

Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) pada Jalan Lingkar Dramaga Bogor

BAS Simanjorang¹, Sutoyo^{1*}, S Mentari¹ dan T Sudibyo¹

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University, Bogor, Indonesia 16680
*penulis koresponden: sutoyo@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Di Indonesia umumnya evaluasi geometri jalan dilakukan dengan cara konvensional seperti menggunakan theodolite atau total station. Kegiatan evaluasi merupakan bagian dari monitoring untuk memantau setiap perubahan kondisi jalan baik profil, kepadatan kendaraan dan lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kondisi eksisting geometri jalan menggunakan UAV serta menganalisis ketelitian fotogrametri. Lokasi yang diambil dalam penelitian ini bertempat di Jalan Lingkar Dramaga Kabupaten Bogor. Kegiatan dilakukan dengan pengambilan foto udara menggunakan UAV bereferensi Titik Kontrol Bantu BIG pada beberapa Ground Control Point (GCP). Evaluasi dilakukan terhadap alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal jalan. Evaluasi ini dilakukan setelah dilakukan proses orthophoto terhadap hasil foto udara. Alinyemen horizontal yang dievaluasi berupa sudut belokan, radius belokan, panjang belokan, dan sisipan antar dua tikungan. Evaluasi alinyemen vertikal berupa panjang lengkung dan kelandaian jalan. Hasil uji akurasi dilakukan pada profil melintang jalan dengan pengukuran langsung di lapangan dan hasil orthophoto, berdasarkan kondisi eksisting jalan sebesar 99.2% untuk orthophoto tanpa koreksi dan 99.6% untuk orthophoto terkoreksi ground control point. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap kondisi eksisting jalan, alinyemen horizontal jalan telah memenuhi SNI T-14-2004 sedangkan pada alinyemen vertikal terdapat nilai kelandaian yang melebihi pada segmen A1-A2 sehingga dilakukan rekomendasi perbaikan berupa penambahan elevasi sebesar 0.50 m pada STA 0+390 berupa penambahan lapisan perkerasan.

Kata kunci: geometri jalan, multi-UAV, orthophoto

Diterima: 06 Oktober 2023

Disetujui: 22 Desember 2023

Sitasi:

Simanjorang, dkk. Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) pada Jalan Lingkar Dramaga Bogor. *J. Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2023; 08 (03): 183-192., <https://doi.org/10.29244/jsil.8.3.183-192>

1. Pendahuluan

Indonesia sedang gencar dalam melaksanakan kegiatan peningkatan pembangunan ekonomi, salah satunya dengan pembangunan infrastruktur, seperti jalan. Jalan diperlukan untuk dapat berfungsi dengan baik sehingga dapat memperlancar kebutuhan masyarakat dari segi waktu, biaya, pendapatan, kesehatan, kenyamanan, dan keamanan [1]. Akan tetapi, masih banyak ditemukan kemacetan-kemacetan terutama di kota-kota besar. Hal ini terjadi karena tidak seimbangnya jumlah pengguna jalan dan ketersediaan jalan yang ada [2].

Jalan memiliki peranan penting dalam kemajuan pelayanan barang dan jasa serta menghubungkan suatu daerah [3]. Desain geometri jalan sebagai bagian dari upaya rekayasa jalan yang menitikberatkan pada rekayasa bentuk fisik jalan sehingga dapat memenuhi fungsi dasar jalan [4]. Di Indonesia, umum ditemui adanya jaringan jalan dengan kondisi terdapat kerusakan jalan hingga kurangnya kapasitas jalan. Kondisi ini yang perlu ditinjau lebih lanjut baik pra atau pasca konstruksi jalan. Tindakan pra konstruksi sebenarnya sudah mempertimbangkan akan kondisi lapangan dan data-data yang ada untuk digunakan sebagai

acuan konstruksi namun masih terdapat faktor luar sehingga perlu adanya tindakan evaluasi pasca konstruksi. Salah satu tindakan berupa monitoring dan evaluasi kondisi jalan.

Proses monitoring jalan merupakan kegiatan yang bertujuan untuk memantau setiap perubahan kondisi jalan baik profil, kepadatan kendaraan dan lalu lintas. Umumnya proses kegiatan monitoring ini masih dilakukan secara konvensional atau secara manual oleh manusia yang mana hal ini masih memerlukan waktu lama, biaya tinggi dan beresiko tinggi. Disisi lain, perkembangan teknologi yang pesat memunculkan terobosan terbaru dalam melakukan monitoring jalan. Salah satunya adalah penggunaan UAV atau drone yang merupakan pesawat tanpa awak. Komponen UAV bergerak secara otomatis sesuai dengan program yang dijalankan dan dapat dikendalikan jarak jauh menggunakan remote control dari luar kendaraan atau sering disebut dengan *remotely piloted vehicle* (RPV) [5]. Penggunaan UAV ini mempermudah dalam melakukan monitoring jalan, mempersingkat waktu dan lebih meminimalisir resiko.

Jalan lingkar dramaga merupakan salah satu usulan masyarakat dramaga kepada pemerintah setempat yang telah terealisasi 2019 lalu. Jalan ini digunakan sebagai jalan alternatif dari arah Leuwiliang-Ciampea, menuju Kota Bogor atau sebaliknya. Sepanjang jalan lingkar dramaga banyak ditemukan persimpangan yang menghubungkan antar desa di Kecamatan Dramaga dan sekitarnya. Selain itu, setelah jalan ini selesai dibangun terdapat beberapa kelandaian dan tikungan yang mengharuskan pengemudi lebih berhati-hati untuk melintasi jalan ini. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi jalan lingkar dramaga berdasarkan aspek alinyemen vertikal dan horizontal menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

2. Metode

2.1. Material

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa multi rotor UAV berupa drone bermerek Dji Phantom 3 Professional, roll meter, GPS RTK Emlid Reach, seperangkat komputer yang dilengkapi dengan program microsoft office, ArcGIS, Agisoft Photoscanner, dan Agisoft Lens dan Civild 3D. Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi data primer berupa hasil fotogrametri Jalan Lingkar Dramaga yang didapatkan dari *multi rotor drone*, lebar jalan, koordinat, serta elevasi dari *Ground Control Point* (GCP) sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data Titik Kontrol Geodesi nasional (TKG) yang didapat dari Badan Informasi Geospasial..

2.2. Prosedur Penelitian

Tahapan awal dalam penelitian ini berupa studi literatur mengenai metode serta perangkat yang akan digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya merupakan penentuan lokasi yang akan digunakan dalam penelitian. Kemudian untuk mendapatkan hasil data yang akurat dilakukan kalibrasi kamera menggunakan aplikasi agisoft lens. Data yang diperlukan berupa data primer fotogrametri Jalan Lingkar Dramaga, lebar jalan, koordinat, serta elevasi GCP sedangkan data sekunder berupa TKG. Kemudian, hasil data fotogrametri drone diolah menggunakan agisoft photoscanner dengan koreksi GCP dari GPS RTK. Hasil pengolahan fotogrametri akan didapatkan data *Digital Elevation Model (DEM)* dan kondisi as built Jalan Lingkar Dramaga. Data hasil ini juga dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan menggunakan roll meter.

2.2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data fotogrametri Jalan Lingkar Dramaga yang menggunakan drone, selain dari hasil foto udara ini data primer juga diambil berupa GCP, serta lebar jalan menggunakan roll meter. Data sekunder berupa titik kontrol geodesi nasional (TKG) didapat dari Badan Informasi Geospasial yang digunakan sebagai acuan koordinat GCP. Lokasi titik kontrol geodesi nasional (TKG) terletak pada koordinat $6^{\circ}33'46.50480''$ LS dan $106^{\circ}43'22.46160''$ BT. Titik ini berlokasi di sebelah samping jembatan Cihideung, sebelah kiri jalan dari Bogor-Pandeglang pada Km 71,6 dari Jakarta.

2.2.2. Pengolahan Data dengan Agisoft Photoscanner

Pengolahan data dengan aplikasi agisoft photoscanner dilakukan dengan cara memasukkan data citra drone yang telah diambil di lokasi penelitian. Pengolahan ini bermaksud untuk menghasilkan data orthophoto dari kondisi as built lokasi penelitian dan data DEM. Kedua data ini akan digunakan untuk menganalisis kondisi alinyemen horizontal dan vertikal jalan.

2.2.3. Pengolahan Data dengan ArcGIS

Pengolahan data dengan aplikasi ArcGIS dilakukan dengan cara memasukan data hasil citra drone dan data DEM yang telah diolah. Pengolahan data ini bermaksud untuk menghasilkan peta dari citra drone dan data DEM.

2.2.4. Pengolahan Data dengan Civil3D

Pengolahan data dengan aplikasi Civild3D dengan cara memasukkan data orthophoto yang telah diolah dari Agisoft Photoscanner. Hasil pengolahan data ini berupa hasil gambar teknis jalan.

2.2.5. Analisis Data dengan RSNi T-14 tahun 2004

Analisis data dimaksudkan untuk membandingkan hasil citra drone dan data DEM dengan gambar *shop drawing* dan *as build drawing* sehingga dapat dilihat kesesuaian gambar rencana, gambar hasil dan realisasi di lapangan. Selain itu, hasil dari analisis data ini dibandingkan dengan standar perencanaan geometrik Jalan yang berlaku di Indonesia yaitu RSNi T-14-2004. RSNi T-14-2004 tentang Geometrik Jalan Perkotaan sebagai dasar acuan dalam merencanakan perencanaan geometrik jalan perkotaan. Dalam RSNi T-14-2004 terdapat kriteria perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal jalan. Perencanaan horizontal berupa bentuk tikungan, panjang tikungan, superelevasi, jari-jari tikungan, lengkung peralihan dan pelebaran jalur lalu lintas. Perencanaan alinyemen vertikal berupa nilai kelandaian jalan, panjang lengkung vertikal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Titik Kontrol Bantu

Titik kontrol bantu merupakan titik kontrol yang digunakan sebagai referensi koordinat dalam menentukan nilai ground control point. Pengambilan titik kontrol pada penelitian ini menggunakan GPS RTK (Emlid Reach) dengan mengacu pada titik kontrol geodesi nasional yang berada $\pm 3,5$ km dari lokasi ground control point pertama atau lokasi penelitian. Titik kontrol geodesi nasional yang diacu bersumber dari Badan Informasi Geospasial. Nilai titik kontrol geodesi nasional yaitu $6^{\circ}33'46.50480''$ LS dan $106^{\circ}43'22.46160''$ BT. Titik kontrol yang telah diketahui nilai koordinatnya kemudian dijadikan acuan untuk menentukan GCP.

3.2 GCP

GCP atau titik kontrol tanah merupakan titik tanah berkoordinat untuk digunakan sebagai acuan dalam koreksi citra. Menurut Kurniawan (2015) semakin banyak GCP maka tingkat ketelitian koordinat lebih baik[6]. Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan 9 titik GCP yang tersebar sepanjang segmen jalan lokasi penelitian. Penentuan lokasi ground control point didasari pada kemudahan dalam mengakses lokasi serta kemudahan untuk melihat lokasi ground control point ketika dilakukan pengambilan foto udara. GCP yang berada pada lokasi penelitian ditandai dengan plaster merah berbentuk silang (x). Penggunaan plaster warna merah ini dilakukan untuk mempermudah pencarian lokasi ground control point dari hasil foto udara. Koordinat GCP yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

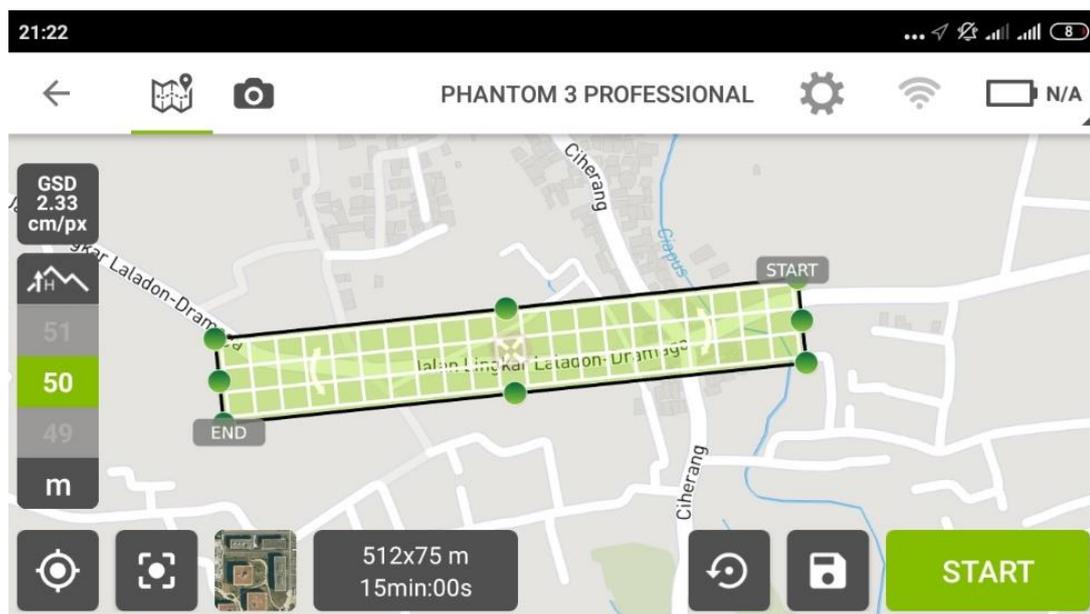
Tabel 1. Koordinat GCP

No.	Nama Titik	Longitude (East)	Latitude (South)
1	GCP 1	$106^{\circ}44'35.55''$	$6^{\circ}34'47.74''$
2	GCP 2	$106^{\circ}44'35.32''$	$6^{\circ}34'48.32''$
3	GCP 3	$106^{\circ}44'34.68''$	$6^{\circ}34'47.74''$
4	GCP 4	$106^{\circ}44'34.83''$	$6^{\circ}34'47.44''$
5	GCP 5	$106^{\circ}44'46.18''$	$6^{\circ}34'46.90''$
6	GCP 6	$106^{\circ}44'45.46''$	$6^{\circ}34'47.20''$

No.	Nama Titik	Longitude (East)	Latitude (South)
7	GCP 7	106°44'45.30"	6 °34'47.52"
8	GCP 8	106°44'48.67"	6 °34'45.65"
9	GCP 9	106°44'48.53"	6 °34'46.25"

3.3 Fotogrametri

Fotogrametri digunakan pada penelitian ini sebagai bentuk upaya pemetaan melalui foto udara. Fotogrametri pada penelitian ini dilakukan dengan alat bantu Dji Phantom 3 Professional. Perencanaan jalur terbang untuk dilakukan foto udara menggunakan bantuan aplikasi Pix4D. Aplikasi ini dapat menerbangkan drone secara otomatis sesuai dengan jalur terbang yang telah dibuat. Penentuan jalur terbang drone dilakukan setelah penentuan GCP dilakukan.



Gambar 1 Jalur terbang drone

Berdasarkan **Gambar 1**, jalur terbang yang digunakan mencakup area sebesar 512 x 75 meter dengan lama waktu terbang 15 menit dan dengan tingkat piksel sebesar 2,33 cm/px. Drone terbang dengan ketinggian 50 meter. Pemilihan ketinggian drone ini berdasarkan kondisi geografis di daerah penelitian yang terdapat pohon tinggi berkisar 20-30 meter. Selain itu, ketinggian terbang drone juga berpengaruh terhadap besar piksel dan lama waktu terbang. Semakin tinggi terbang drone maka akan menyebabkan nilai piksel menjadi tinggi sehingga hasil citra yang didapatkan drone menjadi semakin buruk begitu pula sebaliknya. Jalur terbang yang direncanakan sudah efektif dengan kondisi baterai drone mencukupi untuk dapat melakukan foto udara secara maksimal.

Pengolahan hasil fotogrametri dari drone dilakukan dengan aplikasi Agisoft Photoscanner. Pengolahan hasil pengolahan foto udara dapat dilihat pada **Gambar 2**. Secara visual, orthophoto yang dihasilkan memiliki detail yang cukup baik dan dapat digunakan untuk identifikasi objek. Dalam penelitian ini, orthophoto akan digunakan untuk analisis kondisi as built Jalan Lingkar Dramaga berupa analisis alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal.



Gambar 2. Hasil Ortophoto dan lokasi titik uji

3.4 Uji Akurasi

Adanya kemungkinan perbedaan data hasil foto udara dan kondisi lapang sehingga dilakukan uji akurasi. Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil orthophoto dan kondisi lapang. Perbandingan dalam uji akurasi merupakan penampang melintang jalan sejumlah lima titik. Nilai hasil pengukuran lapang dan orthophoto dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Perbandingan hasil pengukuran profil melintang jalan

No.	Nama titik	Hasil pengukuran (m)		
		Langsung	Orthophoto tanpa koreksi	Orthophoto terkoreksi
1	Titik 1	6,795	6.8991	6.8122
2	Titik 2	7,016	6.8828	6.9514
3	Titik 3	7,166	7.3091	7.2342
4	Titik 4	10,822	10.9125	10.8673
5	Titik 5	11,108	11.015	11.0437

Berdasarkan **Tabel 2** tentang perbandingan hasil pengukuran profil melintang jalan, terlihat perbedaan dari hasil pengukuran. Hasil pengukuran orthophoto dilakukan menggunakan software Civild3D. Hasil pengukuran orthophoto tanpa koreksi memiliki selisih terkecil senilai 0.0905 m dan 0.1431 m. Hasil perbandingan pengukuran orthophoto terkoreksi dengan pengukuran langsung memiliki selisih terkecil senilai 0.0172 m dan selisih terbesar senilai 0.0682 m. Berdasarkan nilai tersebut didapatkan nilai akurasi sebesar 99.2% untuk orthophoto tanpa koreksi dan 99.6 % untuk orthophoto terkoreksi. Nilai akurasi yang didapatkan terbilang baik, karena nilainya masih di atas 90% atau memiliki nilai selisih lebar jalan tidak lebih dari 1 meter. Akurasi yang tinggi ini serupa dengan yang didapatkan oleh Irfan (2021) menggunakan UAV dan perangkat lunak Agisoft photoscanner [7].

3.5 Alinyemen Horizontal

Perencanaan alinyemen horizontal memerlukan beberapa faktor seperti besarnya kecepatan rencana, jari-jari lengkung, hubungan koefisien gesek melintang, dan kemiringan jalan (superelevasi). Berdasarkan rencana tata ruang wilayah yang Jalan Lingkar Dramaga tergolong sebagai jalan lokal. Menurut ketentuan standar Bina Marga No. 038/TBM/1997 jalan lokal memiliki kecepatan rencana sebesar 30 km/jam. Selain itu, menurut Ryanto (2020), kecepatan aktual kendaraan yang melewati Jalan Lingkar Dramaga berkisar 29.9 km/jam – 35.5 km/jam[8].

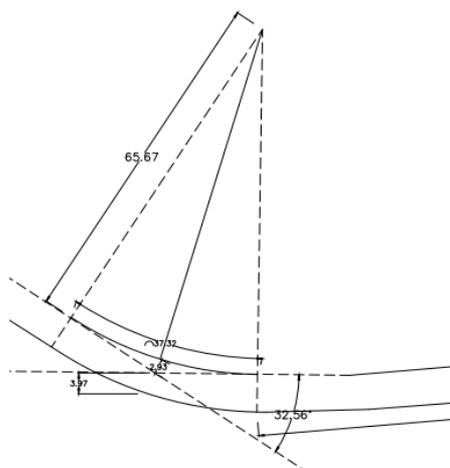
Berdasarkan nilai kecepatan tersebut, evaluasi Jalan Lingkar Dramaga berupa kondisi *as built* (jalan terbangun) meliputi jenis tikungan, panjang bagian lurus, dan panjang tikungan. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil orthophoto terkoreksi oleh ground control point. Dalam melakukan evaluasi hasil orthophoto jalan kemudian direncanakan dalam bentuk stationing. Stationing dilakukan untuk mempermudah titik acuan. Stationing adalah penentuan titik-titik panjang alinyemen horizontal [9]. Harga stationing menunjukkan jarak dan titik acuan atau umumnya titik awal rencana. Stationing diawali dari STA 0+000 atau titik 0 dan berakhir pada STA 0+450 sehingga panjang lokasi penelitian sejauh 450 m. Dalam studi alinyemen horisontal, Syifaurrehman (2019) mengusulkan adanya penyelidikan daerah bebas samping pada tikungan[10]. Namun, mengingat kondisi eksisting yang relatif masih lengang poin tersebut tidak dikaji dalam studi ini.

Pada lokasi penelitian yang terlihat pada hasil orthophoto terdapat dua tikungan. Pengamatan kondisi alinyemen horizontal berupa tikungan dilakukan pada STA 0+000 – STA 0+080 (tikungan 1) dan STA 0+170 – STA 0+210 (tikungan 2). Kedua tikungan tersebut termasuk kedalam tipe tikungan majemuk balik arah. Menurut [11], tikungan balik arah harus memiliki sisipan jalan bagian lurus sepanjang 30 m. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga radius aman kendaraan saat berjalan pada tikungan. Kondisi eksisting pada tikungan majemuk menunjukkan adanya sisipan bagian lurus jalan sebesar 102.21 m. Hal ini menunjukkan bahwa tikungan majemuk pada lokasi penelitian sesuai dengan SNI yang telah ditetapkan. Nilai parameter tiap tikungan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

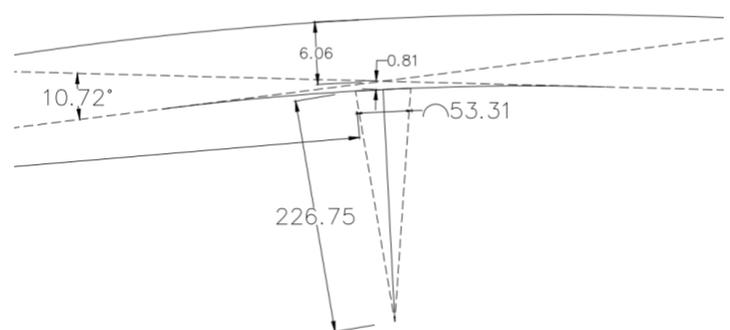
Tabel 3. Parameter hasil analisis alinyemen horizontal

No	Parameter	Nilai
1	Sudut belokan tikungan 1	32.56°
2	Sudut belokan tikungan 2	10.72°
3	Radius belokan tikungan 1	65.57 meter
4	Radius belokan tikungan 2	226.75 meter
5	Panjang belokan tikungan 1	37.32 meter
6	Panjang belokan tikungan 2	53.31 meter

Bentuk tikungan dari kedua lokasi penelitian mendekati bentuk lingkaran penuh atau *full circle*. Pada tikungan berjenis *full circle* nilai dari $L_s=0$ sehingga panjang tikungan merupakan panjang busur lingkaran pada tikungan[11]. Diagram *full circle* berisikan informasi berupa panjang busur lingkaran atau L_c , radius belokan atau r , sudut belokan atau α , tangen lingkaran atau T_c , dan jarak titik persimpangan ke ke lengkung peralihan atau E_t .



Gambar 1 Denah tikungan 1



Gambar 4 Denah tikungan 2

Berdasarkan **Gambar 3** dan **Gambar 4** terdapat beberapa nilai kondisi alinyemen horizontal jalan seperti radius belokan atau R , panjang busur, tangen lingkaran, sudut belokan, dan jarak persimpangan lengkung peralihan atau E_t . Radius lengkung atau R pada tikungan 1 sebesar 65.57

m. Panjang busur lingkaran atau L_c sebesar 37.32 m. Tangen dari lingkaran atau T_c tikungan 1 sebesar 3.97 m. Sudut belokan atau α sebesar 35.56° , Jarak titik persimpangan ke lengkung peralihan atau E_t pada tikungan sebesar 2.93 m. **Gambar 4** merupakan diagram dari tikungan 2 dengan nilai radius lingkaran atau r pada tikungan 2 sebesar 226.75 m. Panjang busur lingkaran atau L_c sebesar 53.31 m. Tangen dari lingkaran atau T_c tikungan 2 sebesar 6.06 m. Sudut belokan atau α sebesar 10.72° , Jarak titik persimpangan ke lengkung peralihan atau E_t pada tikungan sebesar 0.81 m.

Gambar 3 **Gambar 1** dan Gambar 4 merupakan diagram bentuk tikungan yang terbentuk dari analisis visual dari hasil *orthophoto* menjadi bentuk gambar teknis. Berdasarkan hasil analisis berupa sudut belokan, radius belokan, panjang belokan dan panjang sisipan dari tikungan majemuk tersebut telah sesuai dengan RSNI T-14-2004 tentang Geometri Jalan Perkotaan. Nilai perbandingan kesesuaian kondisi alinyemen horizontal berdasarkan RSNI T-14-2004 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

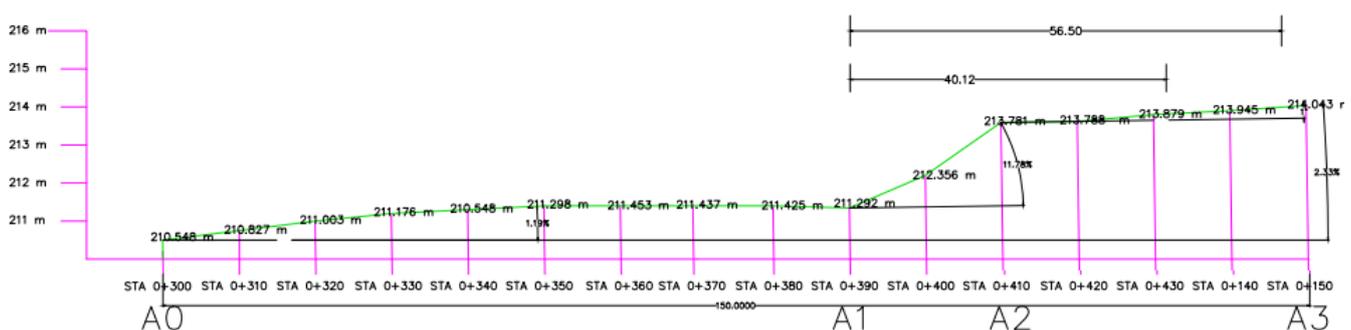
Tabel 4 Perbandingan nilai alinyemen horizontal jalan dengan RSNI T-14-2004

No	Pengukuran <i>Orthophoto</i>			RSNI T-14-2004		
	Keterangan	Nilai	Satuan	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Sisipan antar dua tikungan balik arah	102.21	meter	Sisipan minimum antar dua tikungan balik arah	30	meter
2	Radius belokan 1	65.57	meter	Radius belokan minimum	30	meter
3	Panjang belokan 1	37.32	meter	Panjang belokan minimum	24.3	meter
4	Radius belokan 2	226.75	meter	Radius belokan minimum	30	meter
5	Panjang belokan 2	53.31	meter	Panjang belokan minimum	24.3	meter

3.6 Alinyemen vertikal

Alinyemen vertikal merupakan perencanaan elevasi sumbu jalan berupa profil memanjang. Perencanaan alinyemen vertikal terdapat kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan), sehingga kombinasinya merupakan lengkung cembung dan cekung. Alinyemen vertikal pada lokasi penelitian memiliki beberapa komponen seperti kelandaian maksimum dan panjang lengkung vertikal. Kondisi alinyemen vertikal yang diteliti dalam penelitian ini berlokasi di STA 0+300 – STA 0+450, lokasi tepat pada sekitar titik uji 3.

Berdasarkan hasil pengamatan bahwa ditemukan bahwa nilai kelandaian pada lokasi penelitian sebesar 1.9% untuk segmen A0-A1, 11.78% untuk segmen A1-A2 dan 1% untuk A2-A3. Kelandaian untuk seluruh segmen dari A0-A3 sejauh 150 m sebesar 2.33%. Berdasarkan RSNI T-14-2004 kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa harus kehilangan kecepatan yang berarti. Nilai kelandaian maksimum untuk kecepatan rencana 30-50 km/jam senilai 10%. Berdasarkan kondisi tersebut, nilai kelandaian pada keseluruhan segmen sebesar 2.33% telah memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu 10%. Akan tetapi, pada segmen A1-A2 terdapat nilai kelandaian yang melebihi standar sebesar 11.78%. Segmen A1-A2 memiliki panjang segmen sepanjang 20 m dengan perubahan elevasi yang signifikansi sebesar 2.356 m. Perubahan kelandaian tersebut mengakibatkan pengendara harus berhati-hati sehingga mengurangi kecepatan. Berdasarkan RSNI T-14-2004 segmen A1-A2 tidak memenuhi persyaratan.



Gambar 5 Penampang memanjang jalan

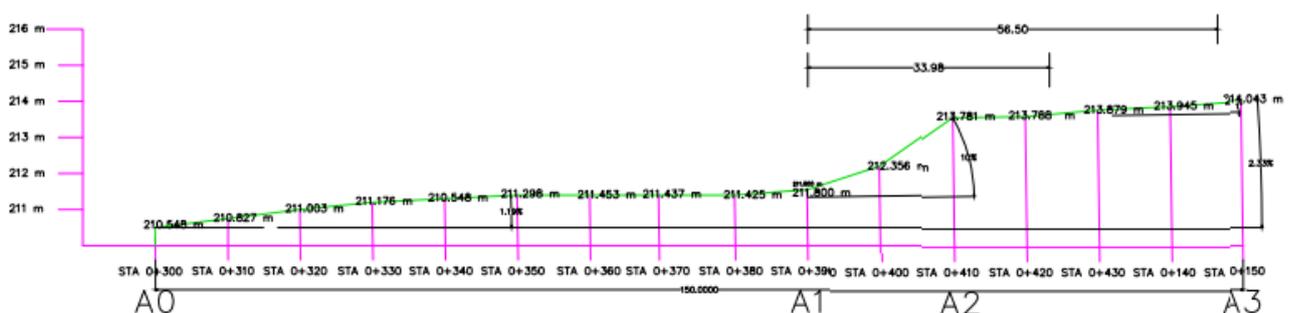
Selain kelandaian maksimum yang harus diperhitungkan, terdapat lengkung vertikal yang diharuskan tersedia pada lokasi yang mengalami perubahan kelandaian. Perubahan kelandaian yang terjadi pada lokasi penelitian Jalan Lingkar Dramaga terdapat perubahan kelandaian bernilai positif (menanjak). Kelandaian maksimum dan kelandaian pada lokasi penelitian digunakan untuk menentukan panjang lengkung vertikal. Lengkung vertikal berguna untuk mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti untuk kendaraan. Panjang lengkung vertikal pada lokasi penelitian dapat diperhitungkan menggunakan nilai jarak pandang henti yang termuat dalam peraturan Direktorat Jendral Bina Marga No.38/TBM/1996. Nilai jarak pandang henti minimum kendaraan pada kecepatan 30 km/jam sebesar 27 m. Nilai panjang lengkung vertikal berdasarkan jarak henti minimum kendaraan sebesar 40.12 m. Sedangkan ketersediaan panjang lengkung vertikal cembung pada lokasi penelitian sebesar 56.5 m. Hal ini menandakan bahwa panjang vertikal cembung pada lokasi penelitian masih tergolong aman. Perbandingan kesesuaian alinyemen vertikal berdasarkan RSNI T-14-2004 dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Perbandingan nilai alinyemen vertikal jalan dengan RSNI T-14-2004

No	Pengukuran <i>Orthophoto</i>			RSNI T-14-2004		
	Keterangan	Nilai	Satuan	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Kelandaian seluruh segmen	2.33	%			
2	Kelandaian segmen A0-A1	1.9	%			
3	Kelandaian A1-A2	11.78	%	Kelandaian maksimum	10	%
4	Kelandaian A2-A3	1	%			
5	Panjang Vertikal Cembung	56.5	meter	Panjang Vertikal Cembung minimum	40.12	meter

3.7 Rekomendasi Geometri Jalan

Hasil pengukuran perhitungan berdasarkan SNI T-14-2004 didapatkan ketidaksesuaian komponen jalan berupa alinyemen vertikal. Ketidaksesuaian ditemukan pada kelandaian jalan pada segmen A1-A2. Perubahan alinyemen vertikal diperlukan untuk mengatasi kehilangan kecepatan pada pengendara dan mengantisipasi kecelakaan akibat kurangnya jarak pandang. Perubahan alinyemen vertikal pada lokasi penelitian berupa penambahan elevasi jalan pada titik STA 0+390. Perubahan elevasi ini dengan manambah tinggi perkerasan jalan atau pengurangan tanah setinggi 0.50 m. Penambahan elevasi ini dimaksudkan untuk mencapai nilai kelandaian maksimum pada jalan tersebut yaitu sebesar 10%. Perubahan desain alinyemen vertikal jalan dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Rekomendasi potongan memanjang jalan

Berdasarkan Gambar nilai perubahan pada titik STA 0+390 dari 211.292 m menjadi 211.800 m. Perubahan elevasi tersebut menghasilkan nilai kelandaian pada lokasi penelitian telah memenuhi RSNI T-14-2004 tentang Geometri Jalan Perkotaan. Perbandingan kesesuaian alinyemen vertikal rekomendasi berdasarkan RSNI T-14-2004 dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Perbandingan kesesuaian alinyemen vertikal rekomendasi

No	Pengukuran <i>Orthophoto</i>			RSNI T-14-2004		
	Keterangan	Nilai	Satuan	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Kelandaian eksisting segmen A1-A2	11.78	%			
2	Kelandaian rekomendasi segmen A0-A1	9.9	%	Kelandaian maksimum	10	%

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa: hasil pengujian tingkat akurasi drone dengan membandingkan hasil orthophoto dan profil melintang jalan sebesar 99.2% untuk orthophoto tanpa koreksi ground control point dan 99.6% untuk orthophoto terkoreksi ground control point. Evaluasi kondisi alinyemen horizontal jalan berupa sudut belokan, radius belokan, panjang belokan, dan sisipan antar dua tikungan telah memenuhi standar RSNI T-14-2004. Pada evaluasi kondisi alinyemen vertikal jalan berupa panjang lengkung vertikal dan kelandaian didapatkan bahwa panjang lengkung vertikal telah sesuai sedangkan pada kelandaian terdapat ketidaksesuaian pada segmen A1-A2. Rencana perbaikan desain geometri jalan dilakukan pada segmen A1-A2 dengan menambah elevasi jalan sebesar 0.50 m. Penambahan dilakukan untuk mendapatkan kelandaian maksimum sebesar 10%. Perbaikan elevasi berupa penambahan lapisan perkerasan jalan atau pengurangan tanah.

Daftar Pustaka

- [1] Sinaga L, Sendow TK, Waani JW. Evaluasi geometrik jalan berdasarkan standar perencanaan bina marga. *Jurnal Sipil Statik*. 2019;7(7):819–26.
- [2] Tamin O, Nahdalina. Analisis Dampak Lalu Lintas (Andall). *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. 1998;5:16–25.
- [3] Pandey SV. Pentingnya Pembangunan Sarana Prasarana Transportasi Sebagai Upaya Membangun Desa Di Kabupaten Gorontalo Provinsi Gorontalo. *TEKNO*. 2016 Dec 15;14(66).
- [4] Putrawirawan A. REKAYASA GEOMETRIK JALAN. PNJ Press; 2019.
- [5] NUGROHO ASB. Kajian Pemanfaatan Drone Untuk Pekerjaan Pengawasan Konstruksi. *UAJY*; 2016.
- [6] Kurniawan A, Taufik M, Yudha IS. Pengaruh Jumlah Dan Sebaran GCP Pada Proses Rektifikasi Citra Worldview II (Studi Kasus : Kota Kediri, Jawa Timur). *Geoid*. 2015 Aug 1;11(1):67–74.
- [7] Irfan DK, Sutoyo S, Sudibyo T. Evaluasi Geometri Jalan Menggunakan Uav Dengan Aplikasi Agisoft Photoscanner Pada Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga. *JSIL*. 2021 Mar 25;5(2):101–14.
- [8] Ryanto AA, Arief B, Rahmah A. Evaluasi Kinerja Simpang Jalan Lingkar Dramaga Kabupaten Bogor (Studi Kasus Jalan Lingkar Dramaga Tahap 1). Universitas Pakuan; 2020.
- [9] Suwardo, Haryanto I. UGM Press. [cited 2023 Oct 5]. Perancangan Geometrik Jalan: Standar dan Dasar-Dasar Perancangan | UGM PRESS - Badan Penerbit dan Publikasi Universitas Gadjah Mada. Available from: <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/sains-teknologi/perancangan-geometrik-jalan-standar-dan-dasar-dasar-perancangan>
- [10] Syifaurrahman D, Fauzan M, Sudibyo T. Evaluasi Geometri dan Perlengkapan Jalan Lingkar

Leuwiliang Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2019 Aug 31;4(2):149–68.

[11] BSN. RSNI T-14-2004: Geometri Jalan Perkotaan PUPR.