

**ANALISIS DAN EKSTRAKSI TAJUK POHON
DALAM ESTIMASI PERHITUNGAN KETINGGIAN KANOPI
MENGUNAKAN CITRA FOTO UDARA
(Studi Kasus : Desa Cilembu, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten
Sumedang)**

Hafidz Qinthara¹, Levana Apriani, S.T., M.T.², Hidayat Mustafa, S.T., M.M.³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen Pembimbing Satu Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

³Dosen Pembimbing Dua Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

In recent years, monitoring and management of natural resources have become increasingly important, particularly in the context of climate change and environmental conservation. Tree canopy height is a crucial indicator in understanding ecosystem structure. This study aims to explore the use of drone technology to measure tree canopy height in Cilembu Village, Pamulihan District, Sumedang Regency. By utilizing aerial imagery, this research is expected to provide accurate and efficient data to support spatial planning and sustainable forest management.

This study employed a quantitative approach, collecting data through aerial photographs taken using a quadcopter drone. A total of 5,263 photographs were taken in five acquisition sessions in April 2025, with forward overlap and sidelap parameters of 80% each. The obtained data were then processed using Agisoft Metashape software to produce 3D models, dense point clouds, orthophotos, and Digital Elevation Models (DEMs). Furthermore, a Canopy Height Model (CHM) was calculated by subtracting the Digital Terrain Model (DTM) from the Digital Surface Model (DSM). Tree canopy extraction was performed using the Local Maxima algorithm to identify tree heights above 10 meters, and the Crown Delineation algorithm as additional data extraction to identify tree canopy boundaries.

The results showed that the resulting CHM model had a spatial resolution of 0.171 m/pixel. Accuracy testing revealed a horizontal error (CE90) of 0.154 m and a vertical error (LE90) of 1.753 m, meeting basemap accuracy standards. Furthermore, the height distribution results from the extraction process, along with field validation using direct measurements on 10 tree samples, showed an average error of 15 cm between the extracted tree canopy height data and the field measurements. This research indicates that the use of drones and the applied method can provide reliable estimates of tree canopy height distribution and contribute to improved natural resource management.

Keywords : *drone, canopy height model, local maxima, crown delineation, vegetation, tree.*

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, pemantauan dan pengelolaan sumber daya alam telah menjadi semakin penting, terutama dalam konteks perubahan iklim dan pelestarian lingkungan. Ketinggian kanopi pohon merupakan indikator penting dalam memahami struktur ekosistem pada lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penggunaan teknologi *drone* dalam mengukur ketinggian kanopi pohon di Desa Cilembu, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang. Dengan memanfaatkan citra udara, penelitian ini diharapkan dapat memberikan data yang akurat dan efisien untuk mendukung perencanaan tata ruang dan pengelolaan hutan yang berkelanjutan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data melalui foto udara yang diambil menggunakan *drone* berjenis *quadcopter*. Sebanyak 5.263 foto diambil dalam lima sesi akuisisi pada bulan April 2025, dengan parameter *forward overlap* dan *sidelap* masing-masing sebesar 80%. Data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape* untuk menghasilkan model 3D, *dense point cloud*, serta produk ortofoto dan *Digital Elevation Model* (DEM). Selanjutnya, *Canopy Height Model* (CHM) dihitung dengan mengurangi *Digital Terrain Model* (DTM) dari *Digital Surface Model* (DSM). Ekstraksi tajuk pohon dilakukan menggunakan algoritma *Local Maxima* untuk mengidentifikasi ketinggian pohon di atas 10 meter, serta algoritma *Crown Delineation* sebagai data ekstraksi tambahan dalam mengidentifikasi batas kanopi pohon.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CHM yang dihasilkan memiliki resolusi spasial sebesar 0,171 m/piksel. Uji akurasi menunjukkan bahwa kesalahan horizontal (CE90) adalah 0,154 m dan kesalahan vertikal (LE90) adalah 1,753 m, yang memenuhi standar ketelitian peta dasar. Kemudian, hasil distribusi ketinggian melalui proses ekstraksi, serta validasi lapangan dengan pengukuran langsung pada 10 sampel pohon menunjukkan rata-rata kesalahan sebesar 15 cm antara data ketinggian hasil ekstraksi tajuk pohon dengan data pengukuran ketinggian di lapangan. Penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan *drone* dan metode yang diterapkan dapat memberikan distribusi estimasi ketinggian kanopi pohon yang baik, serta berkontribusi pada pengelolaan sumber daya alam yang lebih baik.

Kata Kunci : *drone, canopy height model, local maxima, crown delineation, pohon.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Memperkirakan ketinggian kanopi pohon adalah aspek penting dari pemantauan dan pengelolaan sumber daya alam, khususnya dalam konteks kehutanan dan perencanaan tata ruang. Ketinggian kanopi dapat memberikan wawasan tentang struktur vegetasi, dan ekosistem potensial yang ada di area tertentu. Salah satu metode efektif untuk mendapatkan data ketinggian kanopi adalah melalui penggunaan foto udara yang diambil menggunakan teknologi fotogrametri.

Foto udara memungkinkan pengambilan gambar dari perspektif vertikal dengan resolusi spasial tinggi, sehingga menghasilkan data spasial terperinci mengenai permukaan bumi dan benda-benda di atasnya, termasuk kanopi pohon. Melalui proses fotogrametri, data foto udara diproses menjadi produk-produk seperti *Digital Surface Model* (DSM), *Digital Terrain Model* (DTM), dan *Canopy Height Model* (CHM). CHM berasal dari perbedaan antara DSM dan DTM, yang secara akurat mewakili ketinggian kanopi pohon.

Di daerah Desa Cilembu, pemanfaatan data foto udara untuk memperkirakan ketinggian kanopi dapat bisa untuk dilakukan karena didominasi vegetasi di kawasan itu sendiri dan juga kebutuhan akan data spasial yang akurat dapat membantu mendukung perencanaan pembangunan desa dan juga konservasi lingkungan.

Selain itu, data ketinggian kanopi yang diperoleh dari foto udara dapat diterapkan ke berbagai kegunaan, seperti pemetaan tutupan lahan, analisis tutupan kanopi, dan identifikasi pohon individu melalui pemrosesan gambar digital dan metode pemrograman spasial. Ini akan sangat membantu dalam pengelolaan sumber daya alam di Desa Cilembu, termasuk mendukung upaya konservasi dan pengembangan potensi desa berbasis lingkungan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan data foto udara untuk memperkirakan ketinggian kanopi dari hasil ekstraksi tajuk pohon dengan memanfaatkan citra RGB hasil foto udara di wilayah Desa Cilembu.

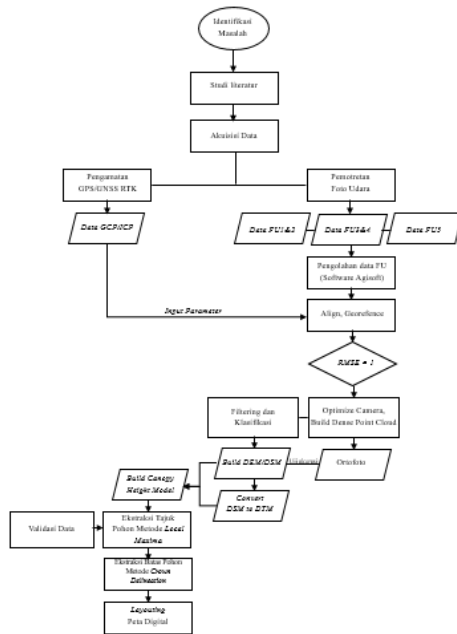
Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *machine learning*. Tujuannya adalah menganalisis dan mengekstraksi tajuk pohon dalam memperoleh data ketinggian setiap individu pohon, dimana data yang digunakan memanfaatkan *Canopy Height Model* (CHM) beresolusi tinggi dari hasil pengolahan foto udara menggunakan drone di Desa Cilembu.

Proses analisis dan ekstraksi pada model CHM ini dilakukan dengan perangkat lunak *machine learning* menggunakan metode algoritma *local maxima* dan *crown delineation*. Hasil tersebut kemudian di validasi dengan melakukan pengukuran sampel pohon menggunakan alat *total station*, dimana tujuannya untuk membandingkan selisih rata - rata kesalahan pada hasil ekstraksi dengan pengukuran langsung.

Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang dilaksanakan dalam kegiatan ini dapat dilihat dari diagram di bawah ini:



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini, berfokus pada akuisisi data primer di lapangan, Data yang diperoleh mencakup:

A. Data Mentah Foto Udara:

Data ini dikumpulkan lewat pemotretan udara menggunakan *drone* model *quadcopter* yang dilengkapi dengan kamera metrik.

Pengambilan gambar dilakukan dalam 5 sesi (*epoch*) pada tanggal yang berbeda:

- 28 April 2025: Epoch 1 dan 2.
- 29 April 2025: Epoch 3 dan 4.
- 30 April 2025: Epoch 5.

Parameter jalur penerbangan yang direncanakan mencakup *forward overlap* maju 80% dan *sidelap* 80%, yang disesuaikan dengan cakupan *Area of Interest* (AoI) serta kapasitas baterai *drone*. Informasi mengenai misi penerbangan (jumlah foto yang diambil per misi) dicatat untuk setiap sesi.

B. Koordinat Pengamatan GPS (*Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP)):

Pengamatan GPS dilaksanakan untuk mendapatkan koordinat *Easting*, *Northing*, dan *Elevation* dari titik-titik GCP dan ICP.

Metode yang dipilih adalah Statik Diferensial Non-simultan. Pengamatan dilakukan dengan dua perangkat GPS secara terpisah, setiap perangkat bekerja selama 1 jam pada tiap titik.

Hasil pengamatan dihubungkan dengan stasiun CORS (*Continuously Operating Reference Station*) terdekat. Total pengamatan terdapat 16 titik yang dikumpulkan (GCP dan ICP), dengan penyebaran yang dirancang untuk mencakup area penelitian secara seimbang.

Tahap Pengolahan Data

Data yang sudah dikumpulkan selanjutnya diproses menggunakan perangkat lunak khusus:

A. Pengolahan Data GPS Pengamatan (Menggunakan *Trimble Business Center* - TBC):

Data koordinat hasil pengukuran lapangan dari perangkat GPS diunggah ke TBC. Proses penyaringan dilakukan untuk menyingkirkan data yang tidak valid atau noise. Perbaikan posisi dilakukan menggunakan metode pemrosesan lanjutan seperti koreksi diferensial untuk meningkatkan presisi. Hasil akhirnya adalah *file* koordinat GCP dan ICP yang telah dikoreksi, yang siap digunakan sebagai referensi spasial dalam pemrosesan citra foto udara dengan *software Agisoft Metashape*.

B. Pengolahan Data Foto Udara
(Menggunakan *Software Agisoft Metashape*):

Kumpulan foto yang diambil dari *drone* diunggah ke *Agisoft Metashape*.

- 1) Penyesuaian Foto:
Perangkat lunak ini mengidentifikasi dan mencocokkan fitur yang sama di antara gambar untuk menghasilkan *sparse point cloud* dan model 3D awal.
- 2) Georeferensi:
Koordinat GCP yang telah diproses dari TBC dimasukkan untuk menyambungkan model 3D dan *orthomosaic* dengan sistem koordinat yang nyata, memastikan akurasi spasial.
- 3) Pembuatan *Dense Point Cloud*:
Menghasilkan sekumpulan titik 3D yang lebih padat dan detail.
- 4) Pembuatan *Mesh* dan Tekstur:
Membangun model permukaan 3D (*mesh*) dan menambahkan tekstur untuk menghasilkan tampilan visual yang lebih nyata.
- 5) Pembuatan Ortofoto:
Menghasilkan data permukaan 2D yang telah dikoreksi secara geometris.
- 6) Klasifikasi dan *filtering Dense Point Cloud*:
Dense point cloud diklasifikasikan berdasarkan objek di permukaan (seperti vegetasi, non-vegetasi, bangunan, jalan, tanah, dll.).
- 7) Pembuatan *Digital Surface Model* (DSM):
Model ketinggian yang mencakup semua objek yang ada di atas permukaan tanah.

8) Konversi ke *Digital Terrain Model* (DTM):

Dari DSM, dilakukan penyaringan untuk menyisakan hanya kelas tanah dan jalan, mewakili permukaan tanah yang bersih dari objek lain.

9) Pembentukan *Canopy Height Model* (CHM):

Pemanfaatan model DSM (yang mencakup semua objek) dan DTM (hanya objek tanah) untuk menghasilkan CHM. CHM menggambarkan ketinggian objek di atas permukaan tanah, khususnya vegetasi pada kanopi pohon.

10) Ekstraksi Tajuk Pohon

Menggunakan Algoritma Local Maxima :

Data CHM berfungsi sebagai acuan untuk nilai elevasi. Algoritma *local maxima* diterapkan menggunakan perangkat lunak *machine learning* (seperti *RStudio*) untuk menemukan puncak lokal dalam data raster CHM.

Tujuannya adalah untuk mengenali ketinggian setiap objek pada kanopi pohon, dengan penekanan pada ketinggian minimum 10 meter.

11) Ekstraksi Delineasi Kanopi

Pohon Menggunakan Algoritma *Crown Delineation* :

Algoritma *Crown Delineation* digunakan untuk mendeteksi dan mengambil garis batas dari tutupan kanopi masing-masing pohon. Pendekatan ini beroperasi berdasarkan nilai piksel ketinggian yang terdapat pada data citra raster CHM dan dilakukan melalui metode *machine learning*.

Tahap Analisis Data

Tahap analisis bertujuan untuk mengeluarkan informasi kuantitatif dari data yang telah diproses:

1. Metode Analisis Distribusi Estimasi Ketinggian Tajuk Pohon

Pada hasil pengolahan ekstraksi dilakukannya distribusi estimasi ketinggian dalam merepresentasikan ketinggian pada setiap individu pohon, dimana tujuannya untuk mengetahui nilai ketinggian yang dihasilkan berdasarkan hasil dari proses ekstraksi.

2. Metode Analisis Ketelitian Pada Ekstraksi dan Validasi Data Ketinggian

Dalam penelitian pada proses ekstraksi tajuk pohon menggunakan algoritma *Local Maxima*, dilakukannya perbandingan keakuratan data ketinggian dengan data validasi pengukuran langsung dilapangan untuk mengetahui perbedaan selisih rata - rata kesalahan dari nilai ketinggiannya menggunakan *mean square error*. Dimana, tahapan analisis pada ketelitian ini dilakukan dengan menghitung jumlah kesalahan atau $error^2$ pada data hasil ekstraksi dan $error^2$ pada data hasil validasi, yang kemudian dikalkulasikan rata - rata kesalahan pada kedua data tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang telah diperoleh setelah proses akuisisi:

A. Data Drone:

Sebanyak 5263 foto didapatkan dari 5 sesi penerbangan drone (*quadcopter* dengan sensor kamera metrik) antara 28-30 April 2025, dengan *forward overlap* dan *sidelap* 80%.

B. Data GCP dan ICP:

Koordinat *Easting*, *Northing*, dan *Elevation* dari 10 GCP dan 6 ICP didapatkan melalui pengamatan GPS metode "Statik Diferensial Non-simultan", dengan mengikat ke stasiun CORS terdekat.

Tabel 1 : Hasil pengamatan GCP

No	Nama Titik	Koordinat		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	GCP1	814105.769	9235553.148	870.834
2	GCP2	814689.976	9236125.784	896.820
3	GCP3	813724.072	9234726.874	866.315
4	GCP4	813557.621	9236570.716	804.956
5	GCP5	814842.085	9234979.036	937.982
6	GCP6	815165.874	9235581.441	933.513
7	GCP7	815447.378	9235251.085	992.029
8	GCP8	814777.725	9233745.566	980.592
9	GCP9	815323.526	9234199.026	1064.459
10	GCP10	814028.157	9236038.750	851.752

Tabel 2 : Hasil Pengamatan ICP

No	Nama Titik	Koordinat		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	ICP1	814066.053	9234801.688	890.319
2	ICP2	814378.783	9235782.248	865.800
3	ICP3	814599.607	9234589.976	961.096
4	ICP4	815069.405	9234571.330	995.128
5	ICP5	814810.671	9235641.105	878.827
6	ICP6	815245.328	9235032.908	985.924

C. Hasil Pengolahan Data: Triangulasi Udara:

Proses *aligning* foto dalam *Agisoft Metashape* menghasilkan *tie points* dan parameter kalibrasi *bundle adjustment*. RMS reprojection value 0.191283, sesuai dengan standar akurasi Peraturan BIG Nomor 1 Tahun 2020 (*avg residual tie point* $0.917316 < 1$ pixel).

D. Dense Point Cloud:

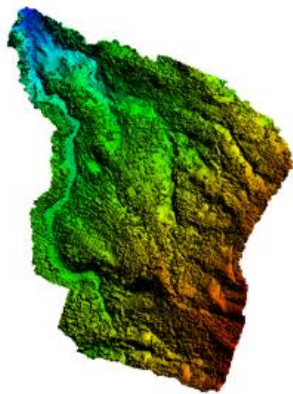
347.745.148 titik *dense point cloud* dihasilkan dan kemudian diklasifikasikan untuk membedakan objek tanah dan non-tanah.

E. DEM/DSM dan Ortofoto:

Dense point cloud diproses menjadi DSM (*Digital Surface Model*), DTM (*Digital Terrain Model*), dan ortofoto. Resolusi spasial ortofoto 0.043 m/pix, sedangkan DEM/DSM/DTM 0.171 m/pix.



Gambar 2. Ortofoto



Gambar 3. *Digital Surface Model*



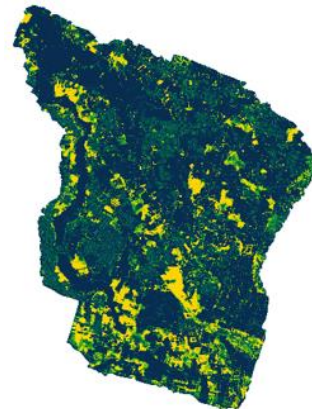
Gambar 4. *Digital Terrain Model*

F. Uji Akurasi:

Model divalidasi dengan membandingkan koordinat ICP dari model dengan pengukuran GPS lapangan. Hasil CE90 (horizontal) 0.154483 dan LE90 (vertikal) 1.753180, sesuai dengan standar ketelitian peta dasar PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014 (Kelas 1 untuk skala 1:1000 dan 1:5000).

G. Hasil Pembuatan Model CHM:

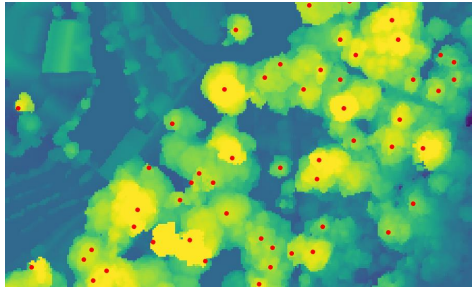
CHM didapatkan dari pengurangan DSM dengan DTM, mewakili tinggi objek di atas permukaan tanah (tinggi kanopi). Resolusi spasial CHM adalah 0.171 m/pix, menjadi dasar untuk ekstraksi tajuk.



Gambar 5. *Canopy Height Model*

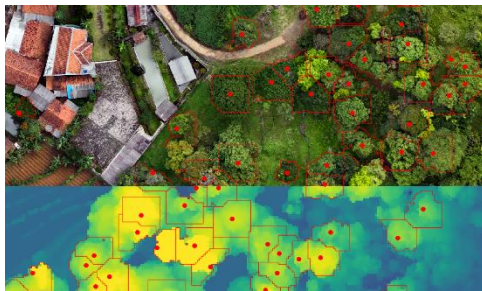
H. Hasil Ekstraksi meliputi:

- a) Algoritma *Local Maxima* diterapkan pada data raster CHM dengan menggunakan *machine learning (RStudio)* untuk menemukan lokasi titik-titik tertinggi pada pohon, dengan parameter minimal ketinggian 10 meter.



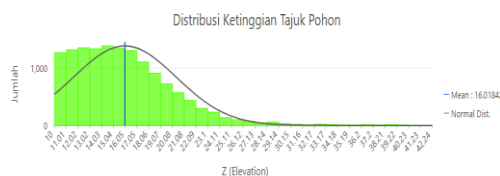
Gambar 6. Hasil ekstraksi tajuk pohon.

- b) Algoritma *Crown Delineation* digunakan untuk mengidentifikasi dan menunjukkan batas tutupan kanopi dari setiap pohon, berdasarkan posisi tajuk yang diekstraksi.



Gambar 7. Hasil akhir ekstraksi tajuk dan delineasi kanopi pohon

- c) Hasil Distribusi Ketinggian mencakup analisis tinggi pohon berdasarkan data yang telah diproses. Histogram distribusi ketinggian tajuk menunjukkan kegunaan teknik dalam memperkirakan nilai ketinggian tajuk pohon yang telah diidentifikasi.



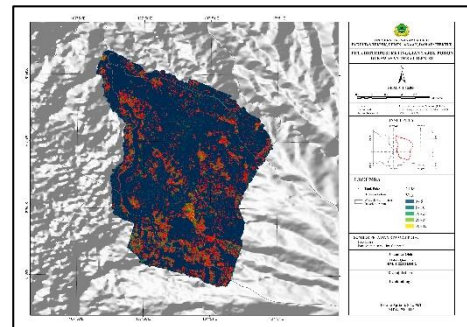
Gambar 8. Histogram Distribusi Tajuk Pohon

I. Data Validasi:

Melakukan pengukuran pada 10 sampel titik ketinggian pohon di lapangan dengan menggunakan *total station*. Perbedaan rata-rata atau kesalahan kuadrat antara ekstraksi dan pengukuran lapangan adalah 15 cm, menunjukkan tingginya akurasi metode yang digunakan.

J. Peta Distribusi Ketinggian Tajuk Pohon

Proses lengkap menciptakan peta distribusi ketinggian tajuk pohon, yang menggambarkan sebaran ketinggian pohon di wilayah penelitian.



Gambar 9. Peta Distribusi Ketinggian Tajuk Pohon

KESIMPULAN

Setelah dilakukan proses penelitian dari pengolahan data secara keseluruhan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Secara keseluruhan, Algoritma *Local Maxima* berhasil mendeteksi puncak pohon serta algoritma *Crown Delineation* berhasil mengidentifikasi batas kanopi pohon dalam memprediksi ketinggian pohon di atas 10 meter dengan sangat baik. Pada histogram distribusi ketinggian tajuk pohon mengkonfirmasi bahwa kemampuan metode ini dapat membuktikan nilai ketinggian dari masing - masing pohon yang ter-ekstraksi.

2. Kemudian pengambilan data validasi lapangan menunjukkan rata-rata kesalahan sebesar 15 cm dari perbandingan selisih antara data ekstraksi dengan pengukuran langsung,, ini menegaskan bahwa akurasi metode *Local Maxima* cukup baik.
3. Adapun peta distribusi ketinggian tajuk pohon yang dihasilkan mengklasifikasikan ketinggian CHM ke dalam lima kategori (sangat rendah : 0 - 5 m, rendah : 5 - 10 m, sedang : 10 - 20 m, tinggi : 20 - 30m, dan sangat tinggi : 30 - 42m) informasi data ketinggian ini dapat dibandingkan antara data klasifikasi ketinggian CHM dengan data distribusi ketinggian hasil ekstraksi tajuk pohon yang ditunjukkan pada subbab 4.

Penelitian ini membuktikan efisiensi dan akurasi pemanfaatan teknologi *drone* untuk estimasi ketinggian kanopi pohon, memberikan kontribusi penting bagi pemantauan lingkungan dan perencanaan berbasis data di Wilayah Desa Cilembu, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang.

SARAN

Adapun, Saran yang dapat penulis berikan bagi penelitian selanjutnya :

1. Untuk menghasilkan kanopi yang akurat, pada akuisisi data diusahakan menggunakan kombinasi pengukuran, diantaranya menggunakan data dense point cloud hasil *drone* dan *point cloud* hasil LiDAR. Kombinasi metode tersebut dapat menghasilkan data model yang sangat akurat dalam memprediksi ketinggian kanopi.

2. Pada proses *filtering dense point cloud* diusahakan melakukan penghapusan titik objek yang tidak terdefinisi letaknya secara teliti.
3. Menggunakan model dengan tingkat resolusi spasial yang tinggi pada proses ekstraksi nantinya, supaya dapat menghasilkan data prediksi ketinggian pohon dengan hasil yang sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Cibinong.
- Badan Informasi Geospasial. (2020). *Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar*. Jakarta.
- Lestari, S., Hermawan, E., & Agustian, S. H. (2023). *Analisis Perhitungan Individu Pada Pohon Pinus Menggunakan Metode Local Maxima Dari Citra Uav (Unmanned Aerial Vehicle)*. Bogor : Teknik dan Sains, Teknik Informatika, Universitas Ibn Khaldun Bogor.
- Srinarta, K., Prasetyo, Y., Hadi, F. (2022). *Analisis Perhitungan Jumlah Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan Algoritma Canopy Height Model (CHM) Dan Local Maxima (LM)*. Semarang: Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Ke, Y. (2008). *Comparison Of Individual Tree Crown Detection And Delineation Methods*. New york : State University of New York

- College of Environmental Science and Forestry.
- Bintoro, P., Ratnasari, Wihardjo, E., Putri, I. P., & Asari, A. (2024). *Pengantar Machine Learning*. Sumatra Barat.
- Stefano, A. (2020). *Pemanfaatan Drone dalam Pemetaan Kontur Tanah*. Samarinda: Politeknik Pertanian Negeri Samarinda.
- Naryoko, Prasetyo, Y., & Nugraha, A. L. (2019). *Kajian Terapan Teknologi Uav Dan Sig Dalam Pembuatan Peta Desa Skala 1:1000 Untuk Wilayah RW-04 Kelurahan Tembalang Tahun 2017*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Pranata, Y. N., & Cahyono, A. B. (2016). *Evaluasi Metode Aerial Videogrametri Untuk Rekonstruksi 3d Bangunan (Studi Kasus: Candi Singasari, Jawa Timur)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Julian, H. D., & Harintaka. (18 Juli 2019). *Kajian Keandalan Hasil Ekstraksi Bangunan Secara Otomatis Menggunakan Data Ortofoto Dan LiDAR Di Kota Pontianak*. Sleman, Yogyakarta : Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Bello, S. A., Yu, S., Wang, C., Adam, J. M., & Li, J. (28 Mei 2020). *Review: Deep Learning on 3D Point clouds*. China, Nigeria, Canada.
- Panjaitan, P. S., & Supit, J. M. (2021). *Kajian Tingkat Akurasi Dan Ketelitian Geometri Peta Dasar Dari Hasil Pengolahan Data Foto Udara Untuk Pemanfaatannya Di Sektor Pertambangan*. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Universitas Papua Jalan Gunung Salju Amban Manokwari.
- Habib, A. F., Kim, E., Kim, C. (12 Agustus 2006). *New Methodologies for True Orthophoto Generation*. Canada: University of Calgary.
- Kevin, F. J. B., Prasetyo, Y., Sukmono, A. (Oktober 2019). *Analisis Akurasi DTM Hasil Ekstraksi Data Pemetaan Airborne LiDAR Skala Besar Menggunakan Algoritma Cloth Simulation Filtering, Parameter-Free Ground Filtering Dan Simple Morphological Filtering Terhadap Slope Based Filtering*. Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Guth, P. L., & dkk. (2021). *Digital Elevation Models: Terminology and Definitions*. Department of Oceanography, US Naval Academy, Annapolis, USA.
- Oh, S., Jung, J., & dkk. (2022). *High-Resolution Canopy Height Model Generation and Validation Using USGS 3DEP LiDAR Data in Indiana, USA*. Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, 715 West State Street.