



Received 00th January 20xx

Accepted 00th February 20xx

Published 00th March 20xx

Open Access

DOI: 10.35472/x0xx0000

# Analisis Perbandingan Ketelitian Vertikal DTM (*Digital Terrain Model*) dari Foto Udara dan LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (Wilayah Studi: Sungai Gelam Timur Jambi)

Diyana Putri Latifa<sup>\*a</sup>, Dr. Rian Nurtyawan, S.T., M.T.<sup>a</sup>, M. Ulin Nuha, S.T., M. Eng.<sup>a</sup><sup>a</sup> Institut Teknologi Sumatera<sup>\*</sup>Corresponding E-mail: [diyan.23117094@student.itera.ac.id](mailto:diyan.23117094@student.itera.ac.id)

**Abstract:** The development of modern technology make need for geospatial information more increase. Geospatial information becomes one of the bases for decision making related to evaluation of a field. the field evaluated include making topographic maps. Making a topographic maps requires elements of contour lines. Contour lines can be made by doing DTM (*Digital Terrain Model*) extraction. DTM can be created from several data sources. LiDAR (*Light Detection and Ranging*) and aerial photos data sources were applied to obtain DTM to create detailed contours faster than terrestrial mapping. The research that has been done DTM from aerial photography with PPK (*Post Processing Kinematic*) UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) technology and DTM from LiDAR with handhelds LiDAR technology. Both DTM's are generated from filtering of point cloud from image matching photos and point cloud from \*Las LiDAR. Then, the results of DTM were analyzed for accuracy test based on SNI 8202 : 2019 and ASPRS 2014. Based on the accuracy test, the result of LE90 and LE95 DTM from aerial photographs is 1,23 m and 1,46 m while the result of LE90 and LE95 DTM from LiDAR is 0,22 m and 0,26 m. DTM from Aerial photo produces a map scale of 1: 5.000 class 2 according to SNI 8202: 2019 and a scale of 1: 5.000 according to ASPRS 2014. DTM from LiDAR produces scale of 1: 1.000 class 2 according to SNI 8202: 2019 and a scale of 1: 1.000 according to ASPRS 2014.

**Keywords:** Aerial Photo, LiDAR, DTM, Contour Line, Accuracy.

**Abstrak:** Perkembangan teknologi yang semakin modern membuat kebutuhan informasi geospasial semakin meningkat. Informasi geospasial menjadi salah satu landasan pengambilan keputusan terkait evaluasi bidang. Bidang yang dilakukan evaluasi meliputi pembuatan peta topografi. Pembuatan peta topografi memerlukan unsur berupa garis kontur. Garis kontur dapat diperoleh dengan cara melakukan ekstraksi DTM (*Digital Terrain Model*). DTM dapat diperoleh dari beberapa sumber data. Sumber data LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan foto udara diterapkan dalam memperoleh DTM untuk membuat kontur secara detail dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan pemetaan terestris. Penelitian yang dilakukan memanfaatkan DTM dari foto udara dengan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) PPK (*Post Processing Kinematic*) dan DTM dari LiDAR dengan teknologi handheld LiDAR. Kedua DTM dihasilkan dari *filtering* terhadap *point clouds* hasil *image matching* foto dan *point clouds* Las LiDAR. Hasil DTM kemudian dilakukan analisis uji akurasi menurut SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Berdasarkan analisis uji akurasi, hasil LE90 dan LE95 DTM dari foto udara sebesar 1,23 m dan 1,46 m sedangkan hasil LE90 dan LE95 DTM dari LiDAR sebesar 0,22 m dan 0,26 m sedangkan. DTM dari foto udara menghasilkan skala peta 1: 5.000 kelas 2 menurut SNI 8202:2019 dan skala 1: 5.000 menurut ASPRS Tahun 2014. DTM dari LiDAR menghasilkan skala peta 1: 1.000 kelas 2 menurut SNI 8202:2019 dan skala 1: 1.000 menurut ASPRS Tahun 2014.

**Kata Kunci:** Foto Udara, LiDAR, DTM, Garis Kontur, Akurasi.

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin modern membuat kebutuhan informasi geospasial semakin meningkat [1]. Informasi geospasial menjadi salah satu landasan pengambilan keputusan terkait perencanaan, pengelolaan,

maupun evaluasi suatu bidang. Bidang yang dilakukan evaluasi meliputi bidang pengukuran dan pembuatan peta topografi [2]. Peta topografi merupakan peta yang menyajikan objek-objek dipermukaan bumi dengan ketinggian yang dihitung dari permukaan air laut. Peta topografi digambarkan dengan ukuran planimetrik dan relief. Ukuran planimetrik berupa koordinat X dan Y,

sedangkan ukuran relief berupa koordinat Z. Peta topografi memerlukan unsur berupa garis kontur. Garis kontur menggambarkan nilai elevasi pada peta topografi. garis kontur menghubungkan titik – titik yang memiliki ketinggian yang sama di permukaan bumi. Garis kontur dapat dibuat dengan menggunakan beberapa metode. Metode pembuatan garis kontur yang umum digunakan adalah pemetaan terestris<sup>[3]</sup>.

Pemetaan terestris menghasilkan akurasi tinggi tetapi memerlukan biaya yang besar dan waktu yang relatif lama<sup>[4]</sup>. Pertimbangan tersebut menyebabkan tidak bisa terpenuhinya permintaan informasi geospasial skala besar yang semakin meningkat. Saat ini, teknologi LiDAR dan foto udara telah mampu mengembangkan produk pemetaan yang dapat memproduksi DTM untuk membuat kontur secara detail dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan pemetaan terestris<sup>[5]</sup>. Produk pemetaan tersebut berupa handheld LiDAR dan UAV PPK. *Handheld* LiDAR merupakan alat pemindai berbasis SLAM genggam yang dapat mencapai kombinasi yang tepat dari segi kecepatan, biaya, dan kemudahan penggunaan. *Handheld* LiDAR memungkinkan untuk akuisisi data dengan 1/10 biaya dan 1/8 waktu dari metode pemetaan terestris<sup>[6]</sup>. UAV PPK merupakan wahana udara tanpa awak yang dilengkapi dengan GNSS onboard untuk mengumpulkan data dari satelit selama proses penerbangan berlangsung. Keuntungan dari UAV PPK ini adalah melakukan pemetaan udara dengan tidak memerlukan penempatan GCP. Sehingga, dapat dijadikan solusi untuk mempercepat akuisisi data foto udara dan meminimalisir biaya yang dikeluarkan<sup>[7]</sup>.

Melihat kemampuan dari handheld LiDAR dan UAV PPK yang mampu mengatasi kendala dari pemetaan terestris, membuat teknologi LiDAR dan foto udara semakin banyak diminati masyarakat. Namun sebagai teknologi yang baru, ketelitian yang dihasilkan oleh handheld LiDAR dan UAV PPK belum banyak diketahui. Penelitian ini dilakukan analisis akurasi ketelitian vertikal DTM yang dihasilkan dari foto udara dengan UAV PPK dan DTM dari LiDAR dengan handheld LiDAR berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. DTM ini perlu diketahui sejauh mana keakuratannya dalam merepresentasikan permukaan bumi agar penggunaan DTM dapat dipertanggungjawabkan ketelitiannya<sup>[8]</sup>. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi DTM foto udara dan LiDAR terhadap data koordinat terestris yang dianggap benar/teliti. Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dalam pengambilan keputusan terkait metode efektif untuk

mengurangi waktu dan biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan kontur namun data yang dihasilkan tetap terkontrol.

## I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membandingkan ketelitian vertikal DTM dari foto udara dan LiDAR. Untuk mencapai tujuan penelitian tersebut disusun tujuan spesifik sebagai berikut:

1. Menghitung ketelitian vertikal DTM dari foto udara dan LiDAR
2. Mengklasifikasikan ketelitian vertikal DTM dari foto udara dan LiDAR berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014

## I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian berada di Sungai Gelam Timur Provinsi Jambi. Wilayah dipilih dikarenakan merupakan lokasi rencana pemboran sumur eksplorasi PT. Pertamina (Persero).
2. Metode yang digunakan dalam pembuatan garis kontur dengan teknologi UAV adalah metode PPK. Titik kontrol tanah yang digunakan adalah hasil pengamatan GNSS yang diukur langsung di lapangan.
3. Metode yang digunakan dalam pembuatan garis kontur dengan teknologi UAV adalah metode PPK. Titik kontrol tanah yang digunakan adalah hasil pengamatan GNSS yang diukur langsung di lapangan.

## I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ditinjau dari aspek keilmuan adalah data DTM hasil dari foto udara dan LiDAR yang telah diuji akurasi berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014 dapat dipertanggungjawabkan ketelitiannya. Selain itu, ditinjau dari aspek teknis, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif terkait metode efektif yang digunakan dalam pembuatan peta topografi.

## II. Metode

### II.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan bekerjasama dengan PT. Pertamina (Persero). Penelitian ini dilakukan di

Kecamatan Sungai Gelam Timur Kabupaten Muaro Jambi Provinsi Jambi dengan koordinat geografis 1° 43' 11,267" LS - 1° 43' 24,345" LS dan 103° 47' 36,846" BT - 103° 47' 49,835" BT. Kawasan tersebut merupakan kawasan milik PT. Pertamina EP Asset-1. Lokasi dipilih karena merupakan rencana lokasi pemboran sumur eksplorasi SGET-001 milik PT. Pertamina (Persero). Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Screenshot Citra Google Earth di Provinsi Jambi

Secara topografis wilayah penelitian terletak di daerah yang relatif datar. Akses menuju ke lokasi berupa jalan batu dan tanah. Jenis penutup lahan wilayah penelitian berupa area perkebunan sawit yang dimiliki oleh PT. Petaling Mandraguna dan perkebunan karet yang dimiliki oleh Bapak Jumikan Warga RT.15 Desa Sungai Gelam. Luas wilayah penelitian mencakup ± 16 ha.

## II.2 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian digunakan untuk membantu proses data penelitian menjadi DTM agar dapat dilakukan uji akurasi dan dianalisis perbandingan ketelitian vertikal dari kedua DTM yang dihasilkan. Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari perangkat keras/hardware dan perangkat lunak/software.

1. Perangkat keras yang digunakan antara lain :
  - a. Handheld LiDAR untuk pengukuran LiDAR di lapangan.
  - b. Drone yang dilengkapi dengan kamera dan PPK untuk pemetaan foto udara.
  - c. GNSS geodetik untuk penentuan posisi titik koordinat sekutu dalam pemetaan foto udara dan LiDAR.
  - d. Laptop spesifikasi tinggi untuk pengolahan data foto udara dan LiDAR.

2. Perangkat lunak yang digunakan antara lain :
  - a. ArcGis untuk pembuatan desain persebaran titik kontrol tanah pada pemetaan LiDAR.
  - b. Trimble Business Center untuk pengolahan data GNSS.
  - c. Drone Deploy untuk mengontrol drone saat pemotretan udara.
  - d. KLAU PPK untuk melakukan proses geotaging foto dengan koordinat PPK.
  - e. Agisoft Metashape untuk pengolahan data foto udara.
  - f. Cloud Compare untuk melakukan pengolahan data LiDAR.
  - g. Global Mapper untuk pembuatan profil dari DTM foto udara dan LiDAR.

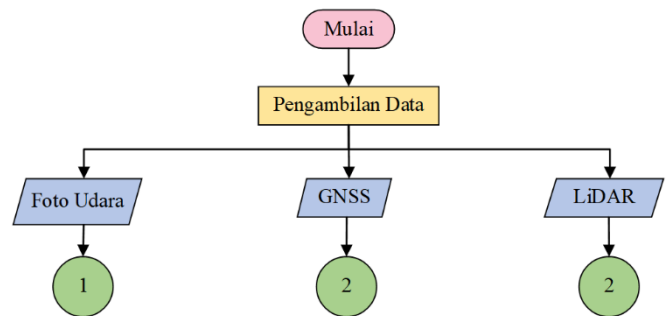
## II.3 Bahan Penelitian

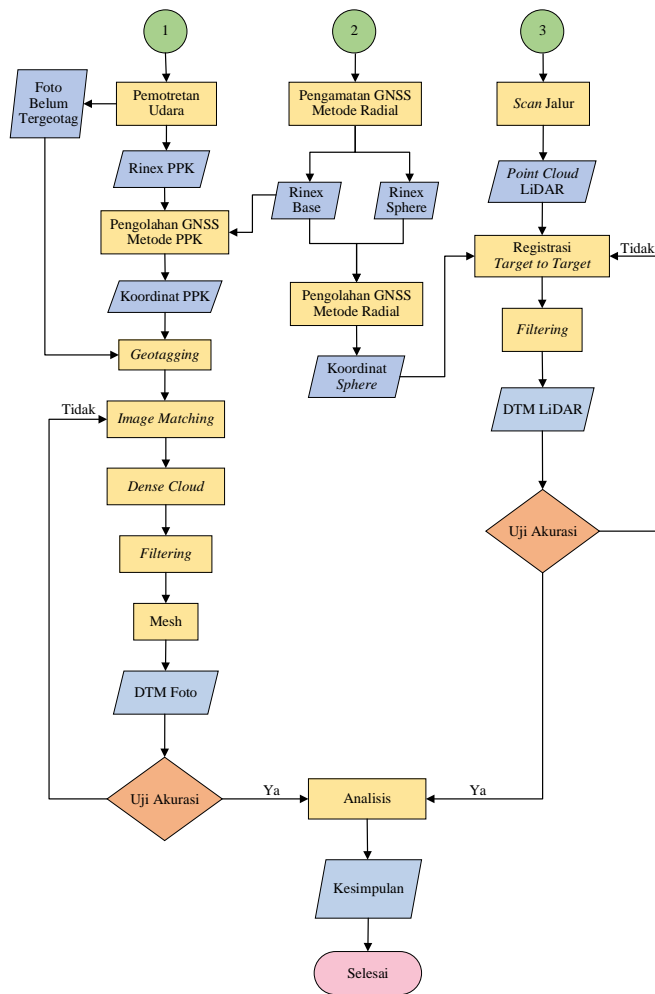
Bahan yang direncanakan untuk digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data Dasar (Koordinat BM PTM 6028) milik PT. Pertamina EP Asset 1 sebagai koordinat referensi yang digunakan dalam penelitian.
2. Data DTM dari foto udara dengan area liputan Sungai Gelam Timur Jambi.
3. Data DTM dari LiDAR dengan area liputan Sungai Gelam Timur Jambi.
4. Data hasil pengamatan GNSS terhadap *sphere* yang digunakan sebagai titik kontrol tanah dalam pemetaan foto udara dan LiDAR.
5. Data koordinat dari pemetaan terestris dengan area liputan Sungai Gelam Timur Jambi yang didapat dari PT. Pertamina (Persero) sebagai data acuan yang dianggap paling teliti.

## II.4 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini secara keseluruhan tersaji dalam diagram alir pengolahan data pada Gambar III.2.





Gambar III.2 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di wilayah milik PT. Pertamina EP Asset 1. Tahapan penelitian ini terdiri tiga tahap yaitu tahapan pengambilan data lapangan, tahap pengolahan data, dan tahap analisis ketelitian vertikal DTM (*Digital Terrain Model*) dari foto udara dan LiDAR.

#### II.4.1 Pengolahan Data GNSS

Tahap pengolahan data GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan tahap awal yang dibutuhkan dalam pengolahan data foto udara dan LiDAR. Foto udara membutuhkan data koordinat *base PPK* (*Post Processing Kinematic*) yang digunakan sebagai titik kontrol udara dalam pemetaan udara. LiDAR (*Light Detection and Ranging*) membutuhkan data koordinat titik target (*Sphere*) sebagai titik referensi dalam pemetaan LiDAR. Pengolahan data *base PPK* dan *sphere* diawali dengan mengunduh raw data hasil pengamatan GNSS dalam format *rinex*. Data *rinex* tersebut kemudian diolah menggunakan *software* Trimble Bussiness

Center versi 3.5 untuk data pengamatan statik. Trimble Bussiness Center adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data secara *post processing*, analisa jaringan dan perataan yang dikeluarkan oleh salah satu perusahaan alat pengukuran Trimble Bussiness Center. Pengolahan data pengamatan GNSS dengan Trimble Bussiness Center dilaksanakan melalui 5 tahapan pengolahan, yaitu *setting job*, *import file*, *data selection*, *setting control dan antenna*, serta *GNSS Post Processing*. Pengolahan data GNSS memerlukan beberapa parameter untuk dimasukkan yakni data tipe antena, tinggi antena dan jenis receiver sesuai dengan pengukuran di lapangan. Perlu dimasukkan juga data *rinex base* yang telah diketahui sebelumnya yakni data BM (*Bench Marck*) PTM 6028 milik PT. Pertamina EP Asset 1. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GNSS dengan Trimble Bussiness Center berupa koordinat dan standar deviasi beserta *baseline*.

#### II.4.2 Pengolahan Data Foto Udara

Tahap pengolahan data foto udara dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape dengan jumlah data foto udara sebanyak 633 foto. Tahap pertama dalam pengolahan data foto udara adalah proses *image matching*. *Image matching* merupakan sebuah proses yang digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik yang muncul pada foto. Proses yang menggabungkan *matching point* lebih dari 2 foto ini, bertujuan untuk menampilkan foto udara berdasarkan akuisisi dan tipe pertampalannya serta menghasilkan *sparse point clouds* yang diperlukan dalam tahap pengolahan foto berikutnya. adalah pemetaan terestris [3].

Tahap kedua adalah proses pembuatan dense cloud. Dense Cloud merupakan kumpulan titik tinggi dengan jumlah yang sangat banyak dari pemrosesan foto udara [9]. Hasil pemrosesan build dense cloud dijadikan dasar dalam proses build mesh. Tahap ketiga adalah proses pembuatan mesh. Proses ini merupakan proses membangun model 3D dari foto yang dihasilkan. Tahap terakhir adalah melakukan proses *filtering*. Data foto udara hasil proses awal yang berupa *point clouds* belum terklasifikasikan, sehingga perlu dilakukan proses *filtering point clouds* agar dihasilkan kelas *ground* untuk dijadikan DTM (*Digital Terrain Model*) [10]. Tabel III.1 menunjukkan parameter yang digunakan pada saat proses *filtering ground* pada pengolahan data foto udara.

Tabel III.1 Parameter *Filtering Ground* pada Pengolahan Data Foto Udara

Parameter	Nilai
<i>Max Angle</i>	15°
<i>Max Distance</i>	3 m
<i>Cell Size</i>	100 m



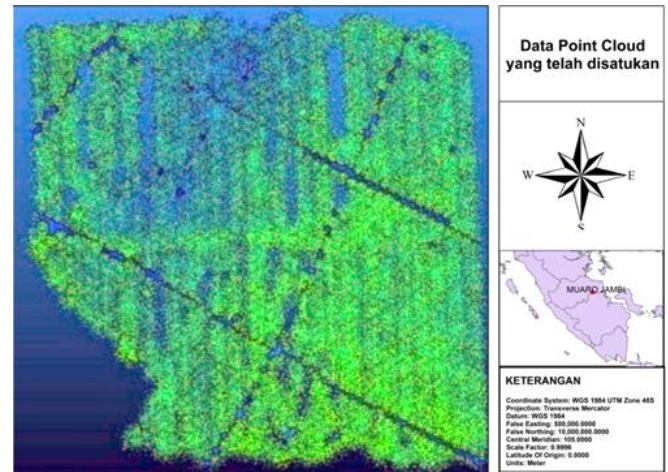
Tabel III.1 menunjukkan parameter yang digunakan menghapus semua objek diatas permukaan tanah dan menyisakan hanya kelas *ground* untuk selanjutnya dijadikan sebuah DTM. Proses *filtering* ini dilakukan secara otomatis. Parameter yang digunakan dalam *filtering* data foto udara ini meliputi max angle yang merupakan batasan sudut antara model medan dan garis yang menghubungkan suatu titik pada objek yang terletak di wilayah penelitian. Max angle yang digunakan di dalam penelitian ini bernilai 15°, hal ini dikarenakan wilayah penelitian terdiri dari topografi yang datar sehingga disarankan untuk menggunakan nilai *max angle* sebesar 15°. Parameter kedua merupakan *max distance* yang merupakan asumsi variasi maksimum dari ketinggian tanah daerah penelitian. *Max distance* bisa disebut dengan batasan jarak antar suatu titik dengan model medan. Parameter selanjutnya adalah *cell size* yang merupakan ukuran terbesar dari area penelitian. Ukuran tersebut didefinisikan dalam bentuk ukuran sel. Seluruh parameter yang digunakan pada saat proses *filtering* disesuaikan dengan kondisi topografi wilayah penelitian.

#### II.4.3 Pengolahan Data LiDAR

Tahap pengolahan data LiDAR (*Light Detection and Ranging*) diawali dengan melakukan proses pengunduhan data dari handheld LiDAR, data yang diunduh berupa data *point clouds*. Selanjutnya data yang telah diunduh dikonversi menggunakan software GeoSLAM untuk selanjutnya diubah kedalam format .Las agar dapat terbaca dan diolah dengan software lain. Setelah data berhasil dikonversi kedalam format .Las, pengolahan data LiDAR dilanjutkan dengan menggunakan perangkat lunak cloud compare. Tahap pertama yang dilakukan dalam proses pengolahan data dengan menggunakan software cloud compare adalah registrasi. Registrasi dimulai dengan melakukan identifikasi titik target lalu memasukkan koordinat global dari titik target yang dihasilkan dari pengamatan GNSS (*Global Navigation Satellite System*) terhadap *sphere*. Hal ini dilakukan untuk mentransformasi koordinat target (*Sphere*) dari sistem koordinat lokal ke sistem koordinat global. Metode registrasi yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah metode registrasi target to target. Pemilihan tersebut dikarenakan metode registrasi target to target adalah metode yang paling baik secara kualitas [11]. Prinsip registrasi adalah iterasi dengan mendekatkan titik-titik yang dianggap sama pada kedua *point clouds* secara berulang. Proses registrasi diperlukan minimal 3 buah target yang diketahui koordinat tiga dimensinya [12].

Penelitian ini menggunakan 4 buah target. 1 buah target digunakan sebagai ukuran lebih. Dengan ukuran lebih tersebut, target yang memiliki nilai galat registrasi melebihi batas toleransi dapat dihilangkan atau dinonaktifkan. Setelah

proses registrasi selesai, dilakukan proses penyatuan keseluruhan hasil scan yang sebelumnya telah di registrasi. Gambar III.3 menunjukkan data point cloud yang telah dilakukan disatukan.



Gambar III.3 Data Point Cloud LiDAR yang telah disatukan

Selanjutnya setelah seluruh data *point cloud* berhasil disatukan maka dilakukan proses proses *filtering*. Proses *filtering* dilakukan untuk menyisakan titik dengan posisi vertikal paling rendah dan melakukan penyeragaman jarak antar titik sehingga menyebabkan pengurangan titik yang cukup. Parameter yang digunakan dalam proses *filtering* kelas *ground* pada pengolahan data LiDAR ditunjukkan pada Tabel III.2.

Tabel III.2 Parameter *Filtering Ground* pada Pengolahan Data LiDAR

Parameter	Nilai
<i>Scenes</i>	Relief
<i>Cloth Resolutions</i>	2,0
<i>Max Iterations</i>	500
<i>Classification Threshold</i>	0,5

Proses *filtering* pada pengolahan data LiDAR dilakukan secara otomatis dengan menggunakan parameter kelas *ground* didasarkan yang pada kondisi wilayah penelitian. Proses *filtering* dilakukan dengan menghapus semua objek diatas permukaan tanah dan menyisakan hanya kelas *ground* untuk selanjutnya dijadikan sebuah DTM dari LiDAR [13]. Jenis *filtering* yang digunakan pada pengolahan data LiDAR menggunakan jenis *filtering* CSF (*Cloth Simulation Filtering*). Parameter *filtering* dengan metode CSF terdapat 2 bagian yaitu bagian *general* parameter dan *advanced* parameter setting. Bagian *general* parameter setting terdiri dari pilihan *steep slope*, *relief* dan *flat*. Pemilihan parameter ini didasarkan pada keadaan topografi dari data yang akan diproses. Pada bagian *advanced* parameter setting terdiri dari

bagian cloth resolution, max iterations dan classification threshold. cloth resolution mengacu pada ukuran grid dari cloth yang digunakan untuk menutupi tanah. Semakin besar resolusi cloth maka DTM akan semakin kasar. Max iterations mengacu pada pengulangan maksimum dari simulasi terrain. Classification threshold mengacu pada ambang batas untuk mengklasifikasikan *point clouds* ke dalam *ground* dan *non-ground* berdasarkan jarak antara titik dan simulasi terrain.

**II.4.4 Uji Akurasi**

Tahap ini dilakukan pengujian akurasi ketelitian vertikal DTM foto udara dan LiDAR yang mengacu pada ketentuan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Pengujian akurasi posisi mengacu pada perbedaan koordinat vertikal antara titik uji pada DTM foto dan LiDAR dengan titik uji dari pengukuran yang lebih teliti. Pengukuran yang lebih teliti dalam hal ini merupakan hasil dari pemetaan terestris yang telah dilakukan validasi. Hasil dari pemetaan terestris yang dianggap sebagai data yang paling teliti memiliki resolusi yang sama dengan DTM dari foto udara dan LiDAR. Analisis uji akurasi meliputi akurasi absolut dan akurasi relatif. biaya yang dikeluarkan [7].

Akurasi absolut dihitung berdasarkan perbandingan nilai elevasi titik sampel DTM dari foto udara dan LiDAR yang dibandingkan dengan hasil pemetaan terestris. Kesalahan elevasi titik satu dengan yang lainnya menunjukkan akurasi absolut DTM. Akurasi relatif dihitung berdasarkan perbandingan beda tinggi antar kedua titik sampel DTM dari foto udara dan LiDAR dengan kedua titik sampel pada pemetaan terestris. Kesalahan beda tinggi pasangan titik satu dengan yang lainnya menunjukkan akurasi relatif DTM. Selisih nilai ketinggian titik sampel dan beda tinggi antar titik sampel akan dihitung dan menghasilkan kesalahan vertikal pada DTM dari foto udara dan LiDAR. Besar kesalahan vertikal DTM yang telah diperoleh dihitung dan menghasilkan nilai RMSE (Root Mean Square Error) dan LE (Linear Error) untuk dijadikan sebagai acuan yang selanjutnya dikelompokkan sesuai klasifikasi skala peta berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Nilai LE diperoleh apabila telah dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap nilai RMSE (Root Mean Square Error). Nilai RMSE sebagaimana dirumuskan dalam persamaan II.1 [14]:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2} \dots\dots\dots II.1$$

RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independent yang akurasinya lebih tinggi. Apabila nilai RMSE telah didapatkan, perhitungan dapat dilanjutkan untuk mencari nilai LE. Nilai LE dirumuskan dalam persamaan II.2:

$$LE_{90} = 1,6499 \times RMSE_z \dots\dots\dots II.2$$

Nilai LE menjadi tolak ukur didalam ukuran ketelitian geometrik vertikal sebuah peta. Nilai LE dapat ditentukan dengan menggunakan 90% atau 95% bergantung dengan nilai kepercayaan yang digunakan. Nilai 90 menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut [14]. Apabila nilai LE telah diperoleh, ditentukan ketelitian geometrik peta berdasarkan klasifikasi skala peta yang tertuang di dalam SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019 tertuang pada Tabel II.1.

Tabel III.3 Klasifikasi Skala Peta (SNI 8202:2019)

No	Skala	Ketelitian Peta	
		Kelas 1 (LE90)	Kelas 2 (LE90)
1	1 : 1.000.000	200	400
2	1 : 500.000	100	200
3	1 : 250.000	50	100
4	1 : 100.000	20	40
5	1 : 50.000	10	20
6	1 : 25.000	5	10
7	1 : 10.000	2	4
8	1 : 5.000	1	2
9	1 : 2.500	0,5	1
10	1 : 1.000	0,2	0,4

Tabel II.1 menunjukkan klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019 dibagi menjadi dua kelas. Klasifikasi skala peta berdasarkan SNI 8202:2019 ini mengacu pada nilai LE yang diperoleh dari perhitungan nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi. Nilai LE berdasarkan SNI 8202:2019 menggunakan selang kepercayaan 90% sehingga nilai dari koefisien korelasi sebesar 1,679 [15]. Selain klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019, hasil uji akurasi juga diklasifikasikan berdasarkan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta berdasarkan ASPRS Tahun 2014 tertera pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Klasifikasi Skala Peta (ASPRS Tahun 2014)

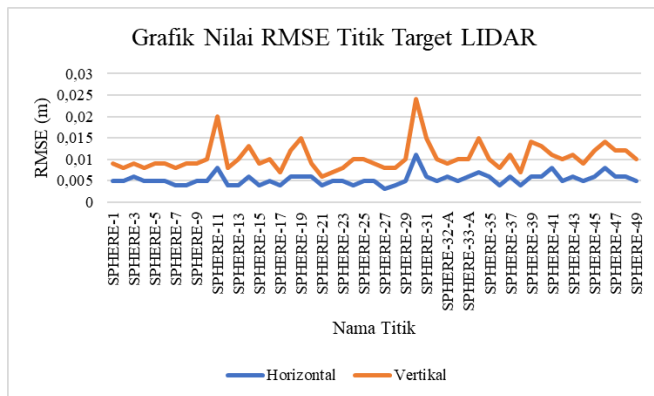
Vertical Accuracy Class	Absolute Accuracy		Map Scale
	NVA at 95% Confidence Level (cm)	RMSEz (cm)	
8,33	≤ 16,33	≤ 4,165	1 : 500
16,67	≤ 32,67	≤ 8,335	1 : 1.000
33,33	≤ 65,33	≤ 16,665	1 : 2.000
83,33	≤ 163,33	≤ 41,665	1 : 5.000
166,67	≤ 326,67	≤ 83,335	1 : 10.000

Tabel II.2 menunjukkan klasifikasi skala peta menurut ketentuan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta menurut ASPRS Tahun 2014 dibagi menjadi satu kelas. Klasifikasi skala peta berdasarkan ASPRS Tahun 2014 ini mengacu pada nilai LE yang diperoleh dari perhitungan nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi. Nilai LE berdasarkan ASPRS Tahun 2014 menggunakan selang kepercayaan sebesar 95% sehingga nilai LE didapat dari nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi sebesar 1,96<sup>[16]</sup>.

### III. Hasil dan Pembahasan

#### III.1 Hasil Pengolahan GNSS

Berdasarkan pengolahan data GNSS, didapatkan hasil berupa koordinat dari titik *sphere* yang digunakan dalam pemetaan LiDAR. Metode pengolahan data GNSS yang digunakan adalah metode statik dengan model jaringan radial, dimana titik BM PTM-6028 digunakan sebagai referensi dalam pemetaan LiDAR. Koordinat *sphere* yang dihasilkan dalam bentuk grid (UTM). Selain titik koordinat, pengolahan data GNSS juga menghasilkan nilai RMS (Data kontrol kualitas) untuk mengetahui kualitas data pengolahan GNSS secara horizontal maupun vertikal. Nilai RMS dari hasil pengolahan data GNSS terhadap titik *sphere* ditunjukkan pada Gambar III.1.



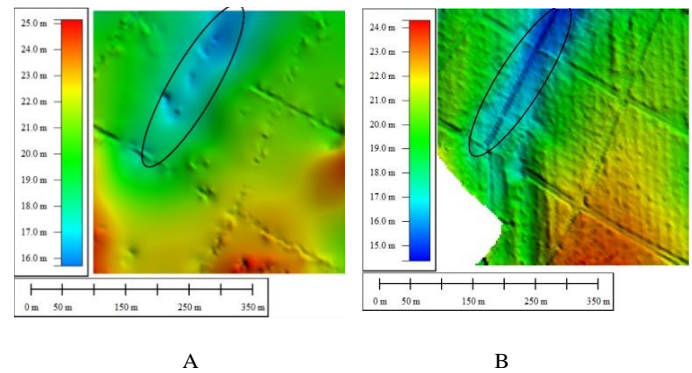
Gambar III.1 Visual Grafik Nilai RMSE Sphere (Target LiDAR)

Berdasarkan Gambar IV.1 diperoleh data bahwa nilai rata-rata RMSE (Root Mean Square Error) horizontal dan vertikal untuk koordinat *sphere* adalah 0,005 m dan 0,01 m. Titik yang memiliki RMSE horizontal dan vertikal terbesar adalah *sphere* 30. Besarnya RMS ini merupakan faktor dari kondisi wilayah pengukuran yang memiliki banyak obstruksi seperti pepohonan sehingga mempengaruhi pancaran sinyal dari satelit ke receiver. Secara keseluruhan koordinat hasil pengamatan dan pengolahan titik *sphere* dapat digunakan untuk proses

pengikatan LiDAR (*Light Detection and Ranging*) terhadap koordinat tanah karena nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dihasilkan masuk kedalam standar minimum ketelitian horizontal dan vertikal koordinat titik kontrol tanah berdasarkan PERKA BIG No. 1 Tahun 2020 yaitu hasil pengolahan koordinat titik kontrol tanah tidak lebih besar dari 0,15 dikali dengan nilai ketelitian peta yang mengacu pada SNI 8202<sup>[17]</sup>.

#### III.2 Hasil DTM (Digital Terrain Model)

Penelitian ini melakukan perbandingan DTM (*Digital Terrain Model*) yang dihasilkan dari foto udara dan DTM dari LiDAR. DTM dari foto udara terbentuk dari proses *filtering* terhadap *point clouds* hasil *image matching* dan DTM dari LiDAR terbentuk dari proses *filtering* terhadap *point clouds* hasil *\*.Las (Light Amplification by Stimulated)* LiDAR. Hasil dari DTM foto udara dan DTM LIDAR (*Light Detection and Ranging*) ditunjukkan pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Hasil DTM Foto Udara (A) dan DTM LIDAR (B)

Gambar IV.2 menunjukkan DTM LiDAR terlihat data yang hilang atau kosong hal ini disebabkan karena pada saat akuisisi data LiDAR tidak mendapatkan izin untuk melakukan akuisisi di daerah tersebut. Daerah tersebut merupakan kebun karet milik warga Desa Sungai Gelam Sedangkan DTM foto tidak terbentuk fitur sungai hal ini disebabkan karena pada saat akuisisi data foto udara, sungai tertutup oleh vegetasi. DTM LiDAR sudah terbentuk fitur sungai namun kedalaman sungai pada DTM LiDAR tidak sepenuhnya dapat ditembus oleh gelombang infrared, kedalaman sungai yang ditunjukkan pada DTM LiDAR hanya berkisar 17 m. Hal ini dikarenakan jenis LiDAR yang digunakan didalam penelitian ini bukan merupakan LiDAR yang didesain untuk pemetaan batimetri sehingga LiDAR yang digunakan hanya memancarkan gelombang infrared. Gelombang infrared berfungsi untuk mengukur suatu daratan topografi di permukaan bumi bukan untuk



perairan. Karena air akan menyerap gelombang NIR sehingga pantulan yang diterima sensor akan sangat sedikit [18].

Data LiDAR dan data foto udara yang digunakan adalah area yang sama dengan kondisi wilayah yang sama, namun karakteristik dari kedua sumber data tersebut berbeda. Perbedaan lain yang terlihat dari kedua DTM adalah dari morfologi yang dihasilkan oleh kedua DTM. Tekstur permukaan DTM dari LiDAR terlihat lebih kasar apabila dibandingkan dengan tekstur permukaan DTM dari foto udara, hal ini dikarenakan data LiDAR memiliki kerapatan *point clouds* yang lebih besar dibandingkan dengan *point clouds* pada data foto udara. Kerapatan *point clouds* yang lebih besar membuat DTM yang dihasilkan menjadi semakin detail.

### III.3 Akurasi Absolut DTM

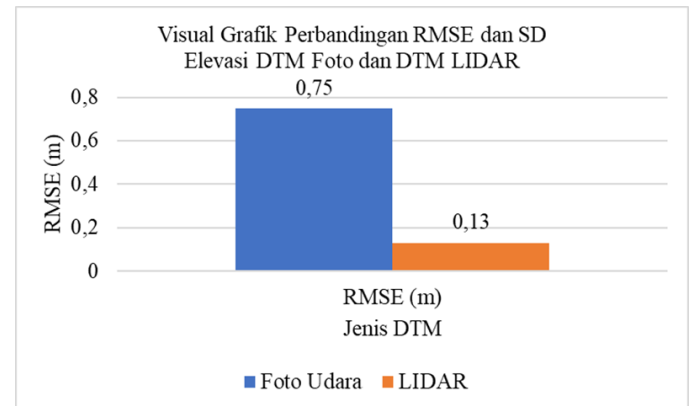
Uji akurasi dalam penelitian ini mengikuti perhitungan yang dituangkan dalam SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Hal yang perlu dilakukan dalam uji akurasi adalah menghitung selisih elevasi pada DTM foto udara dan LiDAR dengan data koordinat terestris yang sudah divalidasi. Nilai elevasi dari hasil pemetaan terestris tersebut dianggap benar sehingga menjadi acuan untuk mendapatkan besar kesalahan vertikal pada DTM foto udara dan LiDAR. Titik sampel yang digunakan dalam perhitungan akurasi berjumlah 36 titik sampel. Persebaran 36 titik sampel dari DTM foto udara dan LiDAR ditunjukkan pada Gambar III.3.



Gambar III.3 Persebaran Titik Sampel DTM Foto Udara dan LiDAR

Gambar III.3 menunjukkan persebaran titik sampel yang digunakan untuk uji akurasi ketelitian vertikal DTM (*Digital Terrain Model*) dari foto udara dan LiDAR. Masing-masing titik sampel tersebut dihitung nilai Z nya kemudian diselisihkan dengan koordinat Z dari pemetaan terestris. Selisih dari nilai elevasi yang telah didapatkan kemudian dihitung nilai RMSE (Root Mean Square Error) nya. Nilai RMSE yang dihasilkan dari DTM

(*Digital Terrain Model*) foto udara dan LiDAR (*Light Detection and Ranging*) ditunjukkan pada Gambar III.4.



Gambar III.4 Visual Grafik RMSE Elevasi DTM Foto dan LiDAR

Visual grafik pada Gambar III.4 menunjukkan bahwa ketelitian vertikal DTM dari LiDAR lebih tinggi jika dibandingkan DTM dari foto udara. Terlihat dari nilai RMSEz yang dihasilkan dari kedua data. Nilai RMSEz pada DTM foto udara sebesar 0,75 dan pada DTM LiDAR sebesar 0,13. Setelah nilai RMSE dari DTM foto udara tersebut diperoleh, nilai LE90 dan LE95 yang menjadi acuan dalam menentukan standar ketelitian peta menurut SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014 dapat ditentukan. Hasil dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan ketelitian peta berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Hasil dari perhitungan tersebut dilihat apakah masuk ke dalam syarat minimal nilai ketelitian peta atau tidak. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Hasil Uji DTM Foto dan LiDAR

Jenis DTM	LE <sub>90</sub>	LE <sub>95</sub>	Skala Peta dan Kelas (SNI 8202:2019)	Skala Peta (ASPRS Tahun 2014)
Foto	1,23	1,46	1: 5.000 Kelas 2	1: 5.000
LiDAR	0,22	0,26	1: 1.000 Kelas 2	1: 1.000

Berdasarkan Tabel III.1, dihasilkan nilai LE90 dan LE95 dari DTM foto udara sebesar 1,23 m dan 1,46 m. Nilai LE90 dan LE95 dari DTM LiDAR sebesar 0,22 m dan 0,26 m. Hasil uji LE (Linier Error) berdasarkan ketentuan SNI 8202:2019 DTM foto masuk kedalam klasifikasi skala peta 1: 5.000 kelas 2 dan DTM LiDAR masuk kedalam klasifikasi skala peta 1:1000 kelas 2. Berdasarkan ketentuan ASPRS Tahun 2014, hasil uji LE yang dihasilkan menghasilkan peta dengan klasifikasi skala 1: 5.000 untuk DTM dari foto udara dan skala 1: 1.000 untuk DTM dari LiDAR. Hal ini menunjukkan bahwa DTM LiDAR memiliki ketelitian paling tinggi.

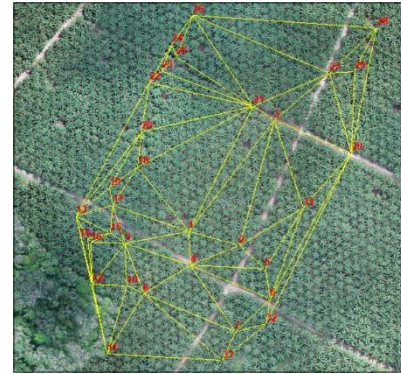


Ketelitian DTM yang dihasilkan oleh data foto udara masih belum bisa menyamai ketelitian dari DTM LiDAR. Hasil ketelitian skala peta ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berhubungan, salah satunya pengaruh kerapatan titik data LiDAR yang lebih rapat jika dibandingkan dengan kerapatan titik data foto udara. Selain itu, hal yang menyebabkan ketelitian DTM foto udara lebih rendah jika dibandingkan ketelitian peta dari DTM LiDAR adalah kondisi topografi dari wilayah penelitian yang berupa area bervegetasi lebat. Area bervegetasi lebat tersebut menyebabkan wahana UAV tidak bisa menjangkau permukaan tanah karena tertutup oleh pohon.

Secara umum ketelitian peta yang dihasilkan oleh DTM dari foto udara sudah cukup baik atau masuk ke dalam standar ketelitian minimum peta menurut SNI 82020:2019 dan ASPRS Tahun 2014. DTM dari foto udara tersebut dapat digunakan dalam pembuatan kontur lokasi rencana pemboran sumur eksplorasi di Sungai Gelam Timur Jambi dengan skala 1: 5.000 atau lebih kecil dari 1: 5.000. DTM dari foto udara yang didapatkan dalam penelitian ini tidak disarankan untuk digunakan dalam pembuatan peta dengan skala lebih besar dari 1: 5.000. DTM dari foto udara tidak disarankan untuk digunakan dalam memetakan wilayah yang terdiri dari vegetasi yang rapat karena akan menghasilkan ketelitian vertikal yang kurang baik.

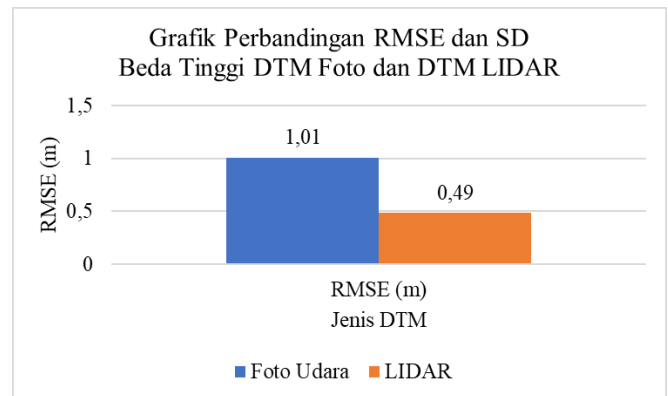
### III.4 Akurasi Relatif DTM

Penelitian ini melakukan analisis akurasi matematis yang dihasilkan dari akurasi beda tinggi DTM foto udara dan LiDAR. Nilai akurasi beda tinggi dihitung berdasarkan beda tinggi antar dua titik sampel DTM foto dan dibandingkan dengan beda tinggi antar dua titik sampel dari koordinat terestris pada posisi dan arah yang sama. Masing-masing pasangan titik sampel dihubungkan oleh suatu garis, kemudian dihitung beda tingginya pada DTM foto udara. Beda tinggi yang dihasilkan dari DTM foto udara kemudian dibandingkan dengan beda tinggi pada koordinat terestris. Titik sampel yang digunakan sebanyak 33 titik. Titik sampel tersebut dihubungkan dengan titik sampel di sekitarnya dan dilakukan penarikan garis. Penarikan garis pada titik sampel menghasilkan sebanyak 87 garis. 87 garis yang digunakan sebagai sampel ditunjukkan pada Gambar III.5.



Gambar III.5 Persebaran Titik Sampel DTM Foto Udara dan LiDAR

Gambar III.5 menunjukkan persebaran sampel berupa garis yang digunakan dalam perhitungan akurasi relatif DTM dari foto udara dan LiDAR. Masing-masing garis sampel tersebut dihitung dihitung beda tingginya. Selisih beda tinggi dihitung berdasarkan nilai beda tinggi pasangan titik sampel pada DTM foto udara dan LiDAR dikurangkan dengan nilai beda tinggi pada pasangan titik sampel pada koordinat terestris. Selisih nilai beda tinggi yang dihasilkan dari beda tinggi DTM foto udara dengan beda tinggi hasil koordinat terestris kemudian dilakukan perhitungan nilai RMSE nya. Nilai RMSE pada akurasi beda tinggi DTM dari foto udara dan LiDAR ditunjukkan pada Gambar III.6.



Gambar III.6 Visual Grafik Perbandingan RMSE dan SD Beda Tinggi DTM

Gambar III.6 menunjukkan akurasi beda tinggi pada DTM foto udara lebih rendah dibandingkan dengan akurasi beda tinggi pada DTM LiDAR. hal ini terlihat dari perbandingan nilai RMSE yang dihasilkan dari selisih beda tinggi antara DTM foto udara dan DTM LiDAR dengan beda tinggi koordinat terestris. Nilai RMSE dari DTM foto udara sebesar 1,01 sedangkan pada DTM LiDAR dihasilkan nilai RMSE sebesar 0,49. RMSE yang dihasilkan dari DTM foto udara sangat besar mencapai nilai 1 meter. Hal ini disebabkan karena elevasi

dari DTM foto udara tergolong rendah, sehingga ketika titik yang memiliki akurasi vertikal yang rendah dihubungkan dengan titik yang memiliki akurasi vertikal yang rendah juga, menghasilkan nilai beda tinggi yang semakin menyimpang/kesalahannya semakin besar.

Penelitian yang dilakukan telah berhasil menjawab tujuan penelitian yang ada. Tujuan penelitian ini yaitu menguji akurasi ketelitian vertikal dari DTM yang dihasilkan dari foto udara dan LiDAR berdasarkan SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Berdasarkan hasil uji akurasi yang diperoleh, DTM dari foto udara dan DTM dari LiDAR masuk kedalam standar minimum klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019 dan menurut ASPRS Tahun 2014. DTM foto udara dapat menghasilkan peta dengan skala 1 : 5.000 kelas 2 menurut SNI 8202:2019 dan skala 1 : 5.000 menurut standar ASPRS Tahun 2014. DTM dari LiDAR dapat menghasilkan peta dengan skala 1 : 1.000 kelas 2 menurut SNI 8202:2019 dan skala 1 : 1.000 menurut ASPRS Tahun 2014. Berdasarkan hasil klasifikasi skala peta yang dihasilkan, DTM dari foto udara dan DTM dari LiDAR dapat digunakan dalam pembuatan peta topografi. Namun, untuk DTM yang dihasilkan dari foto udara tidak disarankan digunakan dalam pembuatan peta topografi untuk wilayah penelitian yang terdiri dari vegetasi yang rapat. Hal ini dikarenakan wahana yang digunakan saat akuisisi data foto udara mengalami kesulitan untuk menjangkau nilai vertikal dari permukaan tanah akibat dari tertutupnya permukaan tanah oleh objek pepohonan.

Analisis akurasi relatif yang dihasilkan dari nilai selisih beda tinggi DTM foto udara dan DTM LiDAR yang dibandingkan dengan koordinat terestris menunjukkan bahwa ketelitian vertikal yang dihasilkan dari DTM LiDAR lebih baik dibandingkan dengan selisih beda tinggi yang dihasilkan dari DTM foto udara. Akurasi beda tinggi dari DTM LiDAR menghasilkan nilai RMSE yang lebih kecil jika dibandingkan nilai RMSE dari DTM foto udara. Nilai RMSE yang dihasilkan dari akurasi DTM LiDAR sebesar 0,49 sedangkan nilai RMSE akurasi beda tinggi dari DTM foto udara sebesar 1,01. Hal yang menyebabkan akurasi dari DTM LiDAR lebih baik jika dibandingkan DTM foto udara adalah *point clouds* yang dihasilkan dari LiDAR lebih banyak dibandingkan dengan *point clouds* yang dihasilkan dari foto udara. Kerapatan *point clouds* ditunjukkan oleh jarak antar titik dalam sekelompok titik. Apabila jarak antar *point clouds* tersebut semakin dekat maka semakin tinggi pula kerapatannya. Kerapatan *point clouds* yang tinggi akan menghasilkan model elevasi permukaan yang teliti pula. Namun, hal tersebut kembali bergantung pada proses pengolahan data LiDAR, metode dan konfigurasi

akuisisi data LiDAR itu sendiri. Pada dasarnya kerapatan data tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu ketinggian terbang, kecepatan terbang, sudut pemindaian (*scan angle*), frekuensi gelombang yang dipancarkan, pola scanning, kekuatan pulsa laser, geometri tanah dan reflektifitas dari objek yang dipantulkan. Dalam hal ini jenis teknologi LiDAR yang digunakan adalah handheld LiDAR sehingga jarak antara sensor dan objek yang direkam semakin dekat sehingga menyebabkan *point clouds* yang dihasilkan semakin rapat <sup>[19]</sup>.

LiDAR juga menggunakan sinar ultraviolet, sinar tampak, atau inframerah dekat ke objek gambar, hal ini dapat menargetkan berbagai macam material, termasuk benda non-logam, batuan, senyawa kimia, aerosol, awan, dan bahkan molekul tunggal <sup>[20]</sup>. Sinar laser yang sempit dapat memetakan fitur fisik dengan resolusi yang sangat tinggi <sup>[21]</sup>. Sinar laser pada LiDAR memiliki mekanisme pemancaran radiasi elektromagnetik dalam bentuk cahaya tunggal dan koheren pada spektrum dan frekuensi tertentu. Sehingga pancarannya memiliki sudut pancaran yang kecil dan memiliki intensitas yang tinggi untuk dapat mencapai jarak yang jauh dan terarah dengan tepat pada suatu perangkat <sup>[22]</sup>.

Karakteristik sensor LiDAR yang membuat ketelitian LiDAR lebih baik jika dibandingkan dengan ketelitian vertikal foto udara adalah kemampuan gelombang LiDAR untuk melakukan *multiple returns*, yakni sensor LiDAR dapat merekam beberapa kali gelombang pantul dari objek yang ada di permukaan bumi untuk setiap gelombang yang dipancarkan. *Multiple returns* digunakan untuk menentukan bentuk dari objek atau vegetasi yang menutupi permukaan tanah. Gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan tidak hanya mengenai permukaan tanah tetapi juga mengenai objek yang ada di atas permukaan tanah <sup>[23]</sup>.

Evaluasi dari penelitian yang dilakukan adalah DTM dari LiDAR menghasilkan visualisasi yang dihasilkan terlihat lebih kasar apabila dibandingkan dengan DTM dari foto udara. DTM dari LiDAR dapat menghasilkan geomorfologi yang lebih halus apabila dilakukan optimalisasi dalam proses *filtering* yang dilakukan pada *point clouds*. Selain itu, evaluasi dari penelitian ini adalah DTM dari foto udara menghasilkan nilai vertikal yang cenderung lebih tinggi dibandingkan DTM dari terestris. Hal tersebut dikarenakan wilayah penelitian yang terdiri dari wilayah bervegetasi rapat sehingga dapat dilakukan evaluasi bahwa DTM dari foto udara dapat menghasilkan ketelitian vertikal yang lebih baik apabila digunakan untuk memetakan wilayah yang terdiri dari lahan terbuka atau tidak terdiri dari vegetasi rapat.

## IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil hitung ketelitian berdasarkan uji LE90 dan LE95 pengolahan DTM dari foto udara sebesar 1,23 m dan 1,46 m sedangkan uji LE90 dan LE95 pengolahan DTM dari LiDAR sebesar 0,22 m dan 0,46 m.
2. Berdasarkan SNI 8202:2019, hasil pengolahan DTM dari foto udara masuk ke dalam klasifikasi skala peta 1 : 5.000 kelas 2 sedangkan hasil pengolahan DTM LiDAR masuk ke dalam klasifikasi skala peta 1 : 1.000 kelas 2. Berdasarkan ASPRS Tahun 2014, hasil pengolahan DTM dari foto udara masuk ke dalam klasifikasi skala peta 1 : 5.000 sedangkan hasil pengolahan DTM LiDAR masuk ke dalam klasifikasi skala peta 1 : 1.000.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina (Upstream Technology Center Geomatics Direktorat Hulu) yang telah mengizinkan penulis untuk ikut serta secara langsung dalam proses pengambilan data dan mengizinkan penulis untuk menggunakan data Sungai Gelam Timur Jambi sebagai data penelitian.

## Daftar Pustaka

- [1] D. N. Martiana, Y. Prasetyo, dan A. P. Wijaya, "Analisis Akurasi DTM Terhadap Penggunaan Data Point Clouds dari Foto Udara dan Las LiDAR Berbasis Metode Penapisan Slope Based Filtering Dan Algoritma Macro Terrasolid," *Geodesi Undip*, vol. 6, no. 1, hal. 294–295, 2017.
- [2] A. K. Daulay, "Pemetaan Topografi Untuk Pembangunan Lahan Di Desa Ujung Batu Kecamatan Ujung Batu Kabupaten Rokan Hulu, Riau," *Politeknik Negeri Batam*, 2019.
- [3] I. Y. N. Afani, B. D. Yuwono, dan N. Bashit, "Optimalisasi Pembuatan Peta Kontur Skala Besar Menggunakan Kombinasi Data Pengukuran Terestris Dan Foto Udara Format Kecil," *Geodesi Undip*, vol. 8, no. 1, hal. 181, 2019.
- [4] A. Arya, G. Winarso, dan I. Santoso, "Ekstraksi Kedalaman Laut Menggunakan Data Spot-7 Di Teluk Belangbelang Mamuju (Accuracy Assesment of Satellite Derived Bathymetry using Lyzenga Method and it's Modification using SPOT-7 Data at the Belangbelang Bay Waters Mamuju)," *Jurnal Ilmiah Geomatika*, vol. 22, no. 1, hal. 9–19, 2016, doi: 10.24895/JIG.2016.22-1.423.
- [5] K. Corbley, "Recent Innovations In Light Detection And Ranging (LiDAR) Processing And Sensors Include Geiger-Mode LiDAR, Enabling Users To Collect Large Areas From High Altitudes At Low Power," *EIJ Earth Imaging Journal*, 2015.
- [6] Q. Abdullah, S. Dharmapuri, dan J. Fernandez-Diaz, "The past and future of handheld 3D scanning (Handheld SLAM-based LiDAR scanners are changing the way we think about 3D capture)," vol. 10, no. 1, publisher@spatialmedia.us, United States of America, hal. 6, 2020.
- [7] Y. Taddia, F. Stecchi, dan A. Pellegrinelli, "Coastal Mapping using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode," *Journal MDPI*, vol. 4, no. 9, hal. 1, 2020, doi: 10.3390/drones4020009.
- [8] E. F. S. S. Alves, "Perbandingan Antara Dem Foto Udara Dengan Dem Topografi (Studi Kasus : Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur)," hal. 1–2.
- [9] R. Hernina, R. Putera, M. K. Rosyidy, M. I. Ramadhan, dan T. A. Putra, "Analisis Tinggi Terbang Drone dan Resolusi Untuk Pemetaan Penggunaan Lahan Menggunakan DJI Phantom 4 Pro (Studi Kasus Kampus UI)," in *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-6*, 2019, hal. 101.
- [10] E. R. Yustian, A. Setianto, dan Srijono, "Pemanfaatan Citra Digital Elevation Model (Dem) Untuk Studi Evolusi Geomorfologi Gunung Api Merapi Sebelum Dan Setelah Erupsi Gunung Api Merapi 2010," in *Seminar Nasional Informatika UPN Veteran*, 2012, hal. E-67.
- [11] Mochtar, "Perbandingan Metode Registrasi Terrestrial Laser Scanner (Studi Kasus: Aula Timur dan Gardu Listrik GKU Timur)," *Bandung*, 2012.
- [12] Y. Reshetyuk, "Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanner," 2009.
- [13] M. Z. Mudzakir, H. Z. Abidin, dan I. Gumilar, "Pemodelan 3D 'Gedung Indonesia Menggugat' Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner," *ITB Indonesian Journal of Geospatial*, vol. 06, no. 2, hal. 81, 2017.
- [14] BIG (Badan Informasi Geospasial), "Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun

- 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.” hal. 1–5, 2014.
- [15] K. . Putri, S. Subiyanto, dan A. Suprayogi, “Pembuatan Peta Wisata Digital 3 Dimensi Obyek Wisata Brown Canyon Secara Interaktif Dengan Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV),” *Geodesi Undip*, vol. 6, no. 1, 2016.
- [16] D. . Merchant, *ASPRS Tentative Map Accuracy Standards For Large-scale Maps*. USA: Department of Geodetic Science and Surveying, 1988.
- [17] BIG (Badan Informasi Geospasial), “Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar,” hal. 13, 2020.
- [18] Mukhlas, “Pembuatan Digital Surface Model (DSM) dari citra foto Unmanned Aerial Vehicle (UAV) menggunakan software Agisoft,” 2014.
- [19] M. Nurcholih, I. Q. Himawan, dan S. I. Wijayanti, “Tropical Vegetation and Land Cover Mapping Using LiDAR,” *Journal of Agro Science*, vol. 7, no. 1, hal. 8, 2019, doi: 10.18196/pt.2019.088.8-18.
- [20] Cracknell, P. Arthur, dan L. Hayes, *Introduction to Remote Sensing*. London, 2007.
- [21] J. Carter, S. Keil, dan K. Water, “LiDAR 101: An Introduction to LiDAR Technology, Data, and Applications,” *Coast.noaaa.gov*, hal. 14, 2012.
- [22] G. Tuell, B. Kenneth, dan J. Wezencraft, “Overview of the coastal zone mapping and imaging LiDAR (CZMIL): a new multisensor airborne mapping system for the U.S. Army Corps of Engineers,” *Proc. SPIE 7695*, 76950R, 2010, doi: 10.1117/12.851905.
- [23] Raber dan K. Schuckman, “An evaluation of LiDAR-derived elevation and terrain slope in leaf-off condition,” *Photogramm. Eng. Remote Sens*, vol. 71, hal. 817–823, 2005.