

PENDUGAAN PEUBAH POHON DAN PEUBAH TEGAKAN JATI MENGGUNAKAN CITRA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) DI KPH RANDUBLATUNG

Estimation of Teak Tree Variables and Stand Variables Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Method in KPH Randublatung

Sopha Erna Ariyana¹, Muhammad Buce Saleh², Sri Rahaju², Nining Puspaningsih², Qori Pebrial Ilham^{2*}, Priyanto²

(Diterima 31 Oktober 2024 /Disetujui 19 Desember 2024)

ABSTRACT

Forest inventory using remote sensing is an alternative to taking data in the field precisely and quickly. This study aims to identify the ability of UAV imagery to estimate the variables of teak stands of age class XIV with a flight altitude of 90 meters in KPH Randublatung. The method of data collection in the field is to make a plot in the form of a square with a size of 80 m x 80 m by purposive sampling based on slope level criteria. The aerial photography data was processed using PIX4Dmapper and ArcMap 10.5 software to produce the Canopy Height Model (CHM) and crown delineation. Tree variables, such as tree height can be estimated by visual height from CHM with R^2 0,777, tree diameter and crown diameter can be estimated by visual crown diameter with R^2 respectively 0,460; 0,475. Stand variables, such as stand height, can be estimated by visual average estimated height from CHM with R^2 0,826. Stand diameter, crown diameter, stand base area, and number of trees can be estimated by visual average crown diameter with R^2 respectively 0,486; 0,464; 0,478; 0,342. Therefore, UAV Imagery can estimate tree variables and stand variables of XIV age class teak in KPH Randublatung.

Keywords: drone, stand variables, teak, tree variables, UAV

-
1. Alumnus Program Sarjana Program Studi Manajemen Hutan Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
 2. Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

* Penulis korespondensi: Qori Pebrial Iham
e-mail: qoripebrial@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Inventarisasi hutan merupakan proses pengumpulan data untuk mengetahui potensi hutan sesuai dengan tujuan yang ingin di capai. Inventarisasi hutan penting untuk tercapainya pengelolaan hutan yang berkelanjutan. Inventarisasi hutan hingga saat ini masih banyak dilakukan dengan cara konvensional, yaitu melalui pengukuran lapangan menggunakan observasi jalur. Metode konvensional memiliki tingkat akurasi yang tinggi namun memerlukan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang cukup banyak (Hematang 2021). Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan metode penginderaan jauh menjadi alternatif dalam mengambil data di lapangan secara cepat dan tepat. Salah satu metode penginderaan jauh yang sering digunakan yaitu penggunaan citra *Unmanned Aerial Vehicel* (UAV) atau citra yang diambil dari pesawat nirawak (Arrofiqoh *et al.* 2022).

Citra UAV memiliki banyak kelebihan seperti mengurangi biaya dan waktu, mudah digunakan pada berbagai waktu dan lokasi yang dinamis, serta memiliki resolusi yang tinggi (Zhang *et al.* 2019). Citra resolusi tinggi memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis objek menjadi lebih mudah (Hernina *et al.* 2019). Pesawat nirawak memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga dapat dioperasikan di medan yang sulit yang tidak dapat terjangkau apabila menggunakan metode terestis (Aryanti 2021). Citra UAV dapat menduga diameter setinggi dada (*diameter at breast heigh* (dbh)) dan berpotensi untuk mendapatkan informasi tegakan hutan dalam skala luas secara cepat. Namun, citra satelit memiliki akuisisi data yang tidak fleksibel dan kurang efektif untuk luas area yang kecil (Riswanto 2009).

Perum Perhutani mengklasifikasikan kayu bulat yang diproduksinya menjadi dua kategori yaitu kayu jati dan kayu rimba. Kayu rimba yaitu istilah bagi kayu selain kayu jati. Jati memiliki keunggulan dalam segi keawetan dan kekuatan sehingga sangat diminati oleh masyarakat (Lukmandaru 2020). Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Randublatung memiliki produksi utama berupa kayu jati. KPH Randublatung pada tahun 2020 menghasilkan produksi kayu jati sebesar 43.893 m³ yang merupakan produksi terbesar dari KPH yang ada di Divisi Regional Jawa Tengah (BPS 2021). Pengumpulan data peubah pohon jati seperti diameter dan tinggi pohon masih menggunakan metode konvensional. Pesawat nirawak yang dimiliki Perum Perhutani hanya digunakan untuk pengambilan foto yang hasilnya digunakan sebagai data pelengkap sumberdaya hutan. KPH Randublatung belum memiliki data terkait estimasi peubah pohon dan tegakan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemampuan citra UAV dengan tinggi terbang 90 meter dpl. dalam menduga peubah tegakan jati kelas umur XIV (75–80 tahun) di KPH Randublatung.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 1–14 Maret 2023 di RPH Ngliron KPH Randublatung pada tegakan jati kelas umur XIV di petak 34B seluas 23,9 ha.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan terdiri dari pita ukur, *phi band*, Nikon Forestry, GPS Garmin, *tally sheet*, penanda pohon, alat tulis, dan *smartphone*. Alat yang digunakan dalam pengolahan data terdiri dari laptop yang dilengkapi dengan *software PIX4DMapper*, ArcMap 10.5, Curve Expert 2.6.3, *Ms. Word*, dan *Ms. Excel*.

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa data pengukuran dimensi pohon jati yang diperoleh langsung dari pengukuran di lapangan. Pengambilan data dilakukan secara *purposive sampling* dengan kriteria tingkat kemiringan lereng (*slope*). Area contoh di lapangan berupa blok yang dibuat berbentuk persegi dengan ukuran 80 m × 80 m sebanyak tiga blok pada setiap tingkat kemiringan lereng. Pada setiap blok dibuat plot berukuran 20 m × 20 m untuk memudahkan pengukuran di lapangan. Setiap plot ukur dilakukan pengukuran data peubah pohon dan peubah tegakan. Data peubah tegakan terdiri dari diameter setinggi dada, tinggi total, dan diameter tajuk. Data peubah tegakan terdiri dari diameter rata-rata, tinggi total rata-rata, luas bidang dasar (lbds) rata-rata, dan jumlah pohon. Jumlah pohon yang diukur minimal sebanyak 30 pohon pada setiap blok.

Data sekunder berupa data foto udara yang dipotret menggunakan UAV pada ketinggian terbang 90 m dpl., sudut kamera 90°, dan overlap foto 67%. Hasil pemotretan foto udara dari UAV diolah menggunakan *PIX4Dmapper*. *PIX4DMapper software* yang digunakan dalam pembentukan *orthomosaic* dengan identifikasi pada *tie point*, pembentukan *point cloud*, *Digital Elevation Model (DEM)*, *Digital Surface Model (DSM)*, dan *Digital Terrain Model (DTM)* (Admoko 2015). Hasil pengolahan foto udara berupa DSM dan DTM digunakan sebagai input dengan format raster untuk mendapatkan hasil *Canopy Height Model (CHM)* (Mweresa et al. 2017).

Pengolahan dan Analisis Data

Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar peubah pohon melalui hubungan antara variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Analisis regresi dilakukan menggunakan *Ms. Excel* yang kemudian hasil dari analisis regresi divisualisasikan dalam bentuk grafik. Persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \tag{1}$$

Keterangan :

- Y = variabel terikat berupa peubah pohon dan tegakan di lapangan
- X = variabel bebas berupa peubah pohon dan tegakan pada citra UAV
- β_0 = konstanta / intersep
- β_1 = koefisien regresi
- ε = galat (sisaan)

Analisis regresi menghasilkan nilai koefisien korelasi (*r*) dari ketiga blok. Nilai koefisien korelasi digunakan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Menurut Sugiyono (2004), nilai *r* yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara variabel bebas dan variabel terikat (Tabel 1).

Tabel 1 Interpretasi koefisien korelasi

Interval	Tingkat hubungan
0,00 – 0,199	sangat rendah
0,20 – 0,399	rendah
0,40 – 0,599	sedang
0,60 – 0,799	kuat
0,80 – 1,000	sangat kuat

Setelah dilakukan analisis regresi, dilakukan transformasi *z-fisher* untuk mengetahui signifikansi perbedaan nilai koefisien korelasi yang dihasilkan pada masing-masing blok. Nilai *r* dikonversi menjadi *z* untuk selanjutnya dilakukan uji hipotesis untuk mengetahui terdapat perbedaan yang signifikan atau tidaknya nilai koefisien korelasi yang diperoleh. Berikut formula transformasi nilai *r* menjadi *z* (Suliadi 2022).

$$z = (0,5) \ln \frac{(1+r)}{(1-r)} \quad [2]$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}} \quad [3]$$

$$Z = (z_1 - z_2)/SE \quad [4]$$

Keterangan :

- z* = nilai transformasi koefisien korelasi
- r* = nilai koefisien korelasi
- SE = *standar error*
- n* = jumlah sampel
- Z = nilai statistik uji
- z*₁ = nilai *z* dari transformasi koefisien korelasi blok pertama
- z*₂ = nilai *z* dari transformasi koefisien korelasi blok kedua

Nilai Z yang dihasilkan dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai *p-value* menggunakan Microsoft Excel dengan formula =NORM.S.DIST (Z, TRUE). Nilai *p-value* digunakan untuk menguji hipotesis sesuai kaidah keputusan. Hipotesis dan kaidah keputusan yang digunakan adalah:

Hipotesis:

H₀ = koefisien korelasi dari kedua blok yang dibandingkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan

H₁ = koefisien korelasi dari kedua blok yang dibandingkan memiliki perbedaan yang signifikan

Kaidah keputusan:

- a. Nilai *p-value* ≥ 0,05 maka terima H₀
- b. Nilai *p-value* < 0,05 maka tolak H₀

Simpulan:

Jika H₀ diterima maka artinya koefisien korelasi dari kedua blok yang dibandingkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan

Jika H₀ ditolak maka artinya koefisien korelasi dari kedua blok yang dibandingkan memiliki perbedaan yang signifikan

Hasil pengujian korelasi digunakan untuk mempertimbangkan penggabungan blok. Dua blok yang memiliki perbedaan koefisien korelasi yang signifikan, tidak bisa digabung, sehingga analisis datanya dilanjutkan dengan mencari model regresi terbaik menggunakan Curve Expert. Model terbaik yang dipilih yaitu model yang memiliki nilai R² dan *r* yang paling tinggi. Nilai R² memiliki nilai 0 hingga 1, semakin mendekati 1 maka peubah bebas (*independent*) dapat menjelaskan peubah terikat (*dependent*) (Ghozali 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas Foto Udara

Perekaman data menggunakan drone DJI Matrice RTK Zenmuse L1 yang dilengkapi sensor LiDAR dan kamera 20 MP. Drone diterbangkan pada ketinggian sekitar 90 meter dpl. di petak 34B RPH Ngliron. Data yang dihasilkan diolah menggunakan perangkat lunak *PIX4Dmapper* dengan spesifikasi perangkat komputer yang tinggi (CPU minimal intel core i7, RAM minimal 16 GB, dan SSD minimal 512 GB). Durasi pengolahan data selama 2 jam 48 menit untuk menghasilkan data spasial dari area seluas 23,9 ha. Waktu ini jauh lebih efektif dibandingkan pengambilan data dengan metode konvensional yang membutuhkan waktu kurang lebih 2 hari kerja per 30 pohon. Hasil *quality report* dari *PIX4DMapper* disajikan pada Tabel 2.

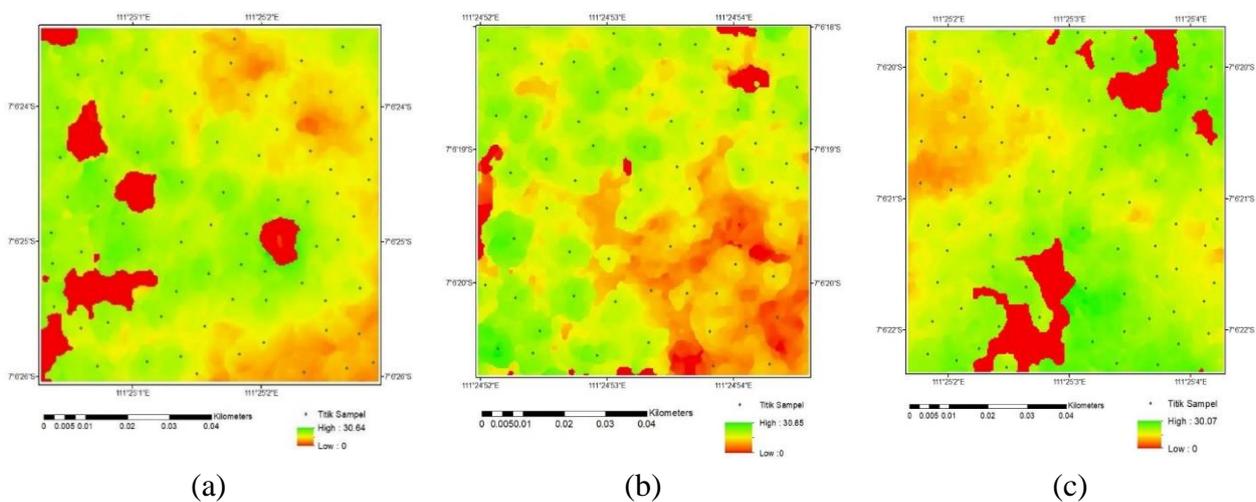
Tabel 2 Hasil *quality report* *PIX4DMapper*

Indikator	Nilai
<i>Callibrated images</i>	137 dari 139
<i>Average Ground Sampling Distance (GSD)</i>	6,46 cm/pixel
<i>Number of 3D Densified points</i>	16402622
<i>Average density (per m3)</i>	8,9

Callibrated images menunjukkan hasil gambar yang ditangkap oleh drone tidak berhasil dikalibrasi secara keseluruhan. Hal ini disebabkan pengambilan gambar yang kurang sempurna dikarenakan *tilt* atau kemiringan sumbu kamera. *Ground Sampling Distance (GSD)* memiliki ukuran resolusi piksel yang tinggi mengindikasikan bahwa citra menampilkan resolusi spasial yang tinggi dan gambar yang detail. *Number of 3D Densified points* menunjukkan jumlah *point clouds* yang dihasilkan, semakin tinggi ketelitian *point clouds* maka model 3D yang terbentuk semakin jelas.

Canopy Height Model (CHM)

Pengolahan data menggunakan *PIX4Dmapper* menghasilkan data *Digital Surface Model (DSM)* dan *Digital Terrain Model (DTM)*. DSM merupakan representasi digital permukaan bumi dengan objek di atas permukaan tanah, sedangkan DTM merupakan representasi digital permukaan bumi tanpa ada objek di atasnya (Wardana et al. 2019). Data DSM dan DTM digunakan untuk mendapatkan *Canopy Height Model (CHM)* melalui pengurangan DSM dan DTM (Gambar 1).



Gambar 1 Hasil pengolahan *Canopy Height Model (CHM)*: (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

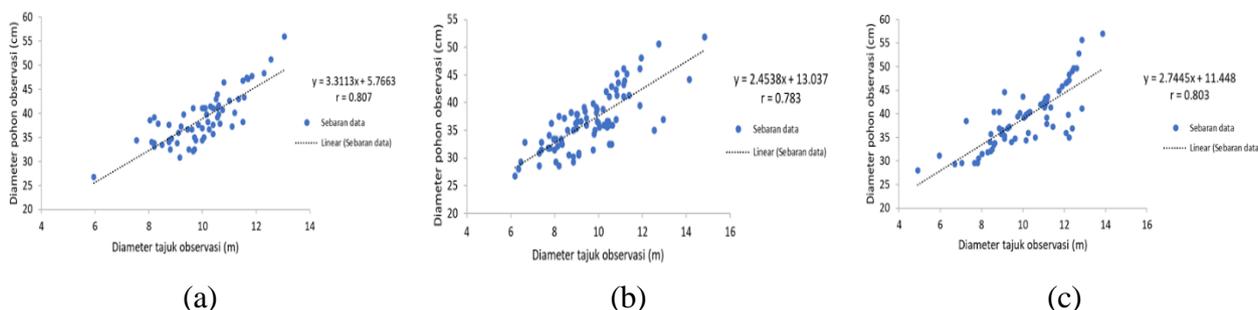
Gambar 1 menunjukkan warna pada peta merupakan nilai CHM yang menunjukkan tinggi pohon. Semakin hijau maka nilai CHM semakin tinggi (pohon tinggi) dan semakin merah maka nilai CHM rendah (pohon pendek). Nilai estimasi ketinggian pohon yang diperoleh dari CHM untuk KU 14 berada pada rentang 0–31 meter. Setiap blok ukuran yang sama tetapi memiliki tingkat kemiringan lereng berbeda yang berpengaruh terhadap jumlah pohon. Blok 2 dengan kemiringan lereng landai memiliki jumlah pohon terbanyak (Tabel 3).

Tabel 3 Jumlah pohon, rentang tinggi dan diameter pohon dari setiap blok

Nomor blok	Kemiringan lereng	Jumlah pohon	Rentang tinggi pohon (m)	Rentang diameter pohon (cm)
1	Datar	64	17,4 – 37,8	26,7 – 56,0
2	Landai	82	16,8 – 39,8	26,7 – 51,9
3	Agak curam	74	16,3 – 37,2	28,0 – 56,9

Hubungan antara Peubah Pohon di Lapangan

Analisis hubungan peubah pohon di lapangan dilakukan untuk mengetahui korelasi antara diameter pohon dan diameter tajuk. Diameter tajuk merupakan indikator yang mencerminkan ukuran, usia, dan kesehatan pohon. Ukuran diameter tajuk yang lebih besar umumnya berhubungan dengan diameter pohon yang lebih besar dan berguna untuk menganalisis struktur dan dinamika hutan. Menurut Buba (2013), diameter tajuk dan diameter pohon memiliki korelasi positif. Hubungan dari kedua peubah tersebut dapat diketahui melalui analisis regresi linear (Gambar 2).



Gambar 2 Regresi linear diameter pohon dengan diameter tajuk: (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

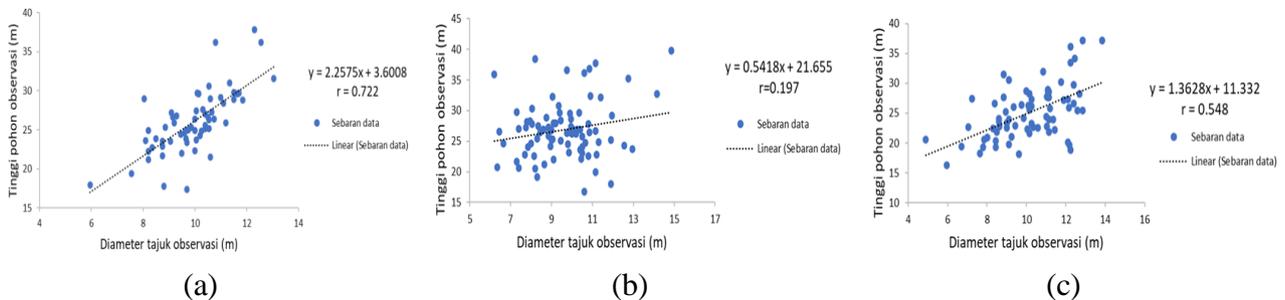
Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa ketiga blok memiliki nilai koefisien korelasi secara berturut-turut sebesar 0,807; 0,783; dan 0,803. Tingginya nilai koefisien korelasi menandakan bahwa diameter tajuk memiliki korelasi yang kuat dengan diameter pohon di mana lebih dari 78% keragaman diameter tajuk dapat menerangkan keragaman diameter pohon. Korelasi yang kuat ini membuktikan bahwa semakin bertambahnya diameter tajuk, maka semakin besar pula nilai diameter pohon. Pengujian nilai koefisien korelasi antar blok menghasilkan nilai $p\text{-value} > 0,05$ (Tabel 4) yang berarti terima H_0 sehingga ketiga blok tidak memiliki perbedaan nilai koefisien korelasi yang signifikan atau dapat diasumsikan bahwa nilai koefisien korelasi ketiga blok tersebut setara.

Tabel 4 Nilai $p\text{-value}$ hubungan diameter tinggi pohon dengan diameter tajuk

Kombinasi Blok	$p\text{-value}$	A
Blok 1 dan Blok 2	0,506	0,05
Blok 2 dan Blok 3	0,458	0,05
Blok 1 dan Blok 3	0,455	0,05

Selain hubungan diameter pohon dan diameter tajuk, hubungan tinggi pohon dengan diameter tajuk juga perlu diketahui korelasinya. Tinggi pohon merupakan salah satu dimensi pohon yang

penting digunakan dalam pendugaan potensi pohon maupun tegakan. Pengukuran tinggi pohon di lapangan lebih sulit dilakukan dan membutuhkan banyak waktu dibandingkan dengan pengukuran diameter pohon. Korelasi tinggi pohon dan diameter tajuk perlu diketahui untuk melihat kecenderungan hubungan dari keduanya (Gambar 3).



Gambar 3 Regresi linear tinggi pohon dengan diameter tajuk: (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

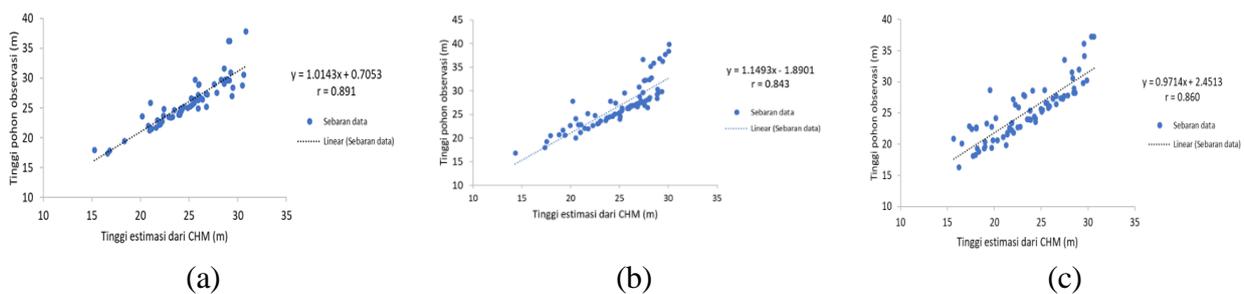
Hasil pengujian nilai koefisien korelasi antar blok menunjukkan perbedaan nilai koefisien korelasi yang signifikan antara ketiga blok, terutama pada blok 2. Nilai koefisien korelasi secara berturut-turut sebesar 0,722; 0,197; dan 0,548. Koefisien korelasi ini diartikan bahwa semakin besar nilai tinggi pohon tidak berkaitan dengan diameter tajuk. Hasil transformasi *z-fisher* pada kombinasi blok 2 dan blok 3 memiliki nilai *p-value* < 0,05 yang berarti tolak H_0 sehingga ada blok yang memiliki perbedaan yang signifikan sehingga salah satu dari ketiga blok tidak dapat digabung (Tabel 5). Dari uraian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa diameter tajuk memiliki korelasi yang kuat dengan diameter pohon dibandingkan dengan tinggi pohon.

Tabel 5 Nilai *p-value* hubungan tinggi pohon dengan diameter tajuk

Kombinasi Blok	<i>p-value</i>	A
Blok 1 dan Blok 2	0,999	0,05
Blok 2 dan Blok 3	0,005	0,05
Blok 1 dan Blok 3	0,955	0,05

Hubungan antara Peubah Pohon di lapangan dengan Peubah pohon di Citra

Data CHM yang telah diperoleh digunakan untuk mengestimasi ketinggian pohon menggunakan ArcMap 10.5 dengan *tools extract multi values to points*. Data koordinat pohon digunakan sebagai input dalam proses pengolahan data. Data tinggi pohon hasil observasi di lapangan dengan data tinggi pohon estimasi visual di citra UAV (data CHM) dilakukan analisis regresi linear untuk mengetahui hubungan kedua peubah tersebut (Gambar 4).



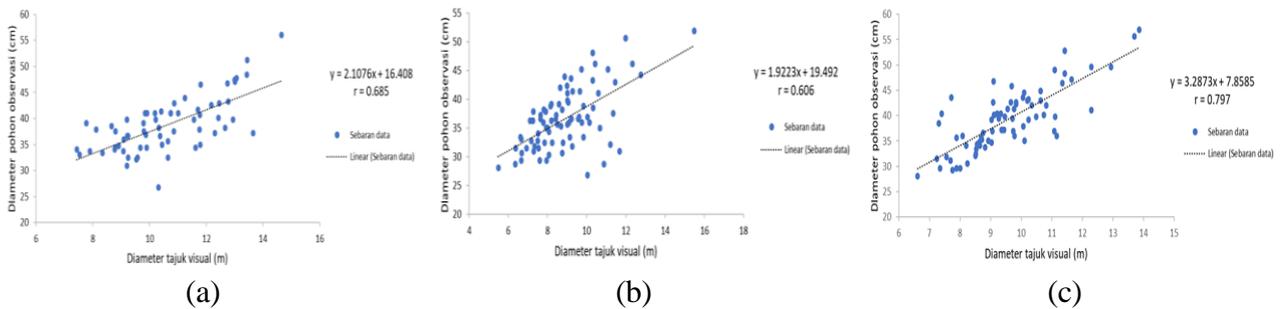
Gambar 4 Regresi linear tinggi pohon observasi dengan tinggi pohon visual: (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa ketiga blok memiliki nilai koefisien korelasi secara berturut-turut sebesar 0,891; 0,843; dan 0,869. Tingginya nilai koefisien korelasi menandakan bahwa tinggi pohon observasi memiliki korelasi yang kuat dengan tinggi pohon visual. Hasil pengujian nilai koefisien korelasi antar blok dari ketiga blok memiliki nilai $p\text{-value} > 0,05$ (Tabel 6) yang berarti terima H_0 sehingga ketiga blok tidak memiliki perbedaan nilai koefisien korelasi yang signifikan atau dapat diasumsikan bahwa nilai koefisien korelasi ketiga blok tersebut setara.

Tabel 6 Nilai $p\text{-value}$ hubungan tinggi pohon observasi dengan tinggi pohon visual

Kombinasi Blok	$p\text{-value}$	A
Blok 1 dan Blok 2	0,841	0,05
Blok 2 dan Blok 3	0,649	0,05
Blok 1 dan Blok 3	0,269	0,05

Analisis citra foto udara memiliki kendala dalam pengukuran diameter pohon akibat keterbatasan visual. Peubah diameter pohon hasil observasi di lapangan dengan diameter tajuk visual pada citra UAV perlu diketahui korelasinya (Gambar 5). Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam memperoleh nilai estimasi diameter pohon di lapangan.



Gambar 5 Regresi linear diameter pohon observasi dengan diameter tajuk visual:
 (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

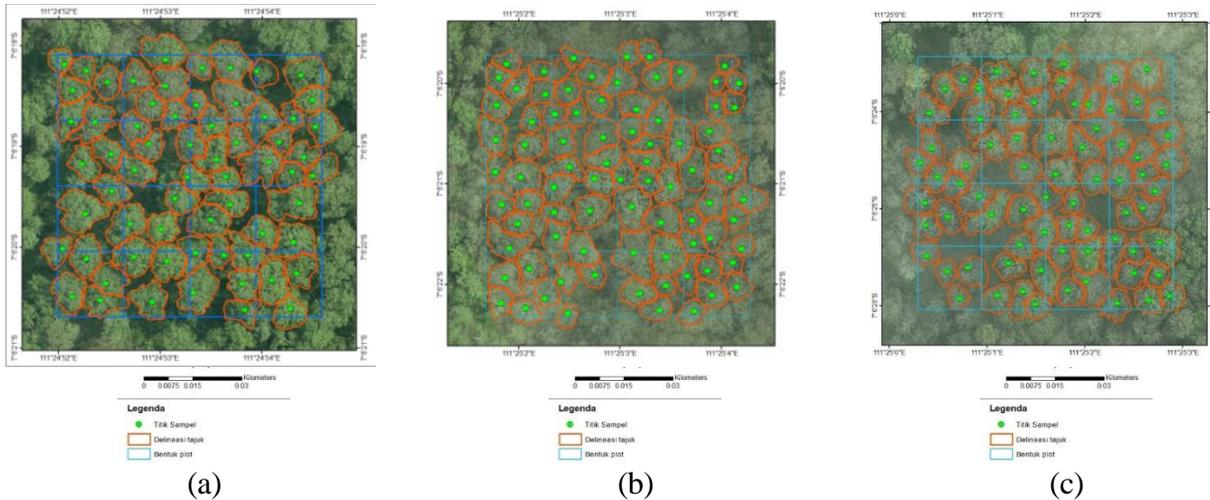
Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa ketiga blok memiliki nilai koefisien korelasi secara berturut-turut sebesar 0,685; 0,606; dan 0,797. Nilai koefisien korelasi cukup tinggi menandakan bahwa tinggi diameter pohon observasi memiliki korelasi yang kuat. Hasil pengujian nilai koefisien korelasi antar blok dari ketiga blok memiliki nilai $p\text{-value} > 0,05$ (Tabel 7) yang berarti terima H_0 sehingga ketiga blok tidak memiliki perbedaan nilai koefisien korelasi yang signifikan atau dapat diasumsikan bahwa nilai koefisien korelasi ketiga blok tersebut setara.

Tabel 7 Nilai $p\text{-value}$ hubungan diameter pohon observasi dengan diameter tajuk visual

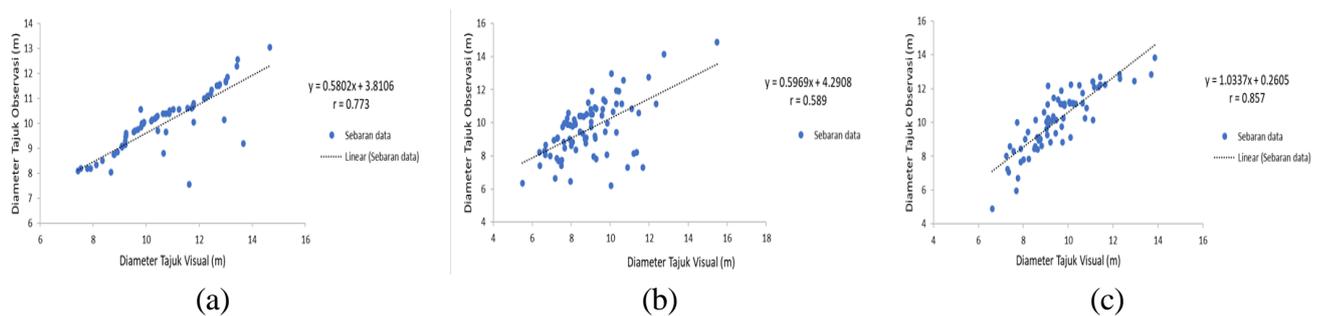
Kombinasi Blok	$p\text{-value}$	A
Blok 1 dan Blok 2	0,787	0,05
Blok 2 dan Blok 3	0,991	0,05
Blok 1 dan Blok 3	0,927	0,05

Pengukuran diameter tajuk di lapangan sulit dilakukan pada sisi tajuk terluar terlebih untuk pohon dengan area yang memiliki kerapatan tinggi. Diameter tajuk visual pada foto udara merupakan salah satu parameter yang tampak jelas (Gambar 6) dan dapat dianalisis untuk mengestimasi diameter tajuk sebenarnya (Wahyudiono 2022). Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa ketiga blok memiliki nilai koefisien korelasi secara berturut-turut sebesar 0,773; 0,589; dan 0,857 (Gambar 7). Nilai koefisien korelasi tersebut beragam dipengaruhi oleh kerapatan tegakan pada setiap blok di mana pada tegakan dengan kerapatan yang tinggi akan lebih sulit dalam menginterpretasi tajuk (Auliya 2020).

Blok 2 memiliki kerapatan yang tinggi sehingga nilai koefisien korelasinya lebih kecil dibandingkan dengan blok lainnya. Hasil pengujian nilai koefisien korelasi antar blok dari ketiga blok memiliki nilai $p\text{-value} > 0,05$ (Tabel 8) yang berarti terima H_0 sehingga ketiga blok tidak memiliki perbedaan nilai koefisien korelasi yang signifikan atau dapat diasumsikan bahwa ketiga blok tersebut memiliki nilai koefisien korelasi yang setara.



Gambar 6 Hasil pengolahan diameter tajuk visual : (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3



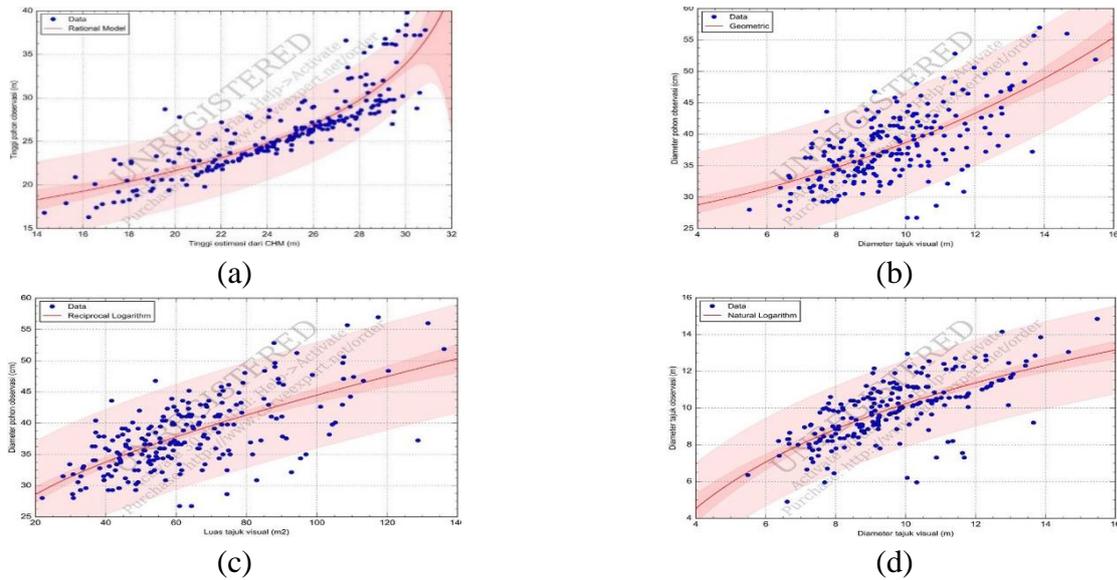
Gambar 7 Regresi linear diameter tajuk observasi dengan diameter tajuk visual: (a) blok 1 (b) blok 2 (c) blok 3

Tabel 8 Nilai $p\text{-value}$ hubungan diameter tajuk observasi dengan diameter tajuk visual

Kombinasi Blok	$p\text{-value}$	α
Blok 1 dan Blok 2	0,981	0,05
Blok 2 dan Blok 3	0,999	0,05
Blok 1 dan Blok 3	0,928	0,05

Bentuk Regresi Terbaik Hubungan antara Peubah Pohon dengan Peubah Citra

Bentuk regresi terbaik antar peubah perlu diketahui agar dapat memperkirakan nilai peubah pohon tertentu hanya dari citra tanpa perlu melakukan pengukuran lapangan secara langsung. Hal ini sangat efisien dan memudahkan pengambilan data terutama untuk area yang luas. Kurva model regresi hubungan peubah pohon dengan peubah citra disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Model regresi hubungan antara peubah pohon dengan peubah citra: (a) Tinggi pohon observasi dengan tinggi pohon visual (b) diameter tajuk pohon observasi dengan diameter tajuk visual (c) Diameter pohon observasi dengan luas tajuk visual (d) Diameter tajuk observasi dengan diameter tajuk visual

Analisis regresi menggunakan *Curve Expert* menunjukkan bahwa model regresi fungsi rasional paling cocok untuk memprediksi tinggi pohon observasi berdasarkan data estimasi tinggi pohon visual dari *Canopy Height Model* (CHM) (Gambar 8a). Model ini termasuk dalam kategori regresi non-linear dan memiliki persamaan $y = (13,592482 - 0,382002)x / (1 + 0,046253x + 0,000501x^2)$, di mana y yaitu tinggi pohon observasi dan x yaitu tinggi pohon visual dari CHM. Hasil analisis ini mengindikasikan adanya hubungan positif antara tinggi pohon visual CHM dan tinggi pohon sebenarnya. Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,882 yang berarti memiliki hubungan yang sangat kuat. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan sebesar 0,78 yang menunjukkan keragaman tinggi visual dapat menerangkan keragaman pohon observasi, sedangkan 22% sisanya dijelaskan oleh variabel lain yang tidak digunakan dalam penelitian.

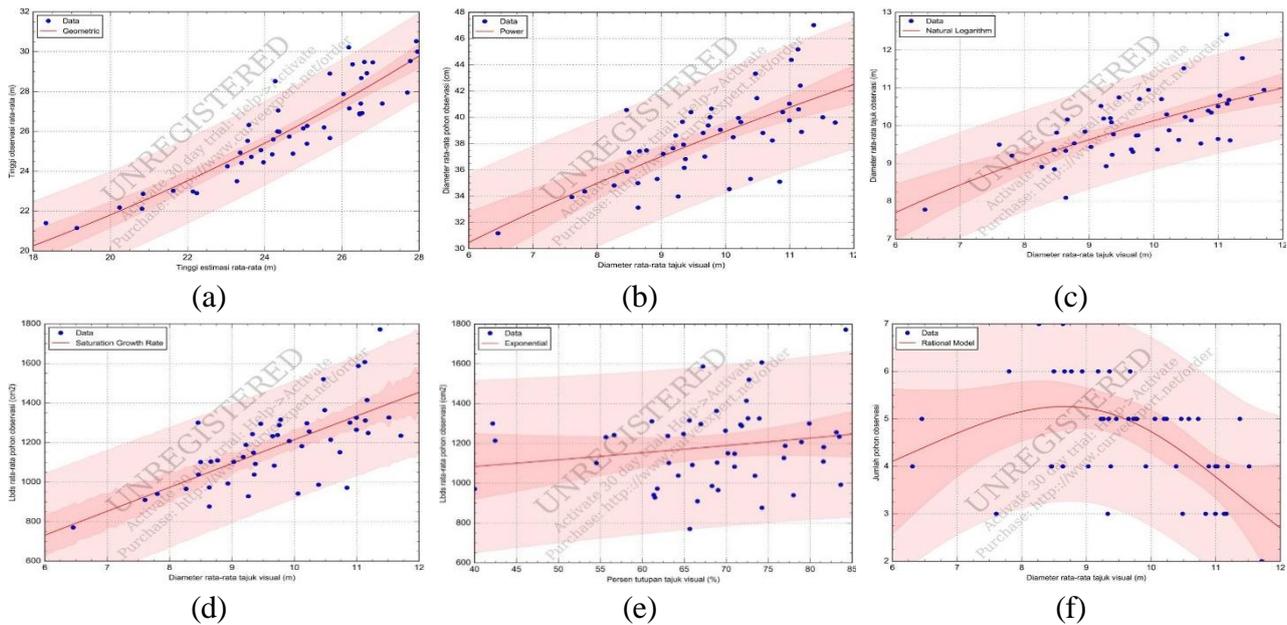
Estimasi diameter pohon observasi dilakukan pemodelan menggunakan dua variabel bebas, yaitu diameter tajuk visual dan luas tajuk visual. Model terbaik untuk hubungan diameter pohon observasi dan diameter tajuk visual yaitu model geometrik dengan persamaan $y = 26,217201x^{0,016861x}$ di mana y yaitu diameter pohon observasi dan x yaitu diameter tajuk visual (Gambar 8b). Model terbaik untuk hubungan antara diameter pohon observasi dan luas tajuk visual yaitu model resiprokal logaritma dengan persamaan $y = 1 / (0,058286 - 0,007774) \ln(x)$ di mana y yaitu diameter pohon observasi dan x yaitu luas tajuk visual (Gambar 8c). Koefisien korelasi diameter pohon observasi dan diameter tajuk visual sebesar 0,678, sedangkan koefisien korelasi diameter pohon observasi dan luas tajuk visual sebesar 0,666. Selain itu, R^2 dari model dengan peubah bebas diameter tajuk memiliki nilai yang lebih besar sebesar 0,460 dibandingkan R^2 model dengan peubah luas tajuk visual senilai 0,444. Hasil ini menyatakan bahwa peubah diameter tajuk visual lebih baik dalam mengestimasi diameter observasi pohon (Auliya *et al.* 2020).

Peubah pohon diameter tajuk observasi di estimasi menggunakan peubah citra diameter tajuk visual. Model terbaik untuk hubungan diameter tajuk observasi dengan diameter tajuk visual yaitu model logaritma dengan persamaan $y = -4,082612 + 6,217363 \ln(x)$ di mana y yaitu diameter tajuk observasi dan x yaitu diameter tajuk visual (Gambar 8d). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,689 yang berarti memiliki hubungan kuat. Nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,48 berarti

bahwa sekitar 48% diameter tajuk visual mampu menerangkan diameter tajuk observasi, sedangkan sisanya 52% dijelaskan oleh variabel lainnya yang tidak digunakan dalam penelitian.

Bentuk Regresi Terbaik Hubungan antara Peubah Tegakan dengan Peubah Citra

Peubah tegakan yang digunakan berupa peubah yang umum dipakai dalam pendugaan potensi tegakan seperti tinggi pohon rata-rata, diameter rata-rata, luas bidang dasar (lbsd) rata-rata, dan jumlah pohon. Pengolahan peubah pohon menggunakan keseluruhan tanpa membaginya kedalam kelas kemiringan lereng. Oleh karena itu, estimasi peubah tegakan dapat langsung menggunakan model regresi terbaik (Gambar 9).



Gambar 9 Hubungan antara peubah tegakan dengan peubah citra: (a) Tinggi rata-rata tegakan observasi dengan tinggi rata-rata tegakan visual (b) Diameter rata-rata tegakan observasi dengan diameter rata-rata tajuk visual (c) Diameter rata-rata tajuk observasi dengan diameter rata-rata tajuk visual (d) lbsd rata-rata tegakan observasi dengan diameter rata-rata tajuk visual (e) Lbds rata-rata tegakan observasi dengan persenutupan tajuk visual (f) Jumlah pohon observasi dengan diameter rata-rata tajuk visual

Analisis regresi antara tinggi rata-rata tegakan observasi dan tinggi rata-rata tegakan visual menghasilkan model terbaik berupa model geometrik dengan persamaan $y = 12.464283x^{0.009337x}$ di mana y yaitu tinggi rata-rata observasi dan x yaitu tinggi rata-rata visual (Gambar 9a). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,909 yang berarti memiliki hubungan kuat. Nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,83 berarti bahwa sekitar 83% tinggi rata-rata tegakan visual mampu menerangkan tinggi rata-rata tegakan observasi, sedangkan sisanya 17% dijelaskan oleh variabel lainnya yang tidak digunakan dalam penelitian.

Analisis sebelumnya menunjukkan bahwa diameter tajuk visual memiliki hubungan yang lebih kuat dengan diameter pohon observasi dibandingkan dengan luas tajuk visual. Oleh karena itu, dalam perkiraan diameter rata-rata tegakan observasi, variabel yang digunakan yaitu diameter rata-rata tajuk visual. Model terbaik yang dihasilkan berupa model power yang termasuk dalam kategori regresi non linear dengan persamaan $y = 12.900189x^{0.479806}$ di mana y yaitu diameter rata-rata tegakan observasi dan x yaitu diameter rata-rata tajuk visual (Gambar 9b). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,697 yang berarti kedua peubah itu memiliki hubungan yang kuat. Nilai R^2 yang diperoleh

sebesar 0,49 berarti bahwa sekitar 49% diameter rata-rata tajuk visual mampu menerangkan diameter rata-rata tegakan observasi, sedangkan sisanya 51% dijelaskan oleh variabel lainnya yang tidak digunakan dalam penelitian.

Diameter rata-rata tajuk visual memiliki korelasi yang erat untuk mengestimasi diameter rata-rata tajuk observasi. Model terbaik yang dihasilkan berupa model natural logaritma dengan persamaan $y = -0.843949 + 4.766682\ln(x)$ di mana y yaitu diameter rata-rata tajuk observasi dan x yaitu diameter rata-rata tajuk visual (Gambar 9c). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,464 yang berarti kedua peubah itu memiliki hubungan cukup kuat. Nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,46 berarti bahwa sekitar 46% diameter rata-rata tajuk visual mampu menerangkan diameter rata-rata tajuk observasi, sedangkan sisanya 54% dijelaskan oleh variabel lainnya yang tidak digunakan dalam penelitian. Rendahnya nilai R^2 disebabkan oleh ketinggian terbang dan kualitas pesawat nirawak yang mempengaruhi kualitas foto udara dan interpretasi terhadap objek foto udara (Hardiansyah 2020).

Peubah tegakan lbs rata-rata observasi diestimasi menggunakan peubah citra diameter rata-rata tajuk visual dan persenutupan tajuk visual. Persentaseutupan tajuk dan luas tajuk visual merupakan dua peubah yang berbeda. Persentaseutupan tajuk mengukur proporsi area yang tertutup oleh tajuk pohon dalam suatu plot tertentu, sehingga tidak memperhitungkan tajuk pohon yang berada di luar plot tersebut. Sebaliknya, luas tajuk visual diukur untuk setiap pohon secara individu. Model terbaik untuk hubungan lbs rata-rata observasi dan diameter rata-rata tajuk visual berupa model *saturation growth rate* dengan persamaan $y = 119293.054560x / 972.580966 + x$ di mana y yaitu lbs rata-rata tegakan observasi dan x yaitu diameter rata-rata tajuk visual (Gambar 9d). Model terbaik untuk hubungan lbs rata-rata observasi dan persenutupan tajuk visual berupa model eksponensial dengan persamaan $y = 957.578635e^{-x/322.508703}$ di mana y yaitu lbs rata-rata observasi dan x yaitu persenutupan tajuk (Gambar 9e). Nilai koefisien korelasi untuk hubungan lbs rata-rata observasi dengan diameter rata-rata tajuk visual menunjukkan korelasi yang kuat antara keduanya. Nilai koefisien korelasi untuk hubungan lbs rata-rata observasi sebesar 0,691 yang berarti kedua peubah itu memiliki hubungan yang kuat. Nilai koefisien korelasi untuk hubungan lbs rata-rata observasi dengan persenutupan tajuk senilai 0,383 artinya terdapat hubungan yang lemah antar kedua peubah. Hal ini dikarenakan pada persenutupan tajuk tidak dibedakan untuk satu pohon tetapi untuk tajuk yang menutupi area dalam satu plot. Selain itu, R^2 dari model dengan peubah bebas diameter rata-rata tajuk visual memiliki nilai yang lebih besar senilai 0,478 dibandingkan R^2 model dengan peubah persenutupan tajuk senilai 0,147. Hasil ini menyatakan bahwa peubah diameter rata-rata tajuk visual lebih baik dalam mengestimasi lbs rata-rata observasi.

Jumlah pohon merupakan salah satu informasi penting dalam mengukur potensi suatu hutan. Dengan mengetahui jumlah pohon, kita dapat menghitung kerapatan pohon, frekuensi jenis pohon, dan dominansi jenis pohon, terutama untuk hutan yang memiliki banyak jenis pohon berbeda (Putra 2015). Jumlah pohon dapat diestimasi menggunakan foto udara dengan mengukur diameter tajuk setiap pohon (Isip *et al.* 2018). Model terbaik yang dihasilkan berupa model dengan persamaan $y = (1.778164x - 0.102480x) / (1 - 0.172446x + 0.008837x)$, di mana y yaitu jumlah pohon observasi dan x yaitu diameter rata-rata tajuk visual (Gambar 9f). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari model senilai 0,585 yang berarti kedua peubah itu memiliki hubungan cukup kuat. Nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,34 berarti bahwa sekitar 34% diameter rata-rata tajuk visual mampu menerangkan jumlah pohon observasi, sedangkan sisanya 66% dijelaskan oleh variabel lainnya yang tidak digunakan dalam penelitian. Ukuran ruang yang dibutuhkan oleh setiap pohon untuk tumbuh berhubungan erat dengan ukuran tajuk pohon. Semakin besar diameter pohon, maka diameter tajuknya akan semakin

besar. Penjarangan perlu dilakukan untuk mengurangi kompetisi antar pohon sehingga jumlah pohon per satuan luas lahan akan semakin sedikit.

SIMPULAN

Penginderaan jauh menggunakan pesawat nirawak atau citra UAV dapat digunakan untuk mengestimasi peubah pohon dan peubah tegakan jati pada kelas umur XIV di KPH Randublatung. Peubah pohon seperti tinggi pohon observasi dapat diestimasi menggunakan tinggi visual dari CHM, sedangkan diameter pohon observasi dan diameter tajuk observasi dapat diestimasi menggunakan diameter tajuk visual. Peubah tegakan seperti tinggi pohon rata-rata observasi dapat diestimasi menggunakan tinggi rata-rata tegakan visual, sedangkan untuk diameter rata-rata tegakan observasi, diameter rata-rata tajuk observasi, lbd rata-rata observasi, dan jumlah pohon dapat diestimasi menggunakan diameter rata-rata tajuk visual.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. *Produksi Kayu Jati Menurut Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) di Jawa Tengah, 2020 (m³)*. [diakses 2023 Jun 25]. <https://jateng.bps.go.id/statictable/2021/04/12/2321/produksi-kayu-jati-menurut-kesatuan-pemangkuan-hutan-kph-di-provinsi-jawa-tengah-m3-2020.html>.
- Arrofiqoh EN, Muryanto R, Afyanti D, Azizah SC, Kresnawan DS, Fabiola AN. 2022. Pemanfaatan UAV dengan sensor kamera dan LiDAR untuk pemetaan situs cagar budaya kawasan Candi Prambanan. *Jurnal Geoid*. 17(2) : 176-184.
- Aryanti SD. 2021. Estimasi tinggi dan diameter tegakan hutan menggunakan citra pesawat nirawak dengan ketinggian terbang 80 meter [skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- 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) Mandiangan Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientieae* 3(3) : 516-522.
- Buba T. 2012. Prediction equations for estimating tree height, crown diameter, crown height and crown ratio of *Parkia biglobosa* in The Nigerian Guinea Savanna. *African Journal of Agricultural Research* 7(49): 6541-6543.
- Ghozali I. 2016. *Aplikasi Analisis Multivariat dengan Program SPSS 23*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hardiansyah AK. 2020. Pendugaan tinggi, diameter, dan tutupan tajuk tegakan menggunakan teknologi unmanned aerial vehicle (UAV) [skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- 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 Falook* 5(1) : 16-30.
- Hernina R, Putera R, Rosyidy MK, Ramadhan MI, Pitra TA. 2019. Analisis tinggi terbang drone dan resolusi untuk pemetaan penggunaan lahan menggunakan DJI Phantom 4 Prp (studi kasus Kampus UI). Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke 6 Tahun 2019. 2019 Jul 17 ; Depok, Indonesia. Depok : LAPAN.
- Isip MF, Camaso EE, Damian GB, Alberto RT. Estimation of mango tree count and crown cover delineation using template matching algorithm. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* 45(98) : 1995 – 1960.
- Lukmandaru G, Zulkahfi, Irawati D, Listyanto T, Rodiana D,. 2020. Kadar ekstraktif dan sifat warna

kayu jati plus Perhutani umur 11 tahun dari KPH Ngawi. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14(2) : 213-227.

Mweresa, Asige I, Odera PA, Kuria DN, Kenduiywo BK. 2017. Estimation of tree distribution and canopy heights in Ifakara, Tanzania, using Unmanned Aerial System (UAS) stereo imagery. *American Journal of Geographic Information System* 6(5) : 187 – 200.

Putra AT. 2015. Analisa potensi tegakan hasil inventarisasi hutan di KPHP Model Berau Barat. *Jurnal Agrifor* 14(2): 147-160.

Riswanto E. 2009. Evaluasi akurasi klasifikasi penutupan lahan menggunakan citra ALOS PALSAR resolusi rendah studi kasus di Pulau Kalimantan [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Sugiyono. 2004. *Statistik untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta.

Suliadi. 2022. Kode r dan selang kepercayaan korelasi berdasarkan empirical likelihood serta implementasinya pada korleasi PDRB dengan jumlah kasus covid-19 di Indonesia. *Jurnal Statistika* 22(1) : 1-11.

Wahyudiono S, Suhartati T, Suwadji S, Simbolon JP. 2022. Efisiensi pemanfaatan LiDAR untuk menaksir tinggi dan diameter pohon dalam kegiatan inventarisasi sumberdaya hutan. Peran Perkebunan & Perhutanan Untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa. Seminar Nasional Instiper ; 2022 Jul 13 ; Yogyakarta, Indonesia. Yogyakarta : Instiper. hlm 180-187.

Zhang X, Zhang F, Qi Y, Deng L, Wang X, Yang S. 2019. New research methods for vegetation information extraction based on visible light remote sensing images from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Int. J. Appl. Earth Observation Geoinformation*. 78: 215–226.