



PEMANFAATAN TEKNOLOGI UAV LIDAR UNTUK PERCEPATAN PENYEDIAAN DATA TOPOGRAFI SKALA BESAR PADA TAHAP READINESS CRITERIA JALAN TOL TRANS SUMATERA

Iwan Hermawan¹, Dhono Nugroho², Idwan Suhendra³, Halim Wiranata⁴, Ragil Wahyu T. Karim⁵,
Audita Widya Astuti⁵, Billy Silaen⁵, Darmawan Eka Wicaksono⁵

¹Executive Vice President Divisi Perencanaan Jalan Tol

²Vice President Perencanaan dan Engineering Divisi Perencanaan Jalan Tol

²Staff Ahli Bagian Perencanaan dan Engineering Divisi Perencanaan Jalan Tol

³Assistant Manager Bagian Perencanaan dan Engineering Divisi Perencanaan Jalan Tol

⁴Officer Perencanaan dan Engineering Divisi Perencanaan Jalan Tol

Divisi Perencanaan Jalan Tol, PT Utama Karya (Persero)
Jl Letjen M.T. Haryono No.Kav 8 12 11, RT.12/RW.11, Cawang, Kecamatan Jatinegara,
Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13340
Email : halim.wiranata@utamakarya.com

ABSTRAK

Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden No. 100 tahun 2014 jo. Peraturan Presiden No. 117 Tahun 2015 memberikan penugasan kepada Utama Karya untuk melaksanakan pengusahaan Jalan Tol Trans Sumatera sepanjang 2.789 km yang terdiri dari 5 tahapan yaitu pendanaan, perencanaan, konstruksi, pengoperasian dan pemeliharaan. Untuk memenuhi target operasional JTTS seluruhnya di tahun 2024, Utama Karya berinovasi dengan berinvestasi alat *mini-LiDAR* untuk penyediaan data *basemap* topografi pada tahap *readiness criteria*. Akuisisi data dilakukan dengan wahana *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* tipe *fixed wing*. Setiap misi memetakan koridor 200–400 m dengan panjang 10 – 20 km yang direferensikan pada *benchmark* eksisting *base station* dengan cakupan radius 10 – 15 km. Pengolahan *trajectory* dilakukan dengan metode *Post Processing Kinematic (PPK)* antara *LiDAR* dengan *base station* yang direferensikan pada jaring kontrol geodesi, dengan elevasi tereferensi terhadap TTG. Proses pengolahan data meliputi *strip adjustment*, *filtering*, klasifikasi *ground* dan *non-ground*, sehingga diperoleh data akhir berupa *DTM* dan *Kontur*.

Ruas Jalan Tol Jambi – Rengat *Nominal Pulse Density (NPD)* dan *Nominal Pulse Spacing (NPS)* memiliki nilai *NPD* sebesar 71.993 pts/m² dan *NPS* 0,1189 m. Pada proses pengujian akurasi data *LiDAR* mengacu pada standar ketelitian peta dasar *BIG* didapatkan nilai *LE90* sebesar 0,192 m memenuhi toleransi peta skala 1:1000 sebesar 0,2 m. Pengujian data dengan mengacu standar *ASPRS*, didapatkan nilai *RMSE_Z* yang dihitung pada titik cek lokasi non-vegetasi sebesar 11,7 cm memenuhi toleransi interval kontur 1 meter sebesar 33,3 cm, sedangkan *RMSE_Z* pada lokasi vegetasi adalah 34,2 cm. Dapat disimpulkan data topografi yang dihasilkan telah memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1:1000 dengan interval kontur 1m. Dengan kecepatan akuisisi rerata harian 15,54km/hari, maka *UAV LiDAR* dapat dimanfaatkan untuk percepatan penyediaan data topografi skala besar pada tahap *readiness criteria* jalan tol.

Kata kunci : *ASPRS, Jalan Tol Trans Sumatera, LiDAR, Standar Ketelitian Peta Dasar BIG, UAV*

ABSTRACT

Indonesia government through Presidential Regulation No. 100 of 2014 and Presidential Regulation No. 117 of 2015 assign Utama Karya to undertake Trans Sumatera toll road along 2.789 km consists of 5 stage including funding, designing, construction operating and maintenance. To fulfil operational target in 2024, Utama Karya innovate with investing on *mini-LiDAR* to provide topographic base map data for *readiness criteria*. Data acquisition is done with *fixed wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Every mission mapped corridor width 200-400 m and length of $\pm 10-20$ km with reference base station radius of 10 – 15 km on existing benchmark. Trajectory processing is done with *post processing kinematic* between *LiDAR* to reference base station that reference to geodetic control network, and elevation data reference to TTG. Data processing consist of *strip adjustment*, *filtering*, *ground* and *non-ground* classification, with *DTM* and *contour* as the end result.

Jambi – Rengat toll road segment *Nominal Pulse Density (NPD)* and *Nominal Pulse Spacing (NPS)* values are *NPD* 71,993 pts/m² and *NPS* 0,1189 m. Accuracy measurement that refers to *BIG Base Map Accuracy*

Standard obtained LE90 of 0,192 m and meet the map scale accuracy of 0,2 m on map scale 1:1000 in class 1. Accuracy measurement using ASPRS standard obtained $RMSE_z$ on non-vegetated area 0,192 m and on vegetated area 0,562 m. Vertical Accuracy Class of ASPRS on class 33.3 cm or accurate enough for 1 m contour interval. From this result can be concluded that the topographic data has meet base map accuracy standard on map scale of 1:1000 for 1 m contour interval. With data acquisition speed of 15,54 km/day, UAV LiDAR can be used for acceleration on providing large scale topographic data for toll road readiness criteria.

Keywords : Trans Sumatera Toll Road, UAV, LIDAR, ASPRS, BIG Base Map Accuracy Standard

1. PENDAHULUAN

Pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 100 tahun 2014 serta Peraturan Presiden No. 117 Tahun 2015 memberikan penugasan kepada Hutama Karya untuk melaksanakan pengusahaan Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS) sepanjang 2.765 km yang terdiri dari 5 tahapan utama yaitu pendanaan, perencanaan, konstruksi, pengoperasian dan pemeliharaan. Dengan target operasional seluruh ruas Tol Trans Sumatera di tahun 2024, penyediaan data topografi skala besar diharapkan dapat terpenuhi pada akhir tahun 2021. Berdasarkan hal tersebut, dipilihlah metode akuisisi LiDAR dengan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yang diharapkan dapat memenuhi ketersediaan data terrain yang memenuhi kriteria peta topografi untuk interval kontur 1 m. Penggunaan metode terestrial konvensional dalam penyediaan data topografi skala besar di tahap readiness criteria tidak efisien secara waktu dan biaya, dikarenakan dalam proses tersebut memerlukan pergantian alinyemen trase jalan tol dengan pertimbangan desain geometrik yang tepat, perencanaan integrasi jalan tol dengan jaringan jalan eksisting, kondisi tutupan lahan, biaya konstruksi yang efisien serta faktor lainnya.

Penggunaan Fixed Wing V-TOL dinilai tepat dikarenakan sesuai dengan karakteristik data kebutuhan topografi untuk perencanaan jalan tol yaitu berupa koridor memanjang, dengan buffer terhadap centerline yang tidak terlalu lebar, yaitu sekitar 200-400 m dengan panjang koridor 10-20 km. Pada penelitian ini juga dikaji terkait seberapa cepat metode ini dibandingkan dengan akuisisi secara konvensional, tentunya dengan tidak mengesampingkan aspek utama berupa ketelitian data. Dengan ketelitian vertikal dari data topografi <20 cm dan tingkat kerapatan titik yang tinggi, diharapkan estimasi biaya untuk volume pekerjaan tanah seperti galian dan timbunan menjadi lebih detail, sehingga diharapkan biaya yang dikeluarkan pada saat proses pelaksanaan konstruksi tidak berbeda signifikan dengan biaya yang sudah dianggarkan. Selain itu dengan waktu akuisisi yang lebih singkat serta jumlah tim lapangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode terestrial konvensional dapat diperoleh efisiensi dari segi waktu dan juga biaya.

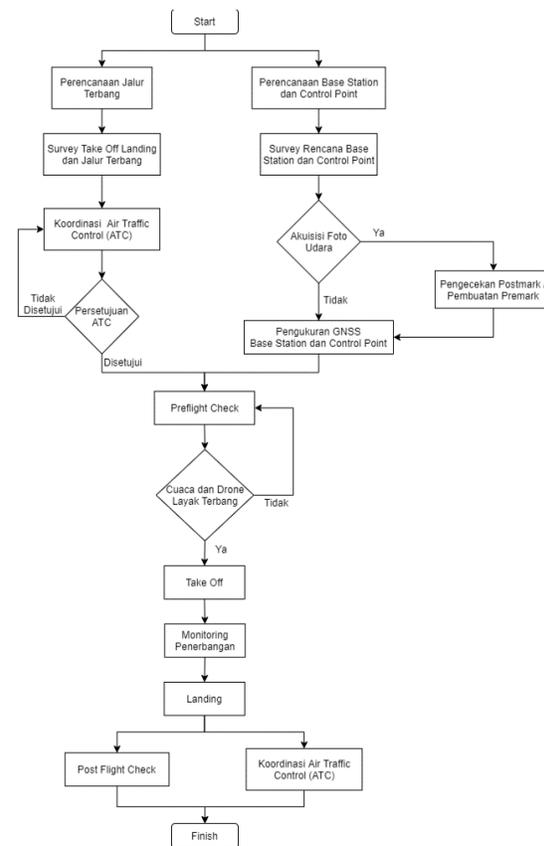
2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data UAV LiDAR dilakukan pada jalan tol ruas Jambi – Rengat dengan panjang total akuisisi 198,130 km

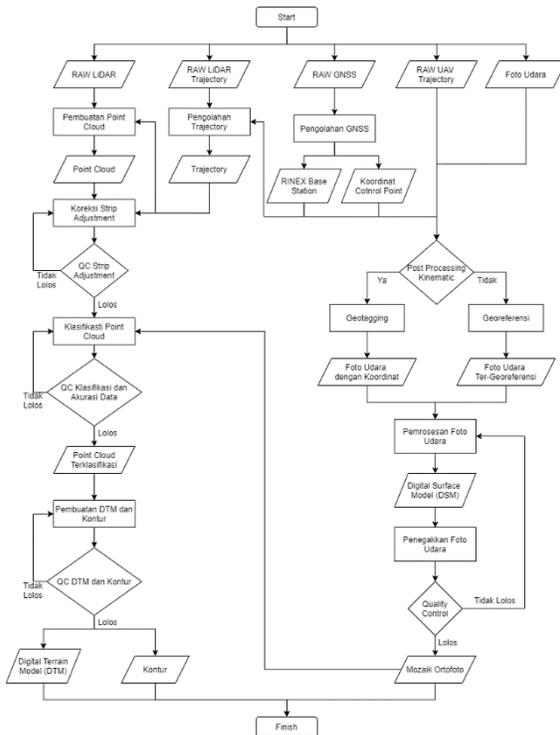
2.2 Diagram Alir

2.2.1 Diagram Alir Akuisisi



Gambar 1. Diagram alir akuisisi LiDAR

2.2.1 Diagram Alir Pengolahan



Gambar 2. Diagram alir pengolahan data

2.3 Akuisisi

Akuisisi UAV LiDAR dalam percepatan pemetaan koridor rencana Jalan Tol Trans Sumatera dilakukan pada tahapan akhir dari pekerjaan Basic Design yaitu Pra DED. Selain untuk mempercepat proses akuisisi data Topografi setelah diperoleh Trase Jalan Tol yang definitif dan minim pergeseran trase, hasil akuisisi LiDAR juga diperlukan untuk *updating* biaya Konstruksi sebagai estimasi Biaya pada PPJT. Akuisisi UAV LiDAR yang lebih cepat dilakukan dibandingkan dengan metode Terrestrial konvensional dipilih sebagai metode yang paling tepat untuk memperoleh data topografi.

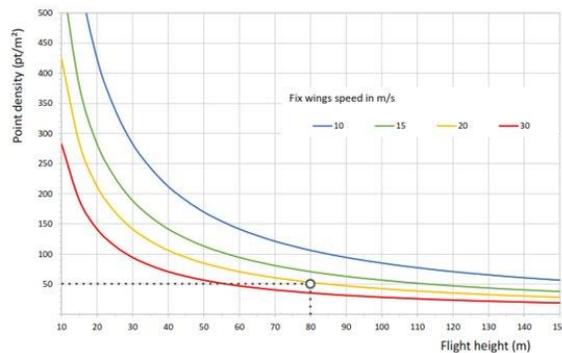
UAV memiliki berbagai klasifikasi, jika dilihat dari segi aerodinamisnya terdapat dua klasifikasi utama yaitu *fixed wing* dan *rotary wing* (Gonzalez-Jorge. dkk,2017). Hutama Karya memilih akuisisi LiDAR menggunakan wahana *fixed wing* berkemampuan *Vertical Take Off Landing* (V-TOL) yaitu Quantum Tron F90+, dikarenakan lokasi *Take Off/Landing* dengan area terbuka yang terbatas, *endurance* baterai hingga 90 menit serta kecepatan UAV yang mampu stabil pada kecepatan 20 m/s. Dengan kemampuan UAV tersebut, akuisisi yang dilakukan dapat menjangkau 10-20 km dengan lebar koridor 200 m – 400 m dalam 1 *flight*.

TECHNICAL DATA	
Max. Take-off Weight	13 kg (28.7 lbs)
Max. Flight Time Tron60/Tron90*	60 min / 90 min*
Max. Range = Area	90 km = 700 ha (56 mi = 2.7 sq. mi)
Maximum flight altitude (MSL)	2500 m (8202 ft)*
Command and Control Range	2 km (1.24 mi)
Payload	2 kg (4.4 lbs)
Optimal Cruise Speed	18 m/s (65 km/h or 35 kn)
Wind Resistance (ground)	6.5 m/s (12.6 kn)
Wind Resistance (cruise)	12 m/s (23.3 kn)
Battery Capacity	24 AH (2 X 12 AH)
RC transmitter frequency	2.4 GHz
Flight data link (Tron - QBase) frequency	433 MHz/915 MHz
Flight data link (Tron - QBase) power	max. 100 mW*
Operating temperature range	0 °C to 35°C (32 °F to 95 °F)
Wingspan	3.5m (11.48 ft)
Transport Case Dimension	1775 x 325 x 428 mm (70x13x17 inch)

Tabel 1. Spesifikasi UAV fixed wing quantum Tron F90+ (Quantum Systems)

Sebagai *sensor*nya, UAV memerlukan *sensor* LiDAR yang ringan namun tetap memiliki ketelitian dan kemampuan perekaman yang baik. Perangkat LiDAR memiliki 4 komponen utama yaitu *Global Navigation Satellite System* (GNSS), *Inertial Sensors* (IMU), *Sensor* LiDAR, dan Sistem Integrasi ketiga komponen (Fernandez, A., dkk., 2012). Perangkat LiDAR yang digunakan adalah Yellowscan Surveyor Ultra yang menggunakan *Sensor* Velodyne VLP-32, dengan spesifikasi sesuai Gambar 2. Untuk tinggi terbang yang optimal dengan spesifikasi UAV fixed wing dan sistem lidar yang kami miliki yaitu pada ketinggian 80 m *Above Ground Level* (AGL).

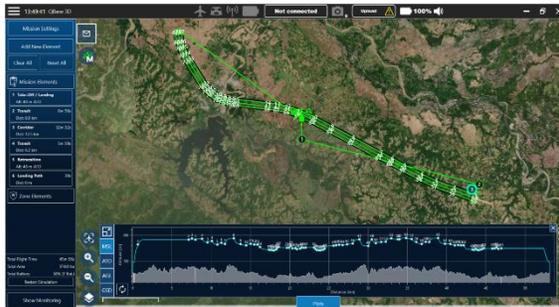
Scanner	Velodyne VLP-32
Wavelength	903 nm
Precision ⁽¹⁾ (10)	10 cm
Accuracy ⁽²⁾ (10)	5 cm
Scanner field of view	360°
Shots per second	600k
Echoes per shot	Up to 2
GNSS-Inertial solution	Applanix APX-15 UAV



Gambar 3. Spesifikasi perangkat LiDAR Yellowscan Ultra (Yellowscan)

Faktor untuk menghasilkan data topografi yang teliti adalah pada penyusunan jalur terbang. Penyusunan jalur terbang menjadi kunci untuk mengendalikan UAV secara otomatis dapat

melewati *terrain* yang variatif (*terrain following*), tentunya dengan mempertimbangkan limitasi *sensor* LiDAR untuk melakukan akuisisi pada 80 m AGL. Penyusunan jalur terbang meliputi perencanaan lokasi *take off*, input prediksi arah angin ketika *take off*, perencanaan arah terbang UAV saat *take off*, perencanaan arah dan jalur transisi yang aman untuk UAV melakukan *cruising* mencapai *altitude* akuisisi, *line* koridor akuisisi, transisi antar *Line*, sampai lokasi *landing* dan lokasi *loiter* untuk UAV berputar guna menurunkan ketinggian ke ketinggian retransisi di 40 m, sesuai pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Perencanaan terbang UAV

Selain itu, dikarenakan proses pengendalian UAV dilakukan secara *Beyond Visual Line of Sight* (BVLOS), dikarenakan jangkauan antena antara *Control Station* dan UAV yang terbatas, dilakukan proses perencanaan *emergency landing* dengan mengatur batas waktu tertentu jika UAV tidak terlacak pada *control station*. Penyusunan jalur terbang juga menentukan ketelitian data, dikarenakan koridor utama akuisisi harus disesuaikan dengan radius *coverage* GNSS *base station* yang dilakukan secara *Post Processing Kinematic* (PPK). Sesuai dengan hal tersebut koridor akuisisi berada pada radius 15 km dari *base station*, agar diperoleh data posisi yang optimal saat dilakukan proses pengolahan *trajectory*.



Gambar 5. Perangkaian UAV LiDAR

2.4 Pengolahan

Pengolahan awal dari hasil akuisisi lapangan UAV LiDAR merupakan pengolahan GNSS. Pengolahan GNSS berupa pengikatan hasil pengukuran ICP ke base station. Base station didirikan pada BM lapangan yang telah terikat horizontal dan vertikalnya terhadap JKH dan JKV BIG melalui pengukuran GNSS dan sipat datar. Data base station yang telah diolah kemudian dikonversi kedalam format *rinex* untuk kemudian diolah pada tahap *trajectory processing*.

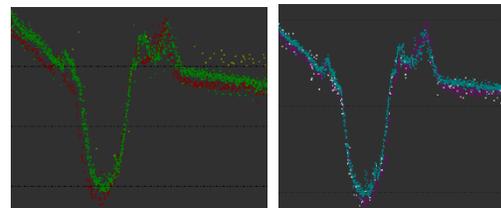


Gambar 6. Pengukuran base station

Tahap selanjutnya merupakan *trajectory processing*. Pada tahap ini dilakukan proses koreksi data GNSS dan juga IMU sistem lidar dengan data base station menggunakan metode *post processing kinematic*. Pada tahap ini akan dihasilkan data *trajectory* yang telah dikoreksi dalam format *OUT* dan *SBET*.

Trajectory yang telah dilakukan koreksi kemudian digunakan dalam proses pembuatan *point cloud LAS* agar *point cloud* yang dihasilkan memiliki elevasi sesuai dengan lapangan.

Point cloud kemudian diklasifikasi *ground* pada setiap jalur terbangnya. Hasil klasifikasi tersebut kemudian diproses dengan metode *tie lines* serta *find match* untuk koreksi *strip adjustment*.



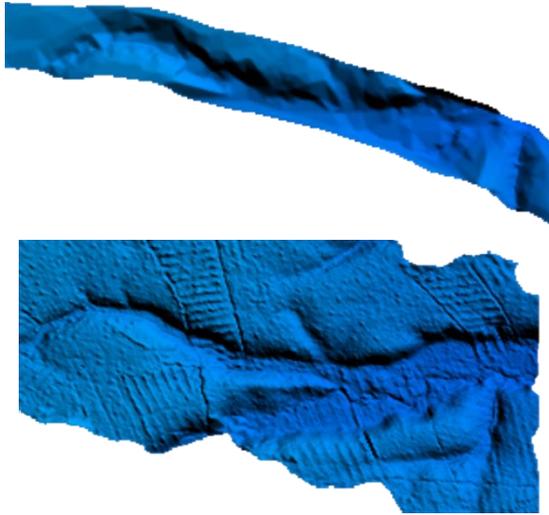
Gambar 7. Sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) proses *Strip Adjustment*

Setelah dilakukan koreksi strip adjustment kemudian dilakukan klasifikasi ground kembali. Klasifikasi otomatis tersebut kemudian dicek kembali secara manual untuk memperbaiki jika ditemui adanya misklasifikasi. Hasil kelas ground tersebut kemudian digunakan dalam pembuatan data DTM dan kontur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Point Density

Tingkat kerapatan diukur berdasarkan jarak antar titik dan jumlah titik dalam suatu luasan. Jarak antar titik dalam point cloud yaitu Nominal Pulse Spacing dan jumlah titik dalam suatu luasan yaitu Nominal Pulse Density. Dengan menggunakan kombinasi uav dan sistem lidar memakai pengaturan penerbangan dengan ketinggian 80 meter dan kecepatan terbang 20 m/s pada akuisisi UAV LiDAR yang dilakukandapat menghasilkan Nominal Pulse Density sebesar 71,99 titik/m² serta Nominal Pulse Spacing sebesar 11,8 cm. Setelah dilakukan proses klasifikasi kelas ground, DTM yang diperoleh memiliki density yang lebih baik dibandingkan dengan pengukuran terrestrial pada skala 1:1000, sehingga menghasilkan DTM yang lebih detail.



Gambar 8. DTM terrestrial (atas) dan DTM LiDAR (bawah)

3.2 Akurasi

Akurasi dari data lidar diuji berdasarkan standar ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Edition, Version 1 – November, 2014 serta PERKA BIG No.6 tahun 2018 Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Akurasi vertikal absolute untuk ASPRS diuji berdasarkan hasil RMSE pada area non vegetasi dengan toleransi RMSE pada peta interval kontur 1 meter sebesar 33.3 cm, dengan akurasi pada area vegetasi merupakan akurasi tambahan.

Vertical Accuracy Class	RMSE _v Non-Vegetated (cm)	Equivalent Class 1 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent contour interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55
66.7-cm	66.7	200.1	100.1	219.43
100-cm	100.0	300.0	150.0	328.98
333.3-cm	333.3	999.9	500.0	1096.49

Tabel 2. Kelas akurasi vertikal ASPRS (ASPRS,2014)

Berdasarkan pengujian menggunakan 139 titik ICP dan BM yang berada pada area terbuka non vegetasi dilapangan diperoleh RMSE sebesar 11,7 cm, hasil tersebut memenuhi standar peta interval kontur 1 meter yang disyaratkan ASPRS. RMSE pada area vegetasi diuji dengan menggunakan data pengukuran terrestrial sebanyak 4.297 titik diperoleh hasil RMSE sebesar 34.2 cm.

Ketelitian vertikal untuk standar BIG diuji berdasarkan nilai ketelitian LE90 dengan toleransi sebesar 20 cm pada peta dengan skala 1:1000. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada titik tanpa vegetasi diperoleh ketelitian LE90 sebesar 19.2 cm, hasil tersebut memenuhi toleransi vertikal peta skala 1:1000 yang disyaratkan BIG. Untuk LE90 pada area vegetasi diperoleh hasil sebesar 56.2 cm.

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900,0	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450,0	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225,0	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90,0	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45,0	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9,0	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Tabel 3. Kelas ketelitian peta RBI (BIG,2018)

3.3 Waktu dan Biaya

Dengan menggunakan teknologi UAV LiDAR pengukuran topografi dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan dengan pengukuran terrestrial. UAV

LiDAR dapat mengakuisisi data sepanjang ± 15.54 km/hari yang dilakukan oleh 1 tim sementara dengan pengukuran terestrial hanya dapat melakukan akuisisi data ± 6.4 km/hari yang dilakukan oleh 10 tim. Penggunaan teknologi LiDAR dapat menghemat waktu pengukuran hingga 33%.

Dari segi biaya perbandingan antara biaya operasional 1 tim serta 10 tim serta waktu akuisisi yang lebih cepat dapat menghemat biaya operasional lapangan hingga 33%

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan akuisisi, pengolahan serta pengujian data UAV lidar untuk percepatan penyediaan data topografi skala besar pada tahap readiness criteria Jalan Tol Trans Sumatera yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Penggunaan data UAV LiDAR memiliki DTM yang lebih detail dibandingkan dengan pengukuran terestrial pada skala 1:1000. Data yang lebih detail tersebut dapat mengoptimalkan perhitungan volume pekerjaan tanah (galian dan timbunan) sehingga tidak jauh berbeda saat proses konstruksi dimulai
- Hasil pengujian akurasi vertikal yang dilakukan terhadap data LiDAR berdasarkan standar ASPRS serta standar BIG memenuhi toleransi peta kontur interval 1 meter serta ketelitian LE90 peta skala 1:1000
- Akuisisi UAV LiDAR dibandingkan dengan pengukuran terestrial lebih efisien dari segi biaya serta waktu.

4.2 Saran

UAV LiDAR merupakan teknologi yang masih terus berkembang kedepannya. Sejalan dengan perkembangan tersebut, kualitas dari data LiDAR tersebut masih perlu ditingkatkan untuk dapat mencapai ketelitian dan kedetailan dari data topografi pada skala yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Iwan Hermawan selaku EVP Divisi Perencanaan Jalan Tol PT Hutama Karya (Persero)
2. Bapak Agung Fajarwanto selaku Executive Vice President Divisi Pembangunan Jalan Tol

3. Bapak Idwan Suhendra selaku Staff Ahli Perencanaan dan Engineering Div. Perencanaan Jalan Tol
4. Bapak Dhono Nugroho selaku VP Perencanaan dan Engineering
5. Bapak Marthen Robert Singal Project Director Jalan Tol Padang – Sicincin
6. Tim Geodetik Divisi Perencanaan Jalan Tol PT Hutama Karya (Persero)
7. Serta pihak-pihak yang turut membantu dalam proses perencanaan, akuisisi, dan pengolahan data yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2014). Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Edition, Version 1 – November, 2014
- Badan Informasi Geospasial (2014). Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Badan Informasi Geospasial (2018). Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Fernandez, A. (2012) GNSS/INS/LiDAR integration in urban environment: Algorithm description and results from ATENEA test campaign. 2012 6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies (Navitec 2012) & European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing. Noordwijk.
- González-Jorge, H.; Martínez-Sánchez, J.; Bueno, M.; Arias, A.P. Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones* 2017, 1, 2.
- Mukti, F., Harintaka, dan Djusrdjani. (2018). Evaluasi Hasil Intefrasi Berbagai Ketelitian Data Model Elevasi Digital. *Teknik Geomatika*
- Quantum Systems GmbH. Tron F90+ Quantum Systems, diakses 21 Oktober 2020 dari <https://www.quantum-systems.com/project/tron-f90/>
- Yellowscan. Yellowscan Surveyor Ultra Datasheet, diunduh 19 Juni 2020 dari <https://www.yellowscan-lidar.com/products/surveyor-ultra/>