



**MODEL PENDUGAAN DIAMETER POHON BERBASIS CITRA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) PADA HUTAN HUJAN TROPIS PAPUA: STUDI DI PULAU MANSINAM PAPUA BARAT**  
*(Model of Tree Diameter Estimation Based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Image in Papua Tropical Rain Forest: a Study in Mansinam Island Papua Barat)*

Francine Hematang<sup>1\*</sup>, Agustinus Murdjoko<sup>2,3</sup>, dan Hendri<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Kehutanan, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, 98314

<sup>2</sup>Fakultas Kehutanan, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, 98314

<sup>3</sup> Pusat Penelitian Keanekaragaman Hayati, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, 98314

<sup>4</sup>Pascasarjana, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, 98314

**ABSTRACT**

*Unmanned aerial vehicles (UAV) have often been used for various purposes, not only for photography but also have been used for science in various scientific fields, including forestry. UAV has the ability to move freely in the air and record objects on the ground with high spatial resolution and wide area coverage. This study aimed to estimate the diameter at breast height (DBH) based on the image generated from the UAV. UAV was used to obtain aerial photographs taken at an altitude of 150 m above the land surface in four sample areas of 27 ha at the study site. Aerial photos were processed using agisoft photoscan software to produce a Digital Elevation Model (DEM) and orthophoto. Tree crowns were delineated from orthophoto and analyzed to obtain crown area and diameter. DBH measurements in the field were carried out on 206 sample trees used to build a DBH estimator model. The correlation test results showed that the crown diameter has a high correlation with DBH so that this variable was used as an independent variable. The best DBH estimator model was the polynomial model with the equation  $y = 0.0118744 x^2 + 1.08835 x + 22.8125$ , where y is DBH and x is the canopy diameter of the aerial photo interpretation results. Estimating DBH using UAV has several benefits, such as reducing time, cost and labour.*

**Keywords:** UAV, DBH, Crown diameter, Model Polynomial, Papua

**ABSTRAK**

*Unmanned aerial vehicle (UAV) sudah sering digunakan untuk berbagai tujuan, bukan hanya untuk fotografi, namun telah dimanfaatkan untuk sains di berbagai bidang keilmuan, termasuk bidang kehutanan. UAV memiliki kemampuan bergerak dengan bebas di udara dan merekam objek di darat dengan resolusi spasial tinggi, dan cakupan areal yang luas. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan diameter setinggi dada (DBH) berdasarkan citra yang dihasilkan dari UAV. UAV digunakan untuk memperoleh foto udara yang diambil pada ketinggian 150 m di atas permukaan darat pada empat areal sampel seluas 27 ha di lokasi penelitian. Foto udara diproses dengan menggunakan perangkat lunak agisoft photoscan untuk menghasilkan Digital Elevation Model (DEM) dan ortofoto. Tajuk pohon deliniasi dari ortofoto dan dianalisis untuk memperoleh luas dan diameter tajuk. Pengukuran DBH di lapangan dilakukan terhadap 206 pohon sampel yang selanjutnya digunakan untuk membangun model penduga DBH. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa diameter tajuk mempunyai korelasi yang tinggi dengan DBH sehingga variable ini digunakan sebagai variable bebas. Model terbaik penduga DBH adalah model polinomial dengan persamaan  $y = 0,0118744 x^2 + 1,08835 x + 22,8125$ , dengan y adalah DBH dan x adalah diameter tajuk hasil interpretasi foto udara. Pendugaan DBH menggunakan UAV memiliki beberapa manfaat seperti mampu mengurangi waktu, biaya dan tenaga kerja.*

**Kata kunci:** UAV, DBH, Diameter Tajuk, Model Polinomial, Papua

**Article Info**

**\*Corresponding Author** : chinex.hematang@gmail.com (F. Hematang)

**Articel History** : Received 31 March 2021; received in revised form 15 April 2021; accepted 23 April 2021; Available online since 30 April 2021

**How to cite this article** : Hematang, F., Murdjoko, A., & Hendri (2021). Model Pendugaan Diameter Pohon Berbasis Citra Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pada Hutan Hujan Tropis Papua: Studi Di Pulau Mansinam Papua Barat. *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak*, 5(1):16-30. DOI : <http://doi.org/10.20886/jpkf.2021.5.1.16-30>

Read Online



Scan this QR code by your mobile device to read online



©JPKF-2021. Open access under CC BY-NC-SA license

## I. PENDAHULUAN

Papua merupakan salah satu pulau besar di Indonesia yang memiliki tutupan hutan yang sangat luas. Statistik dari kementerian terkait menunjukkan bahwa Papua memiliki hutan seluas 59,3 juta hektar (PKTL, 2019). Hutan tersebut perlu dikelola agar terjamin kelestariannya sehingga manfaat dari keberadaan hutan dapat dirasakan secara maksimal. Pengelolaan secara berkelanjutan perlu dilakukan karena hutan memiliki banyak peranan penting kepada manusia dan semua makhluk hidup lainnya yang ada di dalam hutan (Yilmaz *et al.*, 2017). Salah satu tahap awal pengelolaan hutan adalah mengumpulkan semua informasi terkait sumber daya hutan melalui kegiatan inventarisasi hutan. Inventarisasi hutan merupakan salah satu proses penting untuk mencapai pengelolaan hutan yang berkelanjutan (Grznárová *et al.*, 2019). Informasi berdasarkan hasil inventarisasi hutan akan sangat membantu untuk menilai jasa ekosistem hutan, pendugaan volume tegakan, karbon tersimpan dan sebagainya.

Inventarisasi hutan sejauh ini masih banyak dilakukan secara konvensional dengan melakukan pengukuran lapangan menggunakan metode pengamatan jalur. Metode inventarisasi ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi namun memerlukan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang banyak agar pelaksanaan di lapangan dapat berjalan dengan baik. Pengukuran dimensi pohon seperti diameter secara konvensional masih sering dilakukan dengan menggunakan *phi band* maupun kaliper (Iizuka *et al.*, 2018) dan pengukuran tinggi pohon menggunakan teknik estimasi atau penggunaan *hagameter* maupun *laser rangefinder* (Němec, 2015).

Perkembangan teknologi membuat banyak ilmuwan mencari metode pengambilan data lapangan secara cepat dan tepat. Salah satu metode yang paling sering digunakan adalah metode pengambilan foto udara menggunakan

wahana tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)) dan proses pengolahan foto udara menggunakan algoritma tertentu. Saat ini penggunaan UAV sudah dapat digunakan oleh siapa saja dan untuk banyak hal. Penggunaan teknologi foto udara sebenarnya bukan merupakan teknologi yang baru berkembang saat ini, namun teknologi ini sudah mulai digunakan dalam bidang militer (Banu *et al.*, 2016). Penggunaan foto udara juga telah digunakan untuk mendukung rencana pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan karena dianggap mampu menghemat biaya dan waktu (Gülci, 2019). Penggunaan UAV untuk penginderaan jauh memiliki banyak manfaat seperti mengurangi biaya, waktu, memiliki resolusi tinggi, dan mudah digunakan dalam waktu dan tempat yang dinamis (Zhang *et al.*, 2019). Penggunaan UAV tidak lepas dari pengolahan foto udara untuk dapat menghasilkan nilai lebih dari foto yang telah didapatkan. Penggunaan metode *structure from motion* (SFM) untuk membantu dalam proses pengambilan data telah banyak dilakukan. Iizuka *et al.* (2018) menggunakan UAV dan SFM untuk menduga diameter setinggi dada dan tinggi pohon, Li *et al.* (2019) dan Navarro *et al.* (2020) menggunakan UAV dan SFM untuk melakukan pendugaan biomasa di atas permukaan tanah pada hutan mangrove, Panagiotidis *et al.* (2017) dan Krause *et al.* (2019) melakukan studi tentang ekstraksi informasi tajuk pohon dan tinggi pohon menggunakan UAV. Berdasarkan beberapa studi yang menggunakan metode UAV dan SFM telah mendapatkan kesimpulan bahwa penggunaan SFM memiliki potensi yang baik untuk mengetahui informasi terkait biofisik hutan (Iglhaut *et al.*, 2019).

Pendugaan diameter setinggi dada/*diameter at breast height* (DBH) menggunakan pendekatan UAV sebelumnya telah banyak dilakukan antara lain oleh Iizuka *et al.* (2018) yang melakukan pendugaan diameter pohon pada

tegakan *Chamaecyparis obtusa* di Jepang dengan melihat korelasi antara tajuk pohon dan DBH. Auliya *et al.* (2020) menemukan bahwa ada hubungan yang kuat antara tajuk pohon dan DBH. Semua studi ini menunjukkan penggunaan teknologi UAV memiliki potensi sebagai sarana untuk mendapatkan informasi terkait tegakan di hutan dalam skala luas secara cepat.

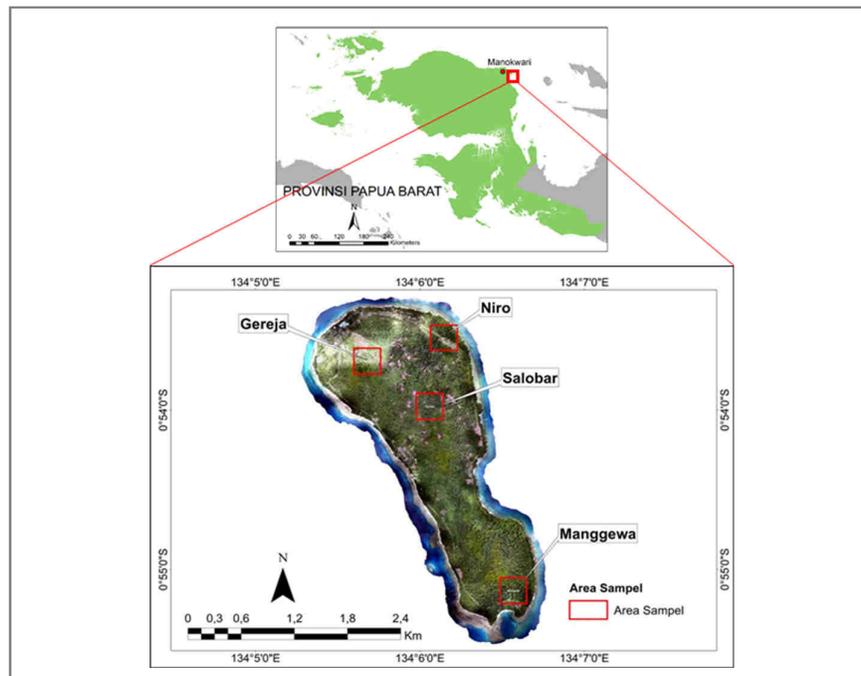
Studi ini bertujuan untuk mendapatkan model pendugaan diameter batang setinggi dada (DBH) dengan menggunakan pendekatan tajuk pohon yang diambil informasinya berdasarkan citra hasil foto udara yang memiliki resolusi sangat tinggi. Tajuk pohon yang dapat terlihat pada citra foto udara diduga memiliki korelasi yang cukup kuat terhadap nilai diameter pohon.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Agustus 2020 dan bertempat di Pulau Mansinam

(Gambar 1). Pulau Mansinam dengan luas  $\pm 400$  ha merupakan pulau yang terletak di Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Lokasi Pulau Mansinam secara geografis terletak pada koordinat  $134^{\circ}5'16,6'' - 134^{\circ}6'46,2''$  BT dan  $0^{\circ}53'17,1'' - 0^{\circ}55'28,18''$  LS. Tipe ekosistem hutan di Pulau Mansinam adalah dari ekosistem hutan pantai hingga hutan dataran rendah. Pengamatan lapangan menemukan bahwa bagian utara pulau terdapat beberapa jenis pohon yang dominan seperti *Callophyllum inophyllum*, *Buchanania arborescens*, *Terminalia complanata*, dan *Pometia coreaceae*, sedangkan bagian tengah dan selatan pulau didominasi oleh jenis pohon *Elaeocarpus* sp, *Palaquium amboinensis*, dan *Artocarpus altilis*. Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Schmit dan Ferguson tipe iklim di Pulau Mansinam masuk dalam tipe A yaitu tipe iklim sangat basah dengan curah hujan rata-rata/bulan 219,7 mm dan suhu rata-rata/bulan sebesar  $27,8^{\circ}\text{C}$  (BPS, 2021).

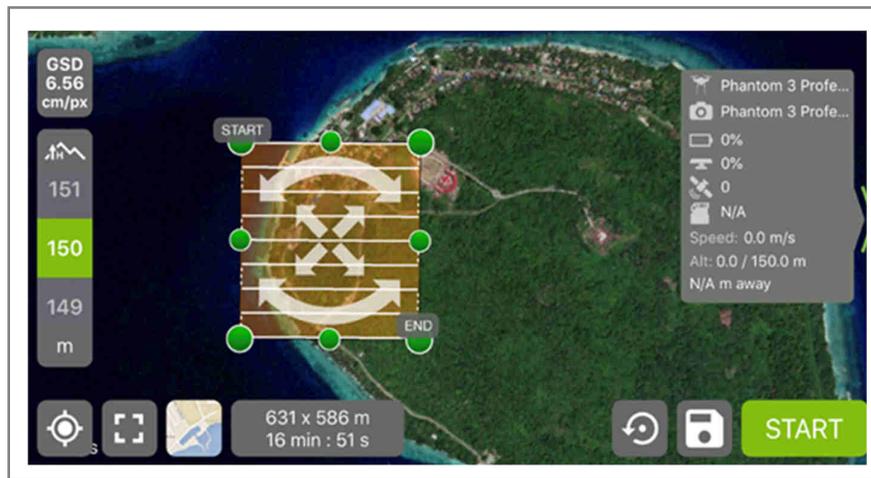


**Gambar 1. Lokasi penelitian dan penempatan transek pengamatan (Figure 1. Research location and distribution of transect observation)**

## B. Akuisisi dan Analisis Foto Udara

Akuisisi foto udara menggunakan wahana DJI Phantom 3 Profesional (DJI, 2016) dengan ketinggian jelajah 150 m di atas permukaan darat. Pengambilan foto udara dilakukan pada siang hari dengan cuaca cerah dan kecepatan angin yang rendah sekitar < 15 knots atau 7,7 m/detik (Navarro *et al.*, 2020). Akuisisi foto udara menggunakan perangkat lunak *Pix4Dcapture* yang terpasang pada

perangkat *smartphone*. Pengaturan perangkat dan jalur terbang yang digunakan adalah *front* dan *side overlap* sebesar 80%, *angle* kamera 90°, kecepatan normal, dan tipe jalur terbang grid 2D (Gambar 2). Area sampel pendugaan diameter di lokasi penelitian ditentukan secara *purposive* dan mewakili kondisi hutan di Pulau Mansinam. Jumlah sampel adalah empat dengan ukuran masing-masing 300 m x 300 m. Keempat lokasi sampel adalah Gereja, Manggewa, Niro dan Salobar (Gambar 1).



**Gambar 2. Ilustrasi pengaturan ketinggian jelajah, jalur, dan waktu penerbangan**  
*Figure 2. Illustration of cruising altitude, path, and flight time setting*

Analisis foto udara dilakukan dengan bantuan *Agisoft Metashape* (Agisoft LLC St. Petersburg, Rusia) (Agisoft, 2020). Perangkat lunak Agisoft menggunakan metode *structure from motion (SFM)* untuk melakukan ekstraksi fitur titik dari dalam file gambar dan mencocokkan fitur titik tersebut untuk menyusun gambar dan objek direkonstruksi dari fitur titik dan posisi kamera (Iizuka *et al.*, 2018). Keluaran dari hasil analisis fotogrametri adalah

ortofoto yang akan digunakan untuk identifikasi tajuk pohon. Proses membangun ortofoto tidak dilakukan kalibrasi menggunakan titik kontrol tanah namun hanya menggunakan informasi GPS yang terpasang pada wahana. Pengaturan parameter pengolahan fotogrametri menggunakan *Agisoft Metashape* disajikan pada Tabel 1 (Tomastik *et al.*, 2017; Dempewolf *et al.*, 2017).

**Tabel 1. Parameter fotogrametri**  
**Table 1. Photogrammetric parameters**

| Proses<br>(Processing) | Parameter<br>(Parameters) | Pengaturan<br>(Settings) |
|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Align photo            | Accuracy                  | High                     |
|                        | Pair Selection            | Disabled                 |
|                        | Key Point Limit           | 40.000                   |
|                        | Tie Point                 | 4.000-10.000             |
| Build dense cloud      | Quality                   | High                     |
|                        | Depth Filtering           | Mild                     |
| Build DEM              | Source Data               | Dense Cloud              |
|                        | Interpolation             | Enabled                  |
|                        | Projection                | WGS84/UTM Zone 53 S      |
| Build Orthomosaic      | Surface                   | DEM                      |
|                        | Blending Mode             | Mosaic                   |
|                        | Color Correction          | Yes                      |
|                        | Projection                | WGS84/UTM Zone 53 S      |

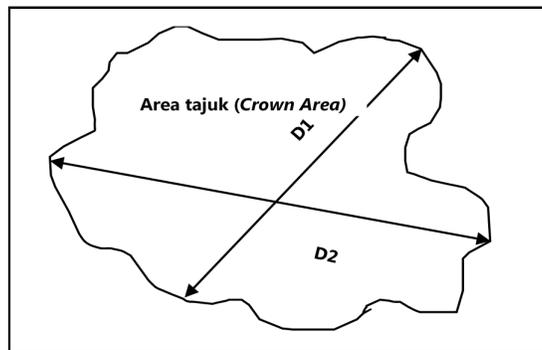
**C. Identifikasi Kanopi Pohon**

Penelitian ini menggunakan tajuk pohon sebagai variabel dalam pendugaan diameter pohon, yaitu luas area tajuk dan diameter tajuk. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ada hubungan yang kuat antara luas tajuk dan diameter tajuk dengan diameter pohon setinggi dada secara statistik (Iizuka *et al.*, 2018). Hardjana (2013) juga menyatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat erat dan berbanding lurus antara diameter pohon dengan diameter tajuk. Ekstraksi tajuk pohon dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat lunak *ecognition* (Trimble Geospatial, Germany) dengan algoritma *segmentasi multiresolution*

(Trimble, 2015). Hasil segmentasi tajuk kemudian digunakan untuk menentukan luas area tajuk. Hasil deliniasi batas tajuk juga digunakan untuk menentukan lebar tajuk. Rumus untuk menghitung diameter tajuk pohon adalah sebagai berikut (Iizuka *et al.*, 2018):

$$D = \frac{DT1+DT2}{2} \tag{1}$$

di mana DT adalah diameter tajuk, DT1 adalah panjang tajuk secara vertikal DT2, dan panjang tajuk secara horizontal. Ilustrasi pengukuran dan perhitungan diameter tajuk disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Ilustrasi pengukuran diameter tajuk (D1 dan D2)**  
**Figure 3. Illustration of crown diameter measurement (D1 and D2)**

#### D. Sampel Pohon

Sampel pohon yang digunakan untuk membangun model pendugaan DBH, diambil berdasarkan jalur pengukuran sepanjang 200 m dengan ukuran setiap plot adalah 20 m x 20 m pada setiap lokasi sampel. Semua pohon di dalam plot diukur DBH menggunakan *phi band*. Posisi pohon dalam plot pengamatan dicatat berdasarkan arah jalur pengukuran sebagai dasar dalam proses pencocokan posisi pohon di lapangan dan foto udara. Hal ini dilakukan karena kanopi pohon yang rapat akan membuat penerimaan signal GPS menjadi lemah sehingga posisi pohon yang diukur menggunakan GPS tidak akurat.

#### E. Model Pendugaan Diameter

Pendugaan DBH berdasarkan informasi tajuk pohon dapat menggunakan beberapa persamaan model matematika. Model pendugaan DBH dalam penelitian ini disusun berdasarkan data 206 pohon sampel yang diukur diameternya di lapangan. Beberapa persamaan model matematika yang dibangun dalam penelitian ini adalah (Wahyuni *et al.* 2016) :

1. *Linear* :  $D = b_0 + b_1X$
2. *Power* :  $D = b_0X^{b_1}$
3. *Exponential* :  $D = e^{b_0 + b_1X}$
4. *Polynomial* :  $D = b_0X^2 + b_1X_1 + b_2$
5. *Logarithmic* :  $D = b_0 + \ln(X)$  ,  $D = b_0 + \log(X)$

keterangan :  $D$  = Diameter batang pohon (cm),  $X$  = Variabel pengukuran dari UAV (diameter tajuk (m), atau luas tajuk ( $m^2$ )),  $b_0$ ,  $b_1$ = konstanta.

Uji korelasi luas tajuk dan diameter tajuk dengan variabel DBH hasil pengukuran dilakukan untuk memilih variabel pendugaan DBH yang tepat menggunakan perangkat lunak Minitab. Nilai korelasi yang paling kuat dijadikan sebagai variabel dalam pendugaan DBH pohon.

#### F. Validasi Model

Model pendugaan DBH yang diperoleh kemudian divalidasi secara statistika untuk menentukan model persamaan terbaik. Uji validasi menggunakan simpangan agregat (SA), *root mean square error (RMSE)*, bias (e), dan *chi-square*. Jaya *et al.*, (2010) menyatakan bahwa kriteria nilai simpangan agregat (SA) adalah antara +1 dan -1, uji *chi-square* yaitu menerima  $H_0$  atau  $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$  , *root mean square error (RMSE)*, dan bias (e) mendekati nilai 0. Taraf kepercayaan yang digunakan dalam pengujian model adalah 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk melakukan validasi model pendugaan diameter (Jaya *et al.*, 2010) :

$$1. \text{Simpangan agregat (SA)} = \left( \frac{\sum D_m - \sum D_o}{\sum D_m} \right) \quad (2)$$

$$2. \text{Uji } \chi\text{-square} : X^2_{hitung} = \sum \frac{(D_m - D_o)^2}{D_o} \quad (3)$$

$$3. \text{Root mean square error (RMSE)} = \frac{\sqrt{\sum \left( \frac{D_m - D_o}{D_o} \right)^2}}{n} \times 100 \quad (4)$$

$$4. \text{Bias (e)} = \left[ \sum \left\{ \frac{(D_m - D_o)}{n} \right\} \right] \times 100 \quad (5)$$

di mana :  $D_m$  = diameter pohon hasil pendugaan (Model);  $D_o$  = diameter pohon hasil pengukuran;  $n$  = banyaknya data.

Hasil dari validasi model kemudian dibuat peringkat untuk dapat menentukan model terbaik dari semua model yang telah dibuat. Penentuan model terbaik dipilih berdasarkan pedoman sebagai berikut :

1. Masing-masing model diberi skor berdasarkan peringkat kesesuaian kriteria dari parameter validasi model. Model yang memiliki hasil uji validasi mendekati nilai kriteria diberi skor 1 dan seterusnya.
2. Skor dari masing-masing parameter uji validasi kemudian dijumlahkan untuk tiap model. Hasil penjumlahan kemudian diperingkatkan dari jumlah terkecil ke jumlah terbesar.

3. Model yang memiliki skor terkecil merupakan model terbaik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Ortofoto

Pembentukan ortofoto pada masing-masing area sampel dibuat dari 373 foto udara dengan pembagian area sampel Gereja sebanyak 74 foto, area Mangewa 100 foto, area Niro 101

foto, dan area Salobar 98 foto. Masing-masing area sampel menggunakan proses fotogrametri secara tersendiri dan tidak dilakukan *resize* pada foto yang digunakan. Hasil analisis fotogrametri menunjukkan jika rata-rata *total error* dari pembentukan ortofoto pada empat area sampel adalah 4,36 m dengan rincian rata-rata *x error* : 2,33 m, *y error* : 1,64 m, *z error* : 2,67, dan *xy error* : 3,13 m. Ortofoto yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Ortofoto dan hasil deliniasi tajuk pada area sampel: Gereja (a), Niro (b), Salobar (c), dan Manggewa (d).

**Figure 4.** Orthophoto and results of crown delineation in the sample area: Gereja (a), Niro (b), Salobar (c), dan Manggewa (d).

#### B. Segmentasi Tajuk

Tajuk pohon didelineasi menggunakan metode segmentasi berbasis *multiresolution*. Proses segmentasi berbasis *multiresolution* merupakan pengelompokan area tertentu yang

memiliki kemiripan nilai pixel yang bersebelahan ke dalam sebuah objek di mana areal yang homogen akan menjadi objek yang lebih besar sedangkan areal yang heterogen akan menjadi lebih kecil (Purba & Perwira,

2021). Segmentasi tajuk dilakukan pada semua pohon yang masuk dalam area sampel berdasarkan pada ortofoto yang diperoleh. Tajuk pohon sampel yang berjumlah 206 didelineasi juga menggunakan metode segmentasi berbasis *multiresolution*. Hasil deliniasi tajuk pohon pada seluruh area sampel yang ditunjukkan dengan batas garis berwarna merah disajikan pada Gambar 4.

Hasil segmentasi tajuk kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi luas area ( $m^2$ ) dan rata-rata diameter tajuk (m). Luas area dan rata-rata diameter tajuk dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcMap (*Environmental System Research Institute, Amerika Serikat*). Berdasarkan analisis diketahui bahwa luas tajuk dari 206 pohon sampel bervariasi dengan nilai minimal sebesar  $6 m^2$  dan nilai maksimal  $477,3 m^2$ . Rata-rata diameter tajuk untuk seluruh pohon sampel berkisar antara 5,07 m dan 38,45 m.

### C. Pengukuran DBH

Hasil inventarisasi yang dilakukan di empat area sampel yang telah ditentukan sebanyak 206 sampel pohon. Secara keseluruhan kelas diameter setinggi dada yang berhasil diukur adalah pada rentang 21 – 80 cm dengan rata-rata diameter batang adalah 40 cm. Berdasarkan area sampel, jumlah dan DBH pohon berbeda antar area sampel. Area sampel Gereja terdiri dari 99 pohon sampel dengan kelas diameter berkisar antara 21 – 73 cm dengan rata-rata diameter sebesar 34,28 cm, area sampel Niro terdiri dari 37 pohon sampel dengan kelas diameter berkisar antara 23 – 76 cm dengan rata-rata diameter sebesar 44,4 cm, area sampel Salobar terdiri dari 31 pohon sampel dengan kelas diameter berkisar antara 25 – 80 cm dengan rata-rata diameter sebesar 45,7 cm, dan area sampel Manggewa terdiri dari 39 pohon sampel dengan kelas diameter berkisar antara 22 – 80 cm dengan rata-rata diameter sebesar 44,1 cm.



**Gambar 5. Pengukuran diameter setinggi dada pada pohon sampel**  
*Figure 5. Measurement of diameter breast height of sample trees*

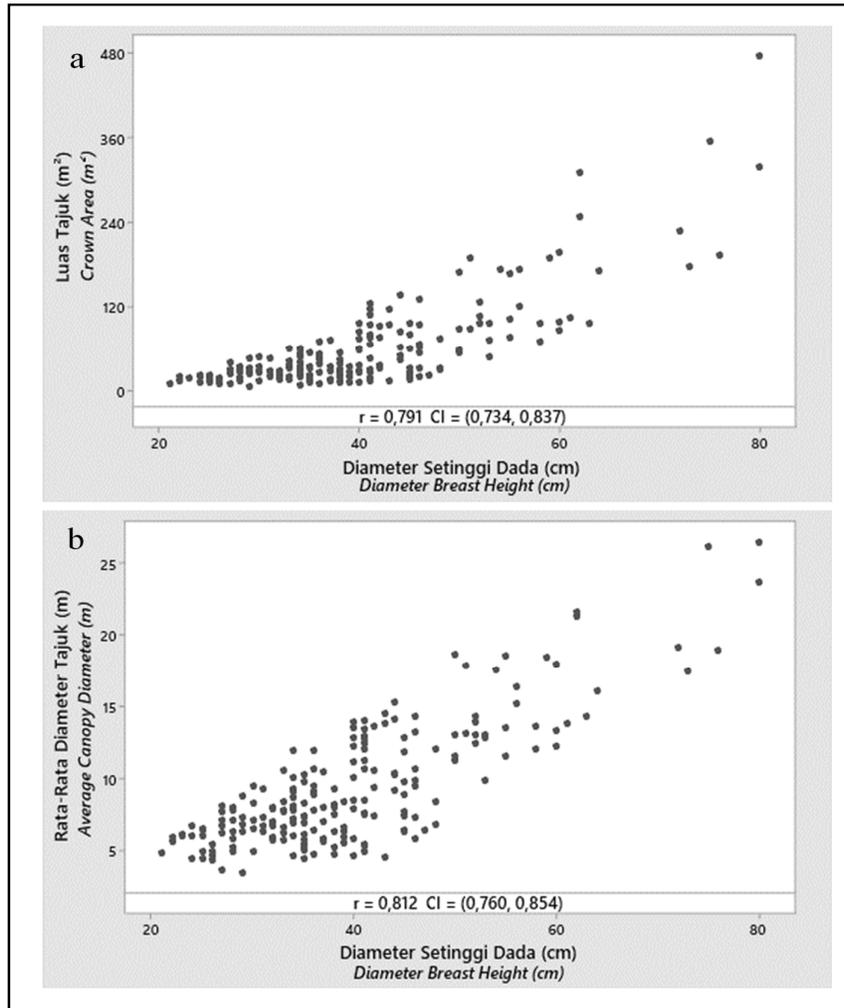
### D. Korelasi Tajuk dan DBH

Hasil uji korelasi antara diameter tajuk atau luas tajuk dengan diameter hasil pengukuran

lapangan dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil uji korelasi antara diameter tajuk dengan DBH hasil pengukuran lapangan mempunyai nilai  $r$  (0,812) yang lebih besar dari nilai  $r$  (0,791) korelasi

antara luas tajuk dengan DBH hasil pengukuran lapangan. Berdasarkan hasil uji korelasi tersebut maka variabel yang dipakai untuk menduga DBH adalah diameter tajuk. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iizuka *et al.*, (2018) bahwa terdapat hubungan yang kuat

antara panjang diameter tajuk dengan DBH ( $R^2 = 0,778$ ). Hardjana (2013) juga menyatakan bahwa terdapat hubungan yang cukup erat antara diameter batang dengan diameter tajuk ( $R^2 = 0,517$ ).



**Gambar 6. Korelasi diameter tajuk (a) dan luas tajuk (b) dengan diameter (DBH) pengukuran lapangan**

**Figure 6. Correlation of crown diameter (a) and crown area (b) with the observed diameter (DBH)**

**E. Model Pendugaan Diameter Setinggi Dada (DBH)**

Model pendugaan DBH dibuat menggunakan analisis regresi linier dan non linier berdasarkan rata-rata diameter tajuk

pohon hasil interpretasi foto udara dan data pengukuran DBH secara langsung di lapangan dari pohon sampel. Hasil analisis berdasarkan model regresi yang digunakan disajikan pada Tabel 2. Persamaan model penduga DBH yang

diperoleh memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang berbeda-beda. Koefisien determinasi menunjukkan bagaimana model pendugaan mampu menerangkan variabel tidak bebas. Model polinomial memiliki koefisien determinasi tertinggi yaitu sebesar 0,669 dan

model power memiliki koefisien determinasi terendah yaitu 0,570. Hal ini memberikan informasi bahwa pendugaan DBH dapat dijelaskan dengan variabel diameter tajuk sebesar 66,9% menggunakan model polinomial dan 57% untuk model power.

**Tabel 2. Model pendugaan diameter pohon menggunakan foto udara**  
*Table 2. Estimation model of tree diameter using aerial photography*

| Model Regresi<br>(Regression model) | Kode<br>(Code) | Persamaan<br>(Equation)                 | $r^2$<br>(r square) |
|-------------------------------------|----------------|---|---------------------|
| Linier                              | M1             | $y = 19,78 + 1,5086x$                   | 0,666               |
| Power                               | M2             | $y = 10,1755x^{0,535935}$               | 0,570               |
| Ekspensial                          | M3             | $y = 25,5382\exp(0,0318735x)$           | 0,595               |
| Polynomial                          | M4             | $y = 0,0118744x^2 + 1,08835x + 22,8125$ | 0,670               |
| Logaritmik                          | M5             | $y = 37,1904 + \ln(x)$                  | 0,597               |

Keterangan (Remarks):  $y$  = DBH pendugaan (Estimated DBH) (cm) dan  $x$  = Rata-rata diameter tajuk dari foto udara (Average diameter of crown from aerial photograph)(m)

#### F. Validasi dan Pemilihan Model Terbaik Pendugaan DBH

Model pendugaan diameter yang diperoleh divalidasi dengan beberapa alat uji statistik sebagai dasar dalam memilih model terbaik

yang digunakan dalam pendugaan diameter pohon. Hasil validasi dari beberapa alat uji statistik untuk semua model pendugaan diameter pohon disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil uji statistik model pendugaan diameter pohon**  
*Table 3. Result of statistical test for estimation model of tree diameter*

| Persamaan<br>(Equation)                 | Uji Statistik<br>(Statistic test)                              |  |   |  |  |             |
|---|--|--|---|--|--|-------------|
|   | Koefisien<br>Determinasi<br>(Determinati<br>on<br>Coefficient) | Simpangan<br>Agregat<br>(Aggregate<br>deviation) | Chi-squared<br>Hitung<br>(Chi-squared<br>Count) | Chi-squared<br>Tabel<br>(Chi-squared<br>Table) | Root<br>Mean<br>Square<br>Error<br>(%) | Bias<br>(%) |
| $y = 19,78 + 1,5086x$                   | 0,666  | 0,0000662  | 225,62  | 239,40   | 1,232                                  | 2,85        |
| $y = 10,1755x^{0,535935}$               | 0,570  | - 0,0014546                                      | 239,02  | 239,40   | 1,257                                  | 2,58        |
| $y = 25,5382\exp(0,0318735x)$           | 0,595  | - 0,1186848                                      | 273,72  | 239,40   | 1,251                                  | 3,18        |
| $y = 0,0118744x^2 + 1,08835x + 22,8125$ | 0,669  | - 0,0000009                                      | 223,50  | 239,40   | 1,231                                  | 2,90        |
| $y = 37,1904 + \ln(x)$                  | 0,597  | - 0,0000012                                      | 574,75  | 239,40   | 1,961                                  | 7,23        |

Berdasarkan Tabel 3, semua persamaan memiliki nilai R<sup>2</sup> lebih besar dari 0,5 yang artinya semua model mampu menerangkan hasil pendugaan sebesar lebih dari 50% dengan menggunakan variabel diameter tajuk. Simpangan agregat merupakan perbedaan dari jumlah nilai sebenarnya dan nilai pendugaan sebagai proporsional terhadap nilai pendugaan. Nilai uji *Chi-squared* hitung masing-masing model pendugaan berbeda di mana rasio perbedaan tertinggi sebesar 574,7 dan terkecil sebesar 223,5. Uji *Chi-squared* hitung merupakan uji untuk melihat rasio perbedaan nilai dari model dengan nilai sebenarnya (Jaya *et al.*, 2010). Nilai *chi-squared* tabel hanya memperlihatkan hubungan probabilitas dan derajat bebas. Semua persamaan memiliki nilai *chi-squared*

tabel yang sama karena menggunakan probabilitas (0,05), dan derajat bebas (n-1) yang sama. Model pendugaan yang diperoleh memiliki proporsi tingkat kesalahan antara nilai sebenarnya dengan nilai pendugaan yang rendah di mana RMSE menunjukkan nilai di bawah 2%. Hasil analisis juga menunjukkan bias yang dihasilkan dari model pendugaan DBH memiliki nilai maksimal 7,2% dan minimal bias sebesar 2,5%. Bias merupakan kesalahan yang terjadi akibat teknis pengukuran atau kesalahan penggunaan alat ukur (Yusandi & Jaya, 2015).

Pemilihan model terbaik untuk menduga DBH didasarkan pada hasil penjumlahan skor dari peringkat alat uji. Hasil pemberian skor tiap model dan uji statistik disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Pemberian skor hasil uji validasi model pendugaan diameter pohon**  
**Table 4. Scoring of the validation test for the tree diameter estimation model**

| Kode persamaan<br>(Equation code) | Alat Uji Statistik                                   |  |  |                            |          | Total Skor<br>(Score Total) | Peringkat<br>(Ranking) |
|-----------------------------------|--|--|--|----------------------------|----------|-----------------------------|------------------------|
|                                   | Koefisien Determinasi<br>(Determination Coefficient) | Simpangan Agregat<br>(Aggregate deviation) | Chi-squared Hitung<br>(Chi <sup>2</sup> Count) | Root Mean Square Error (%) | Bias (%) |                             |                        |
| M1                                | 2  | 3  | 2  | 2                          | 2        | 11                          | 2                      |
| M2                                | 5  | 4  | 4  | 4                          | 1        | 18                          | 4                      |
| M3                                | 4  | 5  | 3  | 3                          | 4        | 19                          | 3                      |
| M4                                | 1  | 1  | 1  | 1                          | 3        | 7                           | 1                      |
| M5                                | 3  | 2  | 5  | 5                          | 5        | 20                          | 5                      |

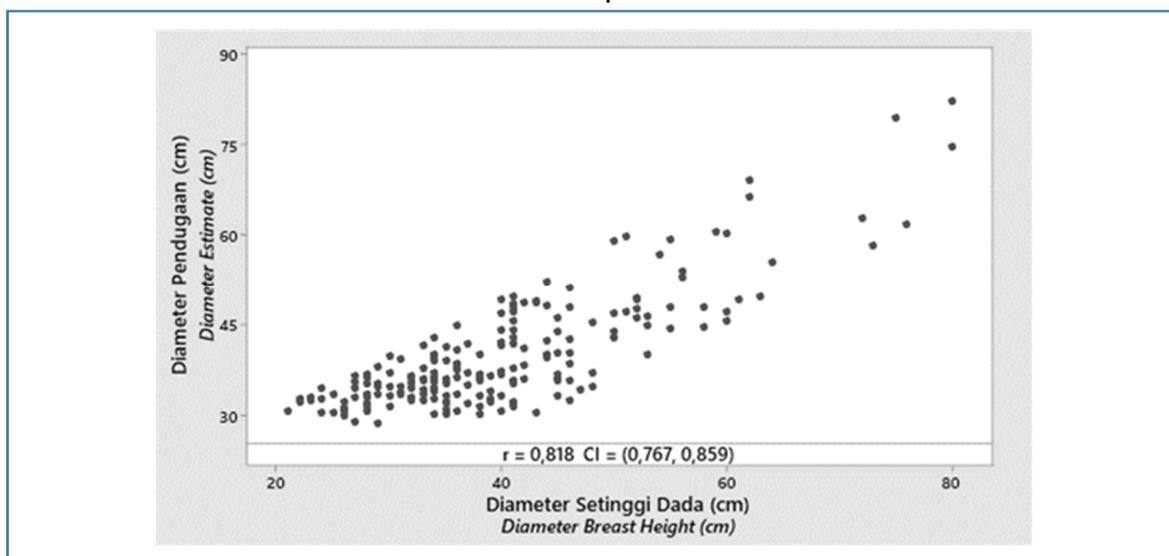
Berdasarkan Tabel 4, model penduga DBH terbaik di lokasi penelitian adalah model polinomial (M4) atau secara matematika dinyatakan dengan  $y = 0,0118744 x^2 + 1,08835 x + 22,8125$ . Model polinomial yang terpilih memiliki nilai determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,669. Hal ini memberikan gambaran bahwa model tersebut dapat memperkirakan diameter batang sebanyak 66,9% berdasarkan diameter tajuk pohon dan sisanya sebanyak 37,1% dijelaskan oleh faktor lain. Model

terpilih juga memiliki *chi square* hitung lebih kecil dibandingkan dengan *chi-squared* tabel atau dengan kata lain model ini menerima H<sub>0</sub> yang berarti hasil dari model ini akan memberikan hasil pendugaan diameter yang tidak beda nyata dengan diameter hasil pengukuran yang sebenarnya. Nilai RMSE dan bias (e) menunjukkan angka yang mendekati nilai 0 yaitu 1,23 untuk nilai RMSE dan 2,9 untuk nilai bias. Rendahnya nilai RMSE dan bias memberikan informasi bahwa

model tersebut memiliki tingkat kesalahan yang cukup rendah. Pemilihan model persamaan polinomial juga diperkuat dengan penelitian lainnya yang dilakukan oleh Iizuka *et al.* (2018) bahwa hubungan terbaik antara kanopi atau tajuk dengan diameter setinggi dada dapat dilihat lewat garis tren dengan fungsi polinomial.

Uji korelasi nilai DBH hasil pengukuran

dan perhitungan model M2 (polinomial) menunjukkan bahwa kedua informasi diameter tersebut memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan nilai  $r : 0,81$  dan  $p\text{-value} : 0,00$  (Gambar 7). Hasil uji korelasi ini memperkuat dan melengkapi analisis statistik lainnya dalam menentukan model polinomial sebagai model terbaik pendugaan diameter setinggi dada berdasarkan citra UAV.



**Gambar 7. Korelasi antara diameter pohon observasi dan pendugaan**  
*Figure 7. Correlation between observed and estimated diameter*

### G. Perbandingan Tingkat Efisiensi Penggunaan UAV dan Survei Konvensional

Berdasarkan hasil pemodelan untuk menduga diameter pohon dengan memanfaatkan teknologi foto udara melalui *low UAV* memberikan peluang untuk dapat diterapkan pada kegiatan inventarisasi hutan skala luas. Hal ini tentu tidak lepas dari perkembangan teknologi di bidang wahana pesawat tanpa awak, dan proses foto udara berbasis perangkat lunak yang didukung dengan algoritma. Semua perkembangan tersebut sangat membantu dalam melakukan pekerjaan

lapangan sehingga dapat melakukan efisiensi waktu dan biaya.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat keuntungan dari SFM dan UAV dalam melakukan pengukuran beberapa parameter inventarisasi hutan seperti informasi kanopi/tajuk pohon, pendugaan diameter dan tinggi pohon, sebaran hutan, struktur tegakan, dan informasi lainnya.

Penelitian yang dilakukan di Pulau Mansinam untuk menduga dimensi pohon pada area seluas 27,8 ha hanya membutuhkan waktu kurang lebih 24 jam. Waktu tersebut digunakan mulai dari persiapan wahana, pengambilan foto

udara, proses fotogrametri, analisis data, dan pengambilan sampel lapangan. Studi lainnya juga menunjukkan bahwa untuk menganalisis dimensi pohon dari foto udara seluas 27 ha dibutuhkan waktu 23 jam (Iizuka *et al.*, 2018). Penelitian lainnya menemukan bahwa UAV mampu terbang dan melakukan perekaman pada area seluas 85 ha selama 40 menit dengan bantuan 3 orang dan hal ini berbeda dengan survei konvensional yang dilakukan oleh 6 orang untuk area seluas 0,25 ha selama 8 hari (Li *et al.*, 2019). Navarro *et al.* (2020) melakukan analisis biaya terkait penggunaan UAV (*DJI Phantom 4 Advanced*) dan survei konvensional dan diketahui bahwa biaya penggunaan UAV lebih murah dibandingkan dengan survei konvensional. Studi tersebut mendapatkan bahwa survei dengan bantuan UAV membutuhkan biaya AU\$ 99.884 dan survei konvensional membutuhkan biaya AU\$ 156.924. Kemampuan UAV dalam membantu pekerjaan di lapangan untuk pengambilan data sudah terbukti dapat mengurangi waktu dan tentu saja biaya yang digunakan. Hal ini dikarenakan UAV memiliki kemampuan pergerakan yang jauh lebih bebas di udara dibandingkan pergerakan di darat. UAV juga mempunyai kemampuan untuk terbang pada level ketinggian tertentu yang dapat melakukan perekaman objek di darat dalam area yang lebih luas.

#### IV. KESIMPULAN

Pendugaan DBH dapat dilakukan dengan menggunakan data diameter tajuk hasil interpretasi foto udara yang ditunjukkan oleh korelasi yang tinggi antara DBH dan diameter tajuk. Penelitian ini mendapatkan model terbaik untuk pendugaan DBH yaitu berupa model polinomial dengan persamaan  $y = 0,0118744 x^2 + 1,08835 x + 22,8125$  di mana  $y$  adalah DBH dan  $x$  adalah diameter tajuk pohon. Pemanfaatan *Unmanned aerial vehicle* (UAV) kelas rendah

atau *low UAV* memiliki kemampuan yang cukup untuk dapat membantu dalam melakukan ekstraksi informasi dimensi pohon melalui proses fotogrametri secara cepat. Efisiensi pemanfaatan UAV dilihat dari waktu yang diperlukan yang lebih pendek, dan tentunya hal ini akan mengurangi biaya yang dibutuhkan. Penelitian selanjutnya yang perlu dilakukan adalah koreksi ortofoto melalui *ground control point* (GCP) sehingga akurasi dapat ditingkatkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami memberikan apresiasi kepada kepala Kampung Mansinam beserta jajarannya dan kepada seluruh masyarakat di Pulau Mansinam yang telah memberikan izin dan membantu selama proses pengambilan data. Kami juga berterima kasih kepada Yuno Heipon, S.Hut sebagai tenaga pembantu. Kami mengucapkan terima kasih juga kepada reviewer yang telah memperbaiki dan meningkatkan kualitas penelitian ini.

#### KONTRIBUTOR PENULIS

Semua penulis berperan sebagai kontributor utama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agisoft. (2020). *Agisoft Metashape User Manual*. Agisoft Metashape, (September), 160. Diakses dari [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_5\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf)
- Auliya, H., Asyari, M., & Jauhari, A. (2020). Korelasi diameter tajuk aerial dan diameter batang setinggi dada (130 cm) berbasis citra drone di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Mandiangin Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 03(3), 516–522.
- Banu, T.P., Gheorghe Florian Borlea, & Constantin Banu. (2016). The use of drones in Forestry.

- Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5(11), 557–562. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2016.11.007>
- BPS. (2021). *Kabupaten Manokwari dalam angka 2021*. BPS Kabupaten Manokwari, Manokwari.
- Dempewolf, J., Nagol, J., Hein, S., Thiel, C., & Zimmermann, R. (2017). Measurement of within-season tree height growth in a mixed forest stand using UAV imagery. *Forests*, 8(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/f8070231>
- DJI. (2016). *Phantom 3 Professional : User Manual*. 3–6.
- Grznárová, A., Mokroš, M., Surový, P., Slavík, M., Pondelík, M., & Mergani, J. (2019). The crown diameter estimation from fixed wing type of uav imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 337–341. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-337-2019>
- Gülci, S. (2019). The determination of some stand parameters using SfM-based spatial 3D point cloud in forestry studies: an analysis of data production in pure coniferous young forest stands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7628-4>
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in Forestry: a Review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155–168. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3>
- Iizuka, K., Yonehara, T., Itoh, M., & Kosugi, Y. (2018). Estimating tree height and Diameter at Breast Height (DBH) from digital surface models and orthophotos obtained with an unmanned aerial system for a Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Forest. *Remote Sensing*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/rs10010013>
- Jaya, I. N. S., Samsuri, & Tien, E. (2010). Teknik Inventarisasi Sediaan Ramin di Hutan Rawa Gambut. *ITTO Cities Project, Kementerian Kehutanan*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hardjana, K. A. (2013). Model hubungan tinggi dan diameter tajuk dengan diameter setinggi dada pada tegakan tengkawang tungkul putih (*Shorea Stenoptera* Burck.) di Semboja, Kabupaten Sanggau. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 7(1), 7–18.
- Krause, S., Sanders, T. G. M., Mund, J. P., & Greve, K. (2019). UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. *Remote Sensing*, 11(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs11070758>
- Li, Z., Zan, Q., Yang, Q., Zhu, D., Chen, Y., & Yu, S. (2019). Remote estimation of mangrove aboveground carbon stock at the species level using a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Remote Sensing*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/rs11091018>
- Navarro, A., Young, M., Allan, B., Carnell, P., Macreadie, P., & Ierodiaconou, D. (2020). The application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to estimate above-ground biomass of mangrove ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 242 (November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111747>
- Němec, P. (2015). Comparison of modern forest inventory method with the common method for management of tropical rainforest in the Peruvian Amazon. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(1), 80–91.
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surový, P., & Chiteculo, V. (2017). Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2392–2410. <https://doi.org/10.1080/01431161>

- .2016.1264028
- PKTL. (2019). *Statistik bidang planologi kehutanan dan tata lingkungan tahun 2019*. Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan Dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. Jakarta.
- Purba, H. A., & Perwira. (2021). *Penggunaan teknologi UAV pada pemetaan pantai dengan pendekatan berbasis objek geografis*. *Syntax Admiration* 2(2), 6.
- Tomašík, J., Mokroš, M., Saloň, Š., Chudý, F., & Tunák, D. (2017). Accuracy of photogrammetric UAV-based point clouds under conditions of partially-open forest canopy. *Forests*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/f8050151>
- Trimble. (2015). *Trimble eCognition Suite*. (June), 1–265. Retrieved from [www.eCognition.com](http://www.eCognition.com)
- Wahyuni, S., Jaya, I. N. S., & Puspaningsih, N. (2016). Model for estimating above ground biomass of reclamation forest using unmanned aerial vehicles. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 4(3), 586–593. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v4.i3.pp586-593>
- Yilmaz, V., Levent, T., Cigdem, Y., & Oguz, G. (2017). Determination of tree crown diameters with segmentation of a UAS-Based canopy height model. *IPSI BgD Transactions on Internet Research*, 13(July), 63–67.
- Yusandi, S., & Jaya, I. N. S. (2015). Model penduga biomassa hutan mangrove menggunakan citra satelit resolusi sedang di areal kerja perusahaan konsesi hutan di Kalimantan Barat. *Bonorowo Wetlands*, 6(2), 69–81. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w060201>
- Zhang, Y., Wu, H., & Yang, W. (2019). Forests growth monitoring based on tree canopy 3D reconstruction using UAV aerial photogrammetry. *Forests*, 10(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/f10121052>