

ANALISIS KETELITIAN MODEL 3 DIMENSI MENGUNAKAN FOTO UDARA MIRING (*OBLIQUE*) (STUDI KASUS : KELURAHAN LONTARBARU, KECAMATAN SERANG, KOTA SERANG, PROVINSI BANTEN) KURNIA RAMADHANI SAFITRI¹, SUMARNO²

**¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional
Bandung, Jl. PHH. Hasan Mustapa No. 23 Bandung
Email : kurnia.ramadhani@itenas.ac.id**

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pemetaan 3D telah memberikan kontribusi signifikan dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah perkotaan, terutama melalui inovasi penggunaan foto udara miring (oblique). Teknologi ini memungkinkan pengambilan gambar dari berbagai sudut pandang untuk menciptakan model 3D yang akurat dan detail. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketelitian horizontal dan vertikal model 3D serta mengevaluasi tingkat detail objek (Level of Detail/LoD) yang dihasilkan dari data foto udara miring. Data yang digunakan meliputi foto udara dan titik kontrol tanah (Independent Control Point/ICP), yang diproses menggunakan aplikasi ContextCapture untuk menghasilkan model 3D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai RMS Tie Point Position Uncertainties sebesar 0,0185 meter, dengan rata-rata nilai reprojection error sebesar 0,55 piksel, dan nilai median Tie Point Resolution sebesar 0.0164 meter/piksel yang mencerminkan kualitas pengolahan data yang baik. Model 3D yang dihasilkan memberikan representasi visual wilayah studi dengan detail tinggi, mencakup elemen seperti struktur bangunan, vegetasi, dan jaringan jalan. Analisis ketelitian horizontal menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,242 meter dan akurasi vertikal sebesar 0,397 meter. Berdasarkan hasil analisis secara geometri yang dilakukan menggunakan 22 sampel, diperoleh nilai RMSE sebesar 0,0623 meter. Nilai ketelitian horizontal, vertikal dan analisis geometri tersebut memenuhi standar Level Of Detail (LOD) 3 yang ditetapkan oleh Open Geospatial Consortium (OGC), yang mensyaratkan ketelitian model kurang dari 0,5 meter.

Kata kunci: Foto Udara Miring (*Oblique*); Model 3D; Ketelitian Horizontal; Ketelitian Vertikal; Level of Detail (LOD).

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan waktu, teknologi pemetaan 3D telah mengalami kemajuan yang signifikan dan menjadi salah satu alat penting dalam pengembangan perkotaan. Dalam beberapa tahun terakhir, inovasi dalam teknologi pemetaan 3D dengan kamera *oblique* telah memperluas kemampuan untuk memahami dan merencanakan lingkungan perkotaan dengan detail yang lebih tinggi. Hal ini menjadi penting dalam kompleksitas tantangan perkotaan modern dan menghadapi pertumbuhan populasi perkotaan.

Penerapan teknologi pemetaan 3D dengan kamera *oblique* memungkinkan pengambilan foto dari berbagai sudut pandang dalam menciptakan model 3D yang lebih akurat dan terperinci dari lingkungan perkotaan. Survei udara dilakukan dengan cara pengambilan foto secara miring atau *oblique* sehingga menghasilkan data yang dapat dilakukan pemodelan secara 3D. Pengumpulan data menjadi lebih cepat dan akurat serta terperinci sehingga terjadi efektivitas kinerja di lapangan. (Linbing dkk., 2021). Teknologi pemetaan 3D yang digunakan menghasilkan informasi bentuk dan struktur bangunan secara mendetail dan terperinci dalam bentuk pemodelan 3D sehingga lebih mudah dilakukan analisis data. (Fidera & Ihsan, 2020).

Kelurahan Lontarbaru, yang terletak di Kecamatan Serang merupakan wilayah yang menawarkan beragam tantangan dan peluang dalam konteks perkembangan perkotaan. Dengan populasi yang terus bertambah dan kebutuhan akan infrastruktur yang meningkat, penting halnya untuk memiliki pemahaman yang mendalam tentang kondisi lingkungan kota. Dalam hal ini, teknologi pemetaan 3D dengan kamera *oblique* berperan untuk pengumpulan data yang akurat dan terperinci serta memberikan pemodelan 3D tentang struktur bangunan, jaringan jalan dan fitur lingkungan lainnya di Kelurahan Lontarbaru.

Hasil penelitian berbasis teknologi 3D juga dapat mendukung penyajian informasi dalam format visual yang mudah dipahami oleh berbagai pihak, termasuk pemangku kepentingan, pengembang, dan masyarakat umum. Model 3D memberikan gambaran realistis tentang kondisi lapangan, sehingga memfasilitasi komunikasi yang lebih efektif antara pemerintah dan masyarakat. Dalam hal ini, penerapan teknologi pemetaan 3D dengan kamera *oblique* di Kelurahan Lontarbaru tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan data spasial yang akurat, tetapi juga untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan sumber daya wilayah tersebut.

Implementasi teknologi ini diharapkan dapat memberikan manfaat nyata dalam percepatan pembangunan perkotaan yang berkelanjutan. Dengan data pemetaan yang akurat dan terperinci, pemerintah dan lembaga terkait memiliki peluang untuk mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif dan efisien. Hal ini tidak hanya membantu menciptakan kota yang lebih tertata, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Secara keseluruhan, penggunaan teknologi pemetaan 3D berbasis kamera *oblique* di wilayah Kelurahan Lontarbaru menunjukkan potensi besar untuk mendukung berbagai kebutuhan perencanaan perkotaan, mulai dari pemetaan infrastruktur hingga pengembangan tata ruang yang lebih baik.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Peralatan Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan bersumber dari pemotretan foto udara miring menggunakan kamera *oblique*. Adapun rincian data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. RAW Data Foto Udara Miring (*Oblique*) dalam bentuk jpg
- b. POS Data Foto Udara Miring (*Oblique*)
- c. Data Pengukuran *Independent Control Point (ICP)*

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Drone JOUAV CW-15 UAV VTOL *Fixed Wing* digunakan untuk pengambilan data foto udara miring (*oblique*).
- b. Kamera *Oblique* Reibo DG10 Pro sebagai sensor kamera dilengkapi dengan 5 lensa resolusi 510 MP.
- c. GPS Geodetik digunakan untuk pengambilan data *Independent Control Point (ICP)*.
- d. PC Processing digunakan untuk mengolah data foto udara miring (*oblique*).

- e. Laptop digunakan untuk pengendali drone.
- f. Perangkat Lunak *CW Commander* digunakan untuk membuat jalur penerbangan dan pengaturan parameter pemetaan.
- g. Perangkat Lunak *Surpad* digunakan untuk pengukuran data *Independent Control Point (ICP)*.
- h. Perangkat Lunak *Trimble Business Center (TBC)* digunakan untuk pengolahan data *Independent Control Point (ICP)*.
- i. Perangkat Lunak *ContextCapture* digunakan untuk pengolahan data Foto Udara Miring (*oblique*).
- j. Perangkat Lunak *Get3D Viewer* digunakan untuk uji akurasi model 3D dari hasil pengolahan.
- k. Perangkat Lunak *Microsoft Excel* digunakan untuk perhitungan uji akurasi.

2.2 Tahapan Penelitian

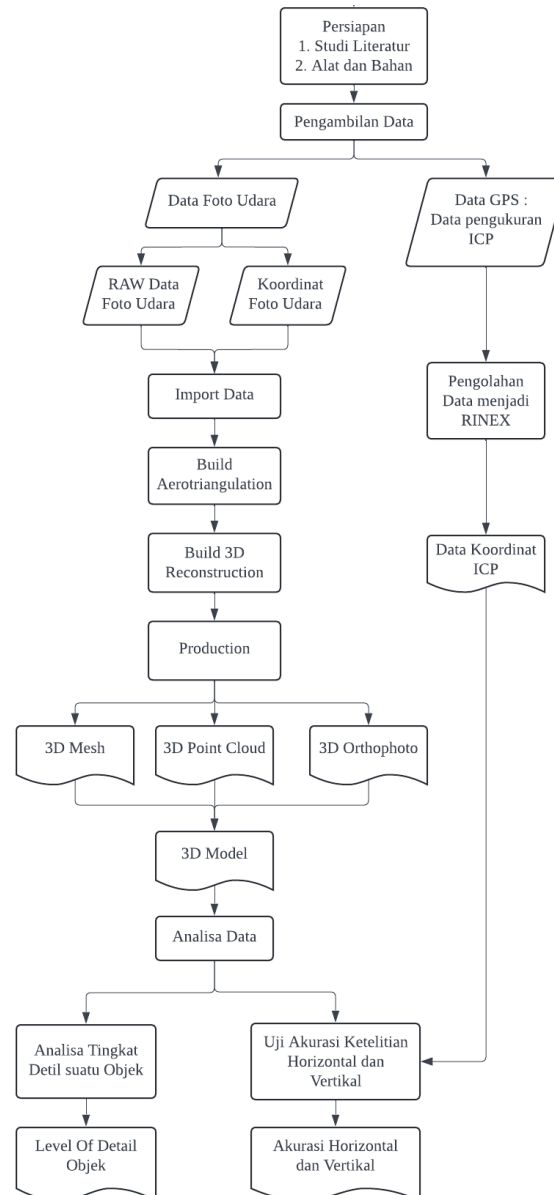
Metodologi penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketelitian horizontal dan vertikal serta tingkat detail objek dari model 3D yang dihasilkan menggunakan data foto udara miring (*oblique*). Lokasi penelitian berada di Kelurahan Lontarbaru, Kecamatan Serang, Kota Serang, Provinsi Banten.

Tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan secara sistematis untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Adapun langkah-langkah pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan Studi Literatur. Tahapan awal penelitian melibatkan kajian literatur untuk memahami konsep dan teknologi yang digunakan, khususnya terkait pemetaan menggunakan foto udara miring (*oblique*), prinsip kerja *ContextCapture*, dan metode analisis ketelitian model 3D.
- 2) Mempersiapkan alat-alat yang digunakan seperti drone, kamera, laptop, GPS dan juga aplikasi yang digunakan untuk pengolahan data dan penyusunan laporan penelitian.
- 3) Melakukan pengambilan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data Foto Udara dan data ICP.
- 4) Melakukan pengolahan data. Pada proses ini data foto udara miring (*oblique*) dilakukan pengolahan di aplikasi *ContextCapture* untuk menghasilkan data 3D. Sedangkan data GPS dilakukan pengolahan untuk menghasilkan data koordinat ICP.
- 5) Hasil dari pengolahan data 3D akan masuk pada tahapan uji akurasi, dengan menggunakan koordinat ICP untuk menghasilkan ketelitian horizontal dan vertikal.
- 6) Tahapan selanjutnya, data 3D akan dilakukan analisis terhadap *Level Of Detail (LoD)* untuk menentukan level *LoD* pada model 3D.

2.3 Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, titik *Independent Control Point (ICP)* memiliki peran penting dalam mengevaluasi tingkat akurasi model 3D yang dihasilkan dari proses pengolahan foto udara miring. Titik-titik ini digunakan untuk mengukur seberapa akurat model tersebut merepresentasikan dimensi horizontal dan vertikal sesuai dengan data lapangan. Dengan menggunakan titik ICP sebagai acuan, dilakukan analisis untuk memastikan bahwa model 3D yang dihasilkan mampu mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan secara detail dan dapat diandalkan untuk keperluan pemetaan dan analisis lebih lanjut.

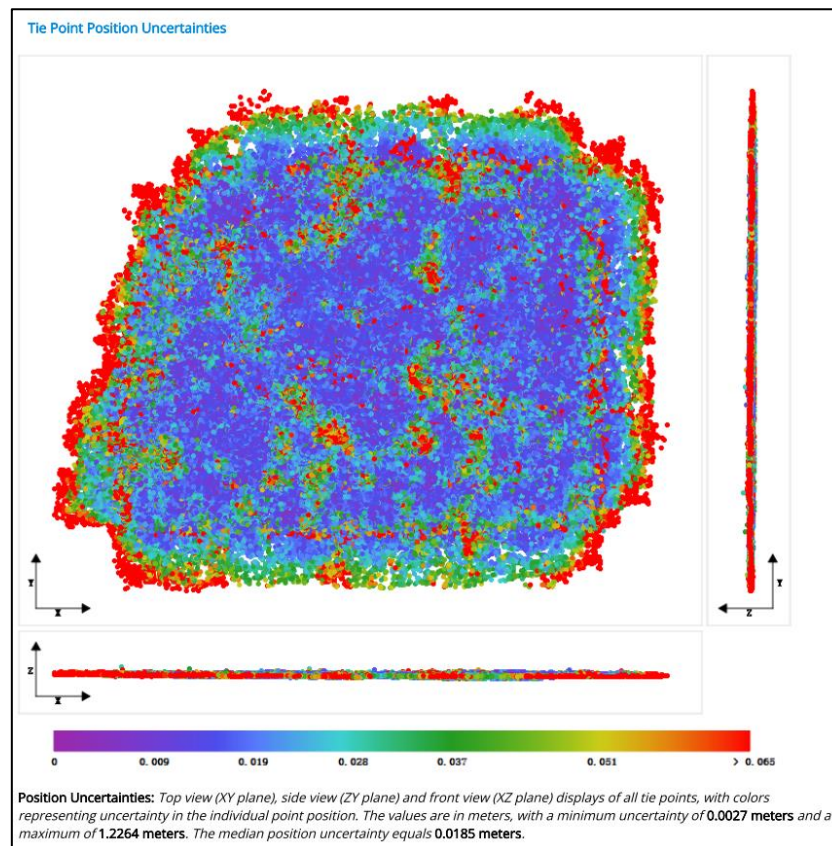
Setelah pengolahan data menggunakan software pengolahan *Trimble Business Center (TBC)*, dilakukan perbandingan antara koordinat titik ICP yang diperoleh dari model 3D dengan koordinat titik ICP yang diukur langsung di lapangan. Titik ICP yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 7 (tujuh) titik dan tersebar di area penelitian, yaitu di Kelurahan

Lontarbaru, Kecamatan Serang, Kota Serang. Berikut ini adalah titik-titik *Independent Control Point (ICP)* yang diperoleh dari hasil pengolahan data :

Tabel 1 Daftar Koordinat Titik-Titik ICP

Titik	Easting	Northing	Elevation
ICP1	627456.628	9324087.544	38.668
ICP2	626916.417	9324620.764	42.01
ICP3	626940.836	9323897.293	40.655
ICP4	626556.064	9324188.893	43.312
ICP5	627505.211	9324657.849	40.269
ICP6	627362.944	9323595.826	41.859
ICP7	626979.413	9323647.639	42.254

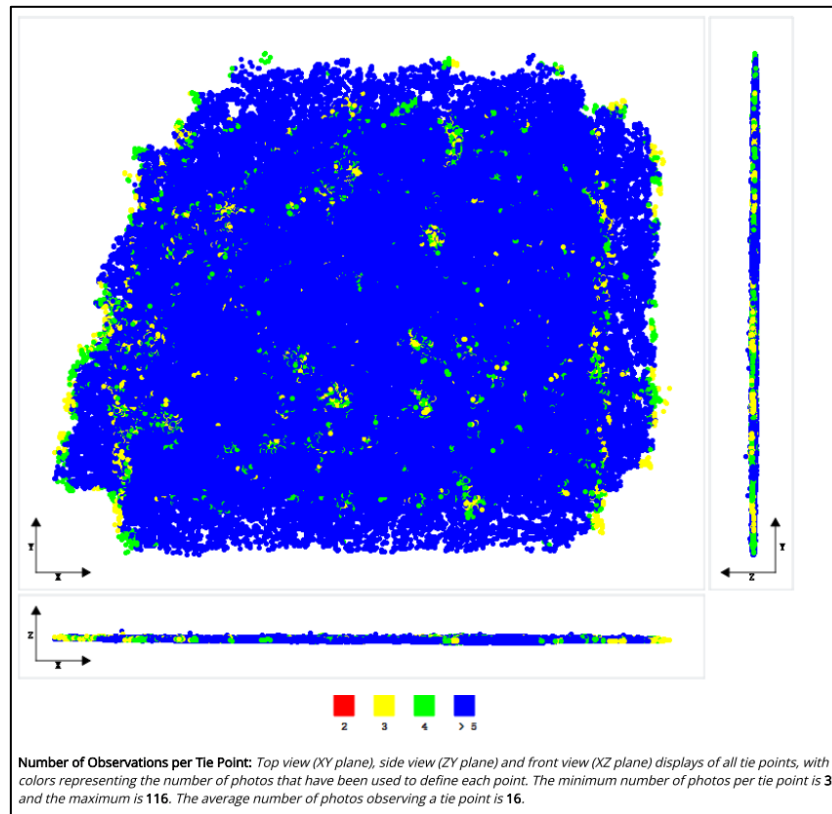
Pengolahan foto udara miring menghasilkan sejumlah data penting yang mencakup kualitas *tie points* dan model 3D akhir. Proses ini diawali dengan tahap *photo alignment* untuk mendeteksi kesamaan antar-citra dan menghasilkan *tie points*. Dari hasil pengolahan, diperoleh nilai *RMS (Root Mean Square)* untuk *tie points*, yang mencerminkan kualitas kesesuaian antar-citra dalam membentuk model. Nilai RMS yang dihasilkan sebesar 0.0185 meter, menunjukkan bahwa proses pengolahan memiliki akurasi yang baik sesuai standar fotogrametri. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan nilai *RMS tie point* atau *position uncertainty* hasil pengolahan data.



Gambar 2. Tie Point Position Uncertainty

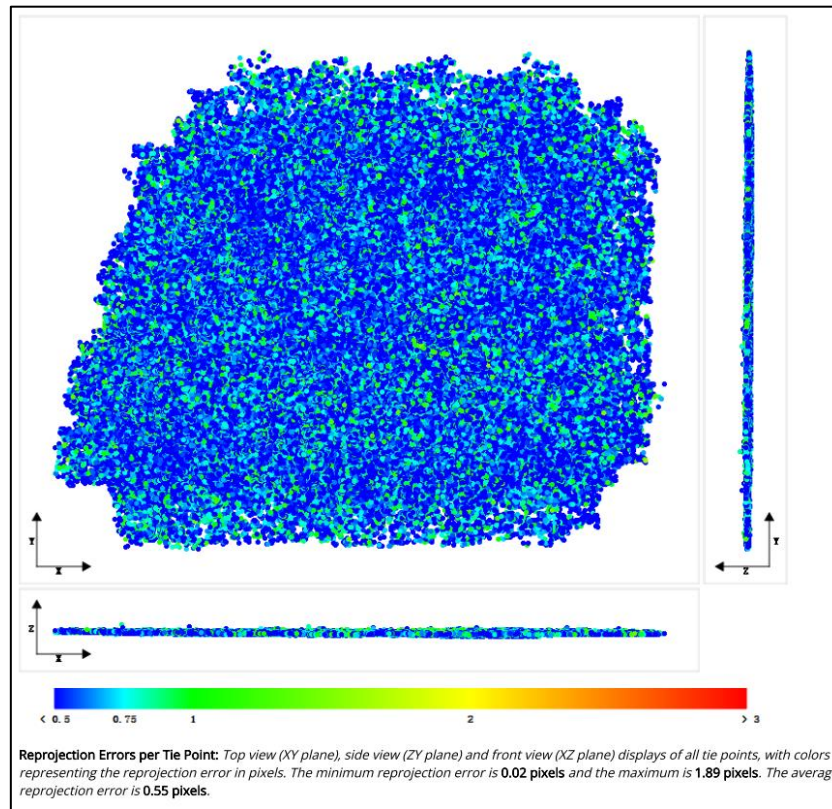
Selain nilai *position uncertainty*, diperoleh nilai *Number of Observations per Tie Point* yang menunjukkan jumlah pengamatan atau foto yang berhasil mencakup setiap *tie point*. Rata-

rata jumlah foto yang mengamati setiap *tie point* adalah 16 foto, yang menunjukkan bahwa sebagian besar *tie points* terdeteksi di banyak foto. Jumlah pengamatan yang tinggi ini mencerminkan distribusi yang baik dari *tie points* di seluruh area pemotretan dan meningkatkan akurasi dalam proses *bundle adjustment*. Hasil dari perhitungan *Number of Observations per Tie Point* disajikan pada gambar berikut.



Gambar 3. *Number of Observations per Tie Point*

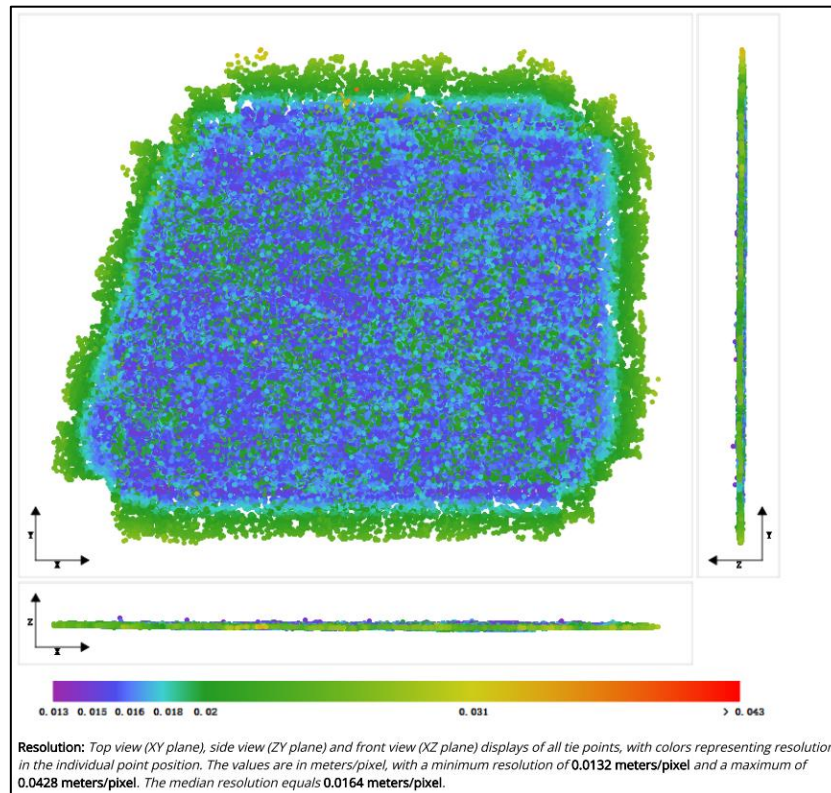
Selanjutnya, analisis *Reprojection Errors per Tie Point* mengukur akurasi posisi setiap *tie point* setelah dihitung menggunakan data 3D dan diproyeksikan kembali ke citra asli. Untuk menganalisis *reprojection error*, tiga tampilan digunakan: tampilan atas (*XY plane*), tampilan samping (*ZY plane*), dan tampilan depan (*XZ plane*), yang menampilkan seluruh *tie points* dengan warna yang mewakili nilai *reprojection error* dalam piksel. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai minimum *reprojection error* adalah 0.02 piksel, sedangkan nilai maksimum adalah 1.89 piksel, dan nilai rata-rata *reprojection error* adalah 0.55 piksel. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan nilai *Reprojection Errors per Tie Point*.



Gambar 4. Reprojection Error per Tie Point

Nilai rata-rata yang rendah ini menunjukkan bahwa sebagian besar *tie points* memiliki kesalahan reprojeksi yang kecil, yang berarti model 3D yang dihasilkan cukup akurat. Namun, terdapat beberapa tie points yang memiliki kesalahan reprojeksi lebih besar, yang mungkin dapat menyebabkan adanya ketidaksempurnaan dalam kualitas gambar atau *proses bundle adjustment* pada area tertentu.

Setelah menganalisis *reprojection error*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *Tie Point Resolution*. *Tie Point Resolution* mengukur tingkat ketelitian posisi tiap *tie point* dalam model 3D yang dihasilkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai resolusi minimum adalah 0.0132 meter/piksel, sementara nilai maksimum adalah 0.0428 meter/piksel. Nilai median resolusi adalah 0.0164 meter/piksel, yang menunjukkan bahwa sebagian besar *tie points* memiliki tingkat resolusi yang cukup tinggi, menghasilkan model dengan ketelitian yang baik. Resolusi yang lebih kecil menunjukkan bahwa posisi *tie points* lebih terperinci dan lebih akurat, sedangkan resolusi yang lebih besar menunjukkan ketelitian yang lebih rendah. Hasil dari perhitungan *Tie point resolution* disajikan pada gambar berikut.



Gambar 5. Tie Point Resolution

Secara keseluruhan, analisis *Tie Point Resolution* memberikan gambaran tentang kualitas model 3D yang dihasilkan. Dengan nilai median resolusi yang rendah, model menunjukkan ketelitian yang baik pada sebagian besar *tie points*, meskipun terdapat beberapa area dengan resolusi yang lebih besar. Ini menunjukkan bahwa model 3D dapat diandalkan untuk aplikasi lebih lanjut.

3.1 Hasil Model 3D dari Foto Udara Miring (*Oblique*)

Model 3D yang dihasilkan dari pengolahan foto udara miring menggunakan perangkat lunak *ContextCapture* memberikan representasi visual wilayah studi dengan detail yang sangat baik. Foto udara miring diambil menggunakan drone dengan sudut pandang khusus, yang memungkinkan cakupan area lebih luas dan kemampuan untuk merekonstruksi objek vertikal seperti bangunan secara lebih realistis.

Proses pengolahan data dimulai dari pengumpulan foto udara miring yang mencakup seluruh wilayah studi. Hasil akhirnya adalah model 3D dengan tekstur yang realistis dan akurasi tinggi, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi geospasial. Model ini mencakup detail objek seperti bangunan, jalan, vegetasi, dan elemen topografi lainnya dengan tingkat ketelitian yang mendukung analisis spasial yang mendalam. Hasil model 3D yang telah diolah dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



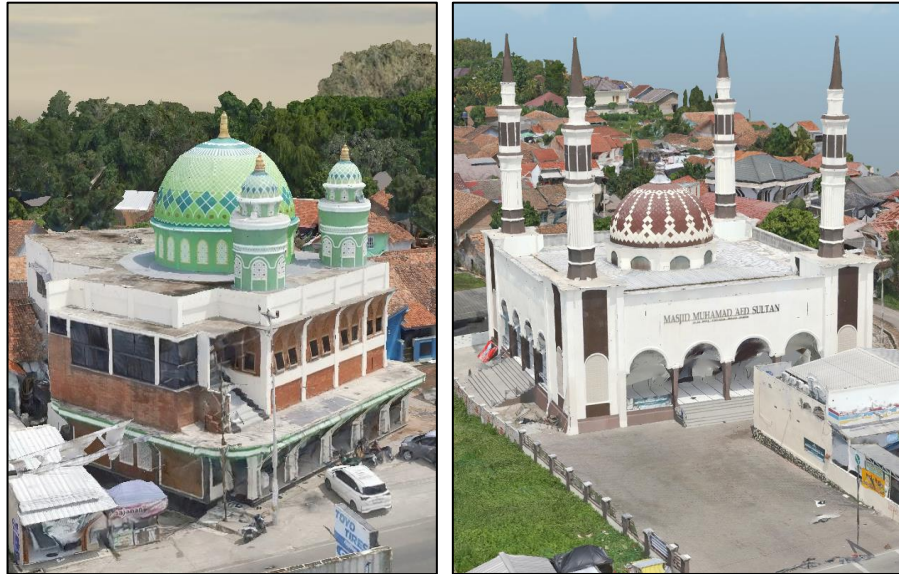
Gambar 6. Hasil Model 3D Kelurahan Lontarbaru

Objek bangunan pada model 3D yang dihasilkan dari foto udara miring menunjukkan tingkat detail yang sangat baik. Struktur bangunan terlihat jelas, termasuk bentuk atap, fasad, dan dimensi keseluruhan. Bahkan elemen kecil seperti ornamen arsitektur, jendela, dan pintu dapat diidentifikasi dengan mudah pada beberapa bangunan yang memiliki resolusi lebih tinggi.

Bangunan dengan kompleksitas geometris, seperti gedung bertingkat atau struktur dengan desain arsitektur unik, berhasil direkonstruksi secara akurat. Tingkat ketelitian ini dicapai melalui pengambilan foto udara miring yang memungkinkan tangkapan sudut pandang dari berbagai arah, sehingga setiap sisi bangunan dapat terwakili dalam model. Detail tekstur pada bangunan juga terlihat realistis dengan pengolahan foto berkualitas tinggi yang mempertahankan informasi warna dan pola material. Detail objek bangunan pada model 3D ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. Detail Objek Bangunan pada Model 3D



Gambar 8. Detail Objek Masjid pada Model 3D

Selain bangunan, model 3D juga berhasil merepresentasikan detail objek vegetasi di wilayah studi. Vegetasi yang teridentifikasi mencakup pohon, semak, dan tanaman lain yang tersebar di area pemukiman, taman, dan ruang terbuka hijau. Struktur vegetasi terlihat cukup jelas dengan bentuk kanopi pohon yang dapat dibedakan dari elemen lainnya. Detail objek vegetasi pada model 3D ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Detail Objek Vegetasi pada Model 3D

Model 3D juga merepresentasikan objek jalan dengan tingkat detail yang cukup baik. Jalur jalan terlihat jelas, mulai dari lebar jalan, pola marka, hingga elemen pendukung seperti trotoar dan saluran *drainase*. Dalam beberapa bagian, model bahkan mampu menangkap tekstur permukaan jalan, seperti pola aspal atau material *paving block*, yang menunjukkan keakuratan hasil pengolahan data. Keberadaan objek jalan dalam model 3D sangat penting untuk berbagai analisis spasial, termasuk perencanaan infrastruktur transportasi, simulasi lalu lintas, dan evaluasi kondisi fisik jalan. Detail objek jalan pada model 3D ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Detail Objek Jalan pada Model 3D

Hasil ini menunjukkan bahwa foto udara miring dapat menghasilkan model 3D yang memiliki tingkat detail dan akurasi tinggi untuk kebutuhan analisis spasial. Objek-objek seperti bangunan, vegetasi, dan jalan direpresentasikan secara realistis, dengan detail yang memungkinkan analisis dimensi, pola spasial, dan kondisi aktual lapangan.

3.2 Analisis Ketelitian Horizontal

Analisis ketelitian horizontal dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi posisi objek yang dihasilkan dari pengolahan foto udara miring. Proses ini membandingkan koordinat horizontal hasil model 3D dengan koordinat horizontal titik uji independen (*Independent Control Point/ICP*) yang diukur langsung di lapangan menggunakan alat GNSS presisi tinggi. Perbandingan ini memberikan gambaran seberapa dekat model 3D dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Dalam penelitian ini, nilai *RMS (Root Mean Square)* untuk ketelitian horizontal diperoleh sebesar 0.242 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa rata-rata deviasi posisi horizontal pada model 3D relatif kecil, menandakan bahwa data hasil pengolahan memiliki akurasi yang tinggi. Tabel uji akurasi horizontal pada model 3D disajikan sebagai berikut.

Tabel 2 Uji Akurasi Horizontal Model 3D

FORM.AK_05.05										QC ke 1
UJI KETELITIAN HORIZONTAL										
KELURAHAN LONTARBARU, KECAMATAN SERANG, KOTA SERANG, PROVINSI BANTEN										
Tanggal Mulai QC : 11 November 2024										Petugas QC : Kurnia RS
Nomor Titik	Nama Titik	X (Koordinat ICP)	X ((Koordinat Uji 3D Model))	(D X)	(D X) ²	Y (Koordinat ICP)	Y ((Koordinat Uji 3D Model))	(D Y)	(D Y) ²	(D X) ² + (D Y) ²
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ICP1	627456.628000	627456.437000	0.191	0.036481	9324087.544000	9324087.410000	-0.134	0.017956	0.054437
2	ICP2	626916.417000	626916.270000	0.147	0.021609	9324620.764000	9324620.627000	-0.137	0.018769	0.040378
3	ICP3	626940.836000	626940.597000	0.239	0.057121	9323897.293000	9323897.266000	-0.027	0.000729	0.057850
4	ICP4	626555.064000	626555.892000	0.172	0.029584	9324188.893000	9324188.790000	-0.103	0.010609	0.040193
5	ICP5	627505.211000	627505.054000	0.157	0.024649	9324657.849000	9324657.683000	-0.166	0.027556	0.052205
6	ICP6	627362.944000	627362.731000	0.213	0.045369	9323595.826000	9323595.703000	-0.123	0.015129	0.060498
7	ICP7	626979.413000	626979.134000	0.279	0.077841	9323647.639000	9323647.476000	-0.163	0.026569	0.104410
									Jumlah	0.410
									Rata-Rata	0.059
									RMSE	0.242
Ketelitian Horizontal										

Hasil analisis menunjukkan bahwa model 3D yang dihasilkan telah memenuhi kriteria *Level of Detail (LoD) 3* sesuai dengan standar *Open Geospatial Consortium (OGC)*. Nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* yang diperoleh berada di bawah ambang batas 0.5 meter, yang menandakan bahwa tingkat akurasi geometri model sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Dengan demikian, model 3D ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan pemetaan dan analisis spasial yang memerlukan ketelitian tinggi pada tingkat LoD 3.

3.3 Analisis Ketelitian Vertikal

Analisis ketelitian vertikal dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana model 3D yang dihasilkan dari foto udara miring dapat merepresentasikan elevasi atau ketinggian objek dengan akurat. Proses ini membandingkan nilai elevasi dari model 3D dengan elevasi yang diukur langsung di lapangan menggunakan titik kontrol yang telah terukur dengan alat survei presisi tinggi, seperti GNSS atau alat ukur lainnya yang lebih akurat.

Untuk menilai ketelitian vertikal, dilakukan perbandingan antara elevasi yang dihasilkan oleh model 3D dengan elevasi yang diukur pada titik kontrol lapangan. Tabel uji akurasi vertikal pada model 3D disajikan sebagai berikut.

Tabel 3 Uji Akurasi Vertikal Model 3D

FORM.AK_05.05		FORM.AK_05.05			QC ke 1
		UJI KETELITIAN VERTIKAL			
		KELURAHAN LONTARBARU, KECAMATAN SERANG, KOTA SERANG, PROVINSI BANTEN			
		Tanggal Mulai QC : 11 November 2024			
		Petugas QC : Kurnia RS			
Nomor Titik	Nama Titik	Z	Z	(D Z)	(D Z)^2
		(Koordinat ICP)	((Koordinat Uji 3D Model)		
A	B	C	D	E	F
1	ICP1	38.6680	38.9780	0.3100	0.09610000
2	ICP2	42.0100	42.1140	0.1040	0.01081600
3	ICP3	40.6550	41.2180	0.5630	0.31696900
4	ICP4	43.3120	43.6400	0.3280	0.10758400
5	ICP5	40.2690	40.3480	0.0790	0.00624100
6	ICP6	41.8590	42.3960	0.5370	0.28836900
7	ICP7	42.2540	42.7800	0.5260	0.27667600
				Jumlah	1.103
				Rata-Rata	0.158
			Ketelitian Vertikal	RMSE	0.397

Dari hasil analisis, ketelitian vertikal yang diperoleh dari model 3D berdasarkan RMSE adalah 0,397 meter, yang memenuhi standar OGC LOD 3. Pada tingkat detail objek LOD 3, standar ketelitian vertikal mensyaratkan nilai *RMSE* di bawah ambang batas 0,5 meter dan model 3D harus dapat merepresentasikan elemen-elemen bangunan dan objek lainnya dengan detail yang cukup tinggi, termasuk elemen-elemen seperti atap, jendela, dan pintu. Dengan ketelitian vertikal sebesar 0,397 meter, model yang dihasilkan dapat menggambarkan objek-objek tersebut dengan presisi yang sesuai dengan persyaratan OGC LOD 3.

3.4 Analisis *Level Of Detail (LOD)* secara geometri

Analisis *Level of Detail (LOD)* secara geometri dilakukan dengan cara membandingkan dimensi sampel yang diukur langsung di lapangan dengan ukuran yang terdapat pada Model 3D. Fokus utama dalam analisis ini adalah membandingkan secara geometri elemen-elemen jalan dan trotoar pada model 3D dengan kondisi nyata di lapangan, menggunakan sampel sebanyak 22 buah. Perbandingan ini bertujuan untuk menilai sejauh mana akurasi dan ketelitian model 3D dalam merepresentasikan dimensi dan posisi jalan serta trotoar tersebut. Tabel data perhitungan analisis secara geometri disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Data Perhitungan Analisis secara Geometri

Sampel ke-n	Nama objek	Ukuran asli di lapangan (m)	Ukuran pada 3D Model	Selisih (m)	Selisih kuadrat
1	Trotoar Rutan	1.795	1.87	0.075	0.005625
2	Jalan Term Buang	4.04	4.13	0.09	0.0081
3	Jalan Jiwantaka I	3.75	3.70	0.05	0.0025
4	Trotoar ACE Hardware	1.1	1.09	0.01	0.0001
5	Trotoar Lotte Mall	2.76	2.72	0.04	0.0016

6	Jalan Kelapa Dua	6.032	6.14	0.108	0.011664
7	Jalan Raya Pantura	6.29	6.20	0.09	0.0081
8	Trotoar Kehakiman	1.43	1.48	0.05	0.0025
9	Jalan Letnan Jidun	7.92	7.98	0.06	0.0036
10	Jalan Kagungan	4.883	4.82	0.063	0.003969
11	Jalan Trip Basuni I	3.38	3.36	0.02	0.0004
12	Trotoar Kearsipan	3.35	3.43	0.08	0.0064
13	Jalan Jayadiningrat	6.12	6.10	0.02	0.0004
14	Jalan KH Amin Jasuta	5.01	5.10	0.09	0.0081
15	Jalan Cadika	4.96	4.92	0.04	0.0016
16	Jalan Kolonel Tubagus Suwandi	6.373	6.46	0.087	0.007569
17	Trotoar Radar Banten	1.452	1.49	0.038	0.001444
18	Jalan Taman Widyasari	5.33	5.39	0.06	0.0036
19	Trotoar Jalan Widyasari	1.922	1.98	0.058	0.003364
20	Jalan KH Jamhari	4.42	4.37	0.05	0.0025
21	Jalan Kapten Suwardo	3.53	3.49	0.04	0.0016
22	Gang Dolong	4.033	3.99	0.043	0.001849
			Rata-rata	0.057	0.00394
			RMSE		0.06273

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada 22 sampel, kualitas geometri dapat diukur dengan menghitung *Root Mean Square Error (RMSE)*, yang diperoleh dari selisih rata-rata dan selisih kuadrat seluruh sampel. Hasil perhitungan *RMSE* ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan RMSE

$\bar{x}$ Selisih	0.057 m
Selisih min	0.01 m
Selisih max	0.108 m
<i>RMSE</i>	0.06273 m

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *RMSE* dari 22 sampel yang diambil, didapatkan nilai *RMSE* sebesar 0,06273 m, dengan selisih rata-rata 0,057 m. Selisih terbesar dari perbandingan data ukuran sampel lapangan terhadap data ukuran 3D Model sebesar 0,108 m, dan selisih terkecilnya sebesar 0,01 m. Perbedaan selisih dipengaruhi oleh kualitas resolusi 3D model yang dihasilkan dari foto udara miring (*oblique*).

Nilai *RMSE* sebesar 0,06273 m menunjukkan bahwa model 3D yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Ketelitian ini memenuhi standar *Level of Detail (LOD) 3* dari *Open Geospatial Consortium (OGC)*, yang mensyaratkan akurasi kurang dari 0,5 m. Dengan demikian, model 3D ini dianggap sesuai untuk aplikasi yang memerlukan representasi detail yang tinggi, seperti pemetaan perkotaan, perencanaan infrastruktur, dan analisis geospasial lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, uji akurasi model 3D menunjukkan nilai akurasi horizontal sebesar 0,242 meter dan akurasi vertikal sebesar 0,397 meter. Kedua nilai tersebut memenuhi standar *Level of Detail (LOD) 3* yang ditetapkan oleh *Open Geospatial Consortium (OGC)*, yang mensyaratkan ketelitian model dengan akurasi horizontal dan vertikal kurang dari 0,5 meter. Hal ini menunjukkan bahwa model 3D yang dihasilkan memiliki ketelitian yang cukup tinggi dan sesuai untuk aplikasi pemetaan dan analisis geospasial yang memerlukan detail dan akurasi yang baik. Dari hasil analisis geometri yang dilakukan menggunakan 22 sampel, diperoleh nilai *RMSE* sebesar 0,06273 meter. Nilai *RMSE* ini menunjukkan bahwa model 3D yang dihasilkan sudah memenuhi standar *Level of Detail (LOD) 3* menurut *Open Geospatial Consortium (OGC)*, yang mengharuskan akurasi model tidak lebih dari 0,5 meter. Hal ini menandakan bahwa model 3D yang dihasilkan memiliki ketelitian yang memadai untuk keperluan pemetaan dan analisis geospasial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusinya dalam penyusunan artikel ini. Terutama kepada Ir. Sumarno, M.T. selaku pembimbing yang mendampingi selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Agisoft. (2020). *Agisoft Metashape User Manual*. Retrieved from <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>
- Bentley Systems. (2021). *ContextCapture*. Retrieved from <https://www.bentley.com/en/products/brands/contextcapture>
- Brown, L. (2019) Understanding Measurement Errors in Geospatial Data. *International Journal of Surveying*, 12(2), 45-60.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Groger, G., & Plumer, L. (2012). CityGML – Interoperable access to 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12.
- Haryanto, A. (2020). Pentingnya Pengukuran ICP dalam Pemetaan Geospasial Modern. *Jurnal Geodesi Indonesia*, 21(2), 112-125.
- Kadir, A., Rahman, A., & Zainuddin, Z. (2019). Accuracy Assessment of 3D Models Generated from Aerial Images using ContextCapture. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75, 1-10.
- Khoshelham, K., & Elberink, S. O. (2012). Accuracy and Resolution of 3D Models Obtained from Photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12.
- Koller, D., D. M., & H. H. (2016). Aerial Imagery and its Applications in 3D Modelling. *International Journal o Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 1-10.
- Li, X., Wang, Y., & Zhang, H. (2021). The Role of Level of Detail in Urban Planning and Design: A Case Study of 3D City Models.
- Luthfi, M. (2020). Peningkatan Ketelitian Pengukuran Geospasial Menggunakan Jaringan CORS dan JKG dalam Survei Geodesi. *Jurnal Geodesi*, 15(2), 85-92.
- Open Geospatial Consortium Inc. 2021. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard. OGC 20-010.
- Open Geospatial Consortium Inc. 2006. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. OGC 08-007r1.
- Open Geospatial Consortium Inc. 2012. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML 2.0) Encoding Standard. OGC 08-007r1.
- Prasetyo, E., Sari, D. R., & Nugroho, A. (2021). Accuracy Assessment of Digital Terrain Model Generated from Aerial Imagery using Agisoft Metashape. *Journal of Geospasial Engineering*, 13(2), 45-56.

Ruzgys, P., Karpavicius, S., & Suminas, A. (2020). The Use of Aerial Photography in Urban Planning: A Case Study. *Sustainability*, 12(3), 1020.

Sukirno, R., & Sumiati, H. (2019). Evaluasi Penggunaan ICP pada Pemetaan Geospasial Menggunakan Sistem GNSS dan CORS. *Jurnal Geomatika*, 18(1), 45-59.

Zhang, Chen, S., W., Wong, N. H., & Ignatius, M. (2020). Combining CityGML files and data-driven models for microclimate simulations in a tropical city. *Journal Name*, Volume(Issue), Page range.

Zhang, L., Li, Z., & Wang, Y. (2016). Advances in Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*, 8(5), 392.

Zhang, Y., Wang, Y., & Zhang, L. (2018). A Review of Aerial Image Processing Techniques for Urban Planning. *Remote Sensing*, 10(5), 789.

Zhang, Z., & Hu, X. (2017). A comparative study of 3D modeling techniques in photogrammetry. *Journal of Photogrammetry*, 72(3), 12-29.