66.7	Tidak Memenuhi Karena $L_s > L_s$ kontrol
2	0+202.555	39.881°	40 Km/Jam	S-C-S	36	19.7	33.3	66.7	Tidak Memenuhi $L_s > L_s$ kontrol
3	0+319.6015	52.407°	50 Km/Jam	S-C-S	39	79.9	41.7	83.3	Masih Memenuhi Persyaratan
4	0+527.4393	34.783°	50 Km/Jam	S-C-S	39	39.9	41.7	83.3	Masih Memenuhi Persyaratan
5	0+650	110.005°	40 Km/Jam	S-C-S	36	117.6	33.3	66.7	Tidak Memenuhi Karena $L_s > L_s$ kontrol & $L_c > L_c$ kontrol

No	Station	Sudut	Kecepatan	Tipe Tikungan	Ls	Lc	Kontrol Ls	Kontrol Lc	Hasil Evaluasi
6	0+846.7659	33.408°	30 Km/Jam	S-C-S	28	12.8	25	50	Tidak Memenuhi Karna Ls > Ls kontrol
7	0+933.4982	43.100°	40 Km/Jam	S-C-S	40	5.1	33.3	66.7	Tidak Memenuhi Karna Ls > Ls kontrol
8	1+014.3154	88.111°	30 Km/Jam	S-C-S	25	113.4	25	50	Tidak Memenuhi karna Lc > Lc kontrol
9	1+293.9529	34.542°	40 Km/Jam	S-C-S	32	34.3	33.3	66.7	Masih Memenuhi Persyaratan
10	1+411.7009	44.225°	40 Km/Jam	S-C-S	38	16	33.3	66.7	Tidak Memenuhi Karna Ls > Ls kontrol

Sumber : Hasil Perhitungan di Excel, 2026



Gambar 1 Tikungan 2 STA 0 + 202.555 (S-C-S)

Sumber : Civil 3D, 2026

3.3. Evaluasi Tikungan Gabungan (Compound Curves)

Analisis spesifik dilakukan terhadap kombisional 33 kompleksitas tikungan gabungan *existing* di sepanjang koridor jalan raya. Berdasarkan orientasi geometriknnya, tikungan gabungan dipilah menjadi dua kategori yaitu tikungan gabungan kurva S (Balik Arah) dan tikungan gabungan searah (*Broken-Back Curve*) (Marga, 2021). Hasil pengujian teknis menunjukkan hasil yang memenuhi syarat Bina Marga 2021 yaitu pada tikungan gabungan kurva S memiliki status Aman memenuhi syarat karena didukung oleh ketersediaan jarak tangen lurus peralihan superelevasi yang memadai. Sebaliknya, tikungan gabungan searah *Broken - Back - Curve* terdeteksi berada pada kondisi sangat buruk akibat pelanggaran batas kelandaian transisi kelonggaran pengemudi (Marga, 2021). Berikut rekapitulasi tikungan gabungan dipaparkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Rekapitulasi Tikungan Gabungan

Tikungan	Vd	Jarak Lurus Dilapangan	Jenis Tikungan	0.6 x Vd	0.7 x Vd	2 x Vd	3 x Vd	4 x Vd	Kontrol
8 - 9	40	143.7823	Tikungan Gabungan Searah	24	28	80	120	160	Kasus 2: Kondisi Batas Toleransi

Tikungan	Vd	Jarak Lurus Dilapangan	Jenis Tikungan	0.6 x Vd	0.7 x Vd	2 x Vd	3 x Vd	4 x Vd	Kontrol
									Minimal (Lolos Syarat Mutlak)
13 - 14	70	123.1989	Tikungan Gabungan Searah	42	49	140	210	280	Kasus 2: Kondisi Buruk (Tidak Memenuhi Syarat / Wajib Re-desain)
26 - 27	30	202.4414	Tikungan Gabungan Searah	18	21	60	90	120	Kasus 2: Kondisi Ideal Aman
27 - 28	30	44.056	Tikungan Gabungan Searah	18	21	60	90	120	Kasus 2: Kondisi Buruk (Tidak Memenuhi Syarat / Wajib Re-desain)
31 - 32	50	114.2513	Tikungan Gabungan Searah	30	35	100	150	200	Kasus 2: Kondisi Batas Toleransi Minimal (Lolos Syarat Mutlak)
1 - 2	40	59.3657	Tikungan Gabungan Kurva S	24	28	80	120	160	AMAN (Lolos Batas Minimal Superelevasi Normal & Aman untuk Truk)
2 - 3	50	56.6037	Tikungan Gabungan Kurva S	30	35	100	150	200	AMAN (Lolos Batas Minimal Superelevasi Normal & Aman untuk Truk)

Sumber : Hasil Perhitungan di Excel, 2026

3.4. Evaluasi Alinyemen Vertikal

Evaluasi kelayakan memanjang profil vertikal jalan memperlihatkan mayoritas segmen berada dalam koridor kelayakan teknis yang aman. Namun, analisis elevasi mendeteksi 1 titik anomali ekstrem yang dikategorikan "Tidak Aman", yaitu pada lengkung cembung nomor 10 (segmen STA 2+618.42 s.d STA 2+669.55). Lengkung cembung ini terlampaui pendek dengan panjang nyata (L) hanya sebesar 51,13 meter dan nilai parameter kelengkungan (K) visual eksisting sebesar 9,70. Angka penentu kelengkungan tersebut jatuh di bawah batas ambang kelayakan minimum Bina Marga 2021, memicu pemangkasan radius pandang bebas pengendara (Jalan, 2022; PUPR, 2021). Berikut di bawah ini ringkasan sampel evaluasi alinyemen vertikal yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Ringkasan Sampel Evaluasi Alinyemen Vertikal

No	STA PLV	STA PPV	STA PTV	V	g1 (%)	g2 (%)	A (%)	Jenis	S JPH	persamaan	L lengkung	Keterangan
1	0 + 006.1413	0 + 080	0 + 241.2986	4 0	5.14	4.75	- 0.38	Cembung	50	S < L	235.16	Aman
2	0 + 241.2986	0 + 558.2492	0 + 663.1461	4 0	-5.08	6.27	11.3 5	Cekung	50	S < L	421.85	Aman

No	STA PLV	STA PPV	STA PTV	V	g1 (%)	g2 (%)	A (%)	Jenis	S JPH	persamaan	L lengkung	Keterangan
3	0 + 663.1461	0 + 850	0 + 900	4 0	4.25	0.12	- 4.13	Cembung	50	S < L	236.85	Aman
4	0 + 900	0 + 965	1 + 198.3195	4 0	0.41	-5.97	- 6.38	Cembung	50	S < L	298.32	Aman
5	1 + 198.3195	1 + 267.4161	1 + 470.1055	4 0	-3.03	1.71	4.74	Cekung	50	S < L	271.79	Aman
6	1 + 470.1055	1 + 627.3208	1 + 794.7047	4 0	-1.42	5.92	7.35	Cekung	50	S < L	324.60	Aman
7	1 + 794.7047	1 + 962.8695	2 + 143.471	4 0	5.64	-2.95	- 8.59	Cembung	50	S < L	348.77	Aman
8	2 + 143.471	2 + 200	2 + 268.597	4 0	1.30	1.40	0.10	Cekung	50	S < L	125.13	Aman
9	2 + 268.597	2 + 433.4487	2 + 618.4217	4 0	2.82	-3.69	- 6.51	Cembung	50	S < L	349.82	Aman
10	2 + 618.4217	2 + 631.9874	2 + 669.55	4 0	2.41	-2.86	- 5.27	Cembung	50	S < L	51.13	Tidak Aman
11	2 + 669.55	2 + 768.8387	2 + 996.4698	4 0	-5.60	-6.27	- 0.67	Cembung	50	S < L	326.92	Aman
12	2 + 996.4698	3 + 182.9354	3 + 400	4 0	5.02	7.07	2.05	Cekung	50	S < L	403.53	Aman
13	3 + 400	3 + 542.6819	3 + 813.2498	4 0	6.52	-5.75	- 12.27	Cembung	50	S < L	413.25	Aman
14	3 + 813.2498	3 + 974.5296	4 + 070	4 0	-5.86	3.85	9.71	Cekung	50	S < L	256.75	Aman
15	4 + 070	4 + 127.7952	4 + 155	4 0	1.22	-0.26	- 1.48	Cembung	50	S < L	85.00	Aman
16	4 + 155	4 + 225	4 + 335	4 0	3.91	3.26	- 0.65	Cembung	50	S < L	180.00	Aman
17	4 + 335	4 + 519.9189	4 + 643.2579	4 0	-1.94	1.61	3.55	Cekung	50	S < L	308.26	Aman
18	4 + 643.2579	4 + 796.9119	5 + 031.361	4 0	4.15	-5.55	- 9.70	Cembung	50	S < L	388.10	Aman
19	5 + 031.361	5 + 412.1838	5 + 563.8499	4 0	3.11	-2.73	- 5.84	Cembung	50	S < L	532.49	Aman

Sumber : Hasil Perhitungan di Excel, 2026

4. Kesimpulan

Pengolahan fotogrametri UAV menggunakan Agisoft Metashape Professional dan 11 titik GCP Geodetik menghasilkan *orthophoto* dengan GSD 3,56 cm/pixel (Sutoyo, 2020). Model ini memiliki akurasi tinggi dengan nilai CE90 sebesar 0,0090 m dan LE90 sebesar 0,0101 m, yang telah memenuhi standar Peta Dasar Skala 1:1.000 Kelas 1 berdasarkan Peraturan BIG No. 6 Tahun 2018. Evaluasi geometrik jalan sepanjang ± 5,5 km menunjukkan bahwa pada alinyemen horizontal terdapat 28 dari 34 tikungan tipe S-C-S yang Tidak Memenuhi Syarat (TMS) pedoman Bina Marga 2021. Pada alinyemen vertikal, ditemukan satu titik kritis "Tidak Aman" pada STA 2+618.4217 – 2+669.55 karena panjang lengkung dan nilai K eksisting gagal memenuhi jarak pandang aman. Selanjutnya, analisis terhadap 33 tikungan gabungan menunjukkan 28 lokasi Tikungan Gabungan Kurva S dinyatakan 100% aman. Namun, terdapat 2 lokasi Tikungan Gabungan Searah (tikungan 13-14 dan 27-28) yang berkondisi buruk akibat pelanggaran kelandaian transisi, dengan titik paling kritis pada tikungan 13-14 yang

mengalami penurunan kecepatan ekstrem sebesar 40 km/jam. Rekayasa ulang (*re-design*) atau penggabungan menjadi tikungan tunggal sangat direkomendasikan pada titik-titik kritis tersebut untuk meminimalkan risiko kecelakaan (Suryadi & Azhari, 2023).

Daftar Pustaka

- [1] Amrizal. (2016). Modul Guru Pembelajaran Paket Keahlian Teknik Geomatika Kelompok Kompetensi G: Teknik Fotogrametri Medan. Medan: Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan.
- [2] Dhia Kamal Irfan1, S. T. (2020). Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan UAV Dengan Aplikasi Agisoft Photoscanner Pada Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga . Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan| Eissn:2549-1407 , 101 - 114 vol. 05 No. 02, .
- [3] Geospasial, B. I. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar. Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- [4] Geospasial, B. I. (2021). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial. Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- [5] Gini, R. e. (2022). Modern Photogrammetry: UAV Applications in Civil Engineering and Infrastructure Mapping. Journal of Applied Geomatics.
- [6] Iwan Rustendi, M. E. (2024). Pelatihan Pengukuran Tanah Dengan Total Station Di Desa Sidareja, Kaligondang, Purbalingga. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 180 - 185.
- [7] Jalan, D. o. (2022). Perancangan Geometrik Jalan Modul - 6 Jarak Pandang Henti Dan Menyiap . Daerah Istimewa Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik - Universitas Gadjah Mada.
- [8] Marga, D. J. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- [9] Marga, D. J. (2021). Surat Edaran Nomor 20/SE/Db/2021 tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan. Jakarta. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [10] Marga, D. J. (2024). Surat Edaran Nomor 19/SE/Db/2024 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Geometrik Simpang (No. 08/P/BM/2024). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [11] Pamungkasari, F. L. (2019). Analisis Konfigurasi Optimum Kerangka GCP untuk Survei Pemetaan Luasan Besar Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Jurnal Geodesi Undip, Vol. 8, No. 1.
- [12] Perhubungan, K. (2020). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani Indonesia. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- [13] Petrus Krisologus Hamur1, M. E. (2019). Kajian Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Perangkat Lunak Agisoft Photoscan Dan Pix4d Mapper. Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang, 1-13.
- [14] PUPR, K. (2021). Pedoman Desain Geometrik Jalan (Nomor 13/P/BM/2021). Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [15] Rakyat, K. P. (2021). Pedoman Desain Geometrik Jalan (Nomor 13/P/BM/2021). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [16] Rini Meiarti1, T. S. (2019). Uji Akurasi Hasil Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle) Dalam Aplikasi Pemetaan Kebencanaan Kepesisiran . Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL) , 1 - 17 Vol 3, No1.

- [17] Suryadi, A. &. (2023). Analisis Akurasi Orthophoto dan DEM Agisoft Metashape untuk Evaluasi Geometrik Jalan Raya. *Jurnal Infrastruktur dan Teknik Sipil*.
- [18] Sutoyo, D. K. (2020). Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan UAV dengan Aplikasi Agisoft Photoscanner pada Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga. *SIL Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 5, No. 2, 101-114. DOI: 10.29244/jsil.5.2.101-114.
- [19] Watti, R. H. (2023). Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan Orthophoto dengan Koreksi GCP pada Ruas Jalan Lingkar Danau Tondano di Kabupaten Minahasa. (Skripsi). Manado: Politeknik Negeri Manado.
- [20] Wolf, P. R. (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS* (4th ed. McGraw-Hill Education. (Buku standar internasional untuk teori fotogrametri).