

MODEL PENDUGA KUALITAS TEMPAT TUMBUH JATI (*Tectona grandis*) MENGUNAKAN CITRA RESOLUSI SANGAT TINGGI PESAWAT TIDAK BERAWAK DI KPH NGANJUK

*(Estimation Model of Site Quality of Teak (*Tectona grandis*) Using Very High-Resolution Imagery from Unmanned Aerial Vehicle in KPH Nganjuk)*

Kusnadi^{1*}, I Nengah Surati Jaya², Nining Puspaningsih², Makin Basuki³, dan Lukman Hakim³

¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

Jl. lingk. Akademik, Kampus IPB Dramaga, PO Box 168, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

²Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Jl. lingk. Akademik, Kampus IPB Dramaga, PO Box 168, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia.

³KPH Nganjuk, Perum Perhutani Unit II Jawa Timur, Nganjuk

*E-mail: ins-jaya@ipb.ac.id; ins-jaya@apps.ipb.ac.id

Diterima 5 Februari 2016; revisi terakhir 9 Agustus 2016; disetujui 11 Agustus 2016

ABSTRAK

Kualitas tempat tumbuh merupakan salah satu informasi utama yang dibutuhkan dalam pengelolaan tegakan hutan. Kelas kualitas tempat tumbuh tegakan (bonita) perlu dievaluasi setiap periode tertentu karena kualitas tegakan hutan dapat berubah akibat pengelolaan yang diterapkan. Penelitian ini menggunakan citra resolusi sangat tinggi yang diperoleh dari pesawat tidak berawak untuk menduga kualitas tempat tumbuh jati (*Tectona grandis*). Citra UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang digunakan direkam pada ketinggian 400 m di atas datum (ketinggian rata-rata permukaan lahan) dengan resolusi spasial 15 cm. Model penduga kualitas tempat tumbuh dibangun menggunakan analisis diskriminan. Penelitian ini menunjukkan nilai akurasi dari fungsi diskriminan menggunakan peubah ganda kerapatan tajuk (C) dan rata-rata diameter tajuk (\bar{D}_c) yaitu sebesar 60,94%.

Kata kunci: Citra UAV, bonita, penutupan tajuk, jati (*Tectona grandis*)

ABSTRACT

Site quality is one of the main information needed in forest stand management. Site quality classes need to be evaluated every certain period because the quality of forest stands may change as a result of management applied. This study describes the use of very high-resolution imagery derived from unmanned aerial vehicle (UAV) for estimating the site quality of teak (*Tectona grandis*). The UAV imagery used was taken from 400 m above datum (the average land surface elevation) with ground spatial resolution of 15 cm. Site quality estimation models was built using discriminant analysis. The study found that the best accuracy from discriminant function using multiple variables canopy density (C) and average of crown diameter (\bar{D}_c) is 60.9%.

Keywords: UAV image, site quality, canopy density, teak (*Tectona grandis*)

I. PENDAHULUAN

Jati merupakan tanaman unggulan Perum Perhutani dalam pembangunan hutan tanaman. Penanaman jati telah dilakukan sejak jaman penjajahan Belanda yang kemudian dilanjutkan oleh Perum Perhutani secara teratur dengan membagi areal yang dikelola ke dalam petak tertentu berdasarkan kelas kualitas tempat tumbuh tegakan atau bonita (Riyanto dan Pahlana, 2012).

Kualitas tempat tumbuh merupakan hal yang sangat penting dalam penanaman jati karena mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Kualitas tempat tumbuh dalam konteks

pengelolaan hutan berbasis kayu mencerminkan potensi produksi kayu pada suatu tegakan (Upadhyay *et al.*, 2005).

Kualitas tempat tumbuh suatu tegakan bersifat spesifik pada jenis dan lokasi tertentu (Simarmata, 2015), sehingga diperlukan pengukuran pada setiap petak tegakan. Pengukuran langsung di lapangan pada umumnya terkendala biaya, waktu dan tenaga. Kendala ini dapat diatasi dengan penggunaan aplikasi penginderaan jauh (Marini *et al.*, 2014). Aplikasi penginderaan jauh dalam inventarisasi hutan menurut McRoberst dan Tomppo (2007) memiliki keuntungan pada biaya perolehan

data dan interpretasinya yang lebih murah dibanding biaya perjalanan, serta perolehan data yang lebih cepat dan lebih mudah.

Perkembangan terakhir aplikasi penginderaan jauh dalam pemantauan sumber daya hutan adalah penggunaan pesawat tidak berawak (*unmanned aerial vehicle/UAV*) untuk pengambilan potret udara yang mulai menggeser peranan citra satelit resolusi sangat tinggi karena beberapa alasan (Rokhmana, 2015): efisiensi biaya, dihasilkan dengan cepat, mudah dioperasikan, dan akurasi geometri yang baik. Sistem pesawat tidak berawak memiliki potensi yang besar pada pemantauan, penilaian, dan beragam kegiatan lain dalam pengelolaan sumber daya alam (Rango dan Laliberte, 2010).

Pendugaan kualitas tempat tumbuh menggunakan peubah dari citra telah dilakukan oleh peneliti lainnya. Wahyuni (2012) melakukan pendugaan bonita jati di KPH Madiun menggunakan peubah dari citra UAV dan menemukan bahwa kualitas tempat tumbuh jati dapat diduga menggunakan peubah kerapatan tajuk, diameter tajuk dan jumlah pohon. Hayat (2015) menyatakan bahwa peubah *normalized difference vegetation index* (NDVI), persentase penutupan tajuk, salinitas, dan kerapatan tegakan yang diperoleh dari citra Landsat dapat digunakan untuk menyusun model pendugaan bonita pada kawasan mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model penduga kualitas tempat tumbuh jati dengan menggunakan peubah-peubah tegakan yang dihasilkan dari citra pesawat tidak berawak (UAV).

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengamatan lapangan dilaksanakan pada tegakan hutan jati yang berada pada wilayah Resort Pengelolaan Hutan (RPH) Cabean, Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Ngluyu, Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Nganjuk, Perum Perhutani Unit II Jawa Timur. Pengamatan tersebut dilakukan pada bulan Februari sampai Maret 2015. Secara administratif, lokasi penelitian terletak di Desa Sugihwaras Kecamatan Ngluyu Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur. Sedangkan secara geografis, lokasi penelitian ini terletak di antara 111°54'30.38"BT dan 111°56'04.36"BT serta 7°26'44.81"LS dan 7°27'50.92"LS (Gambar 1). Pengolahan data dan analisis citra UAV dilakukan di Laboratorium Fisik Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis, Fakultas

Kehutanan Institut Pertanian Bogor mulai bulan April sampai dengan Oktober 2015.

B. Data Sekunder

Data utama yang digunakan pada penelitian ini adalah citra UAV resolusi spasial 15 cm yang direkam pada bulan Juli 2013. Data lainnya mencakup peta petak dan anak petak, tahun tanam serta bonita. Kelas bonita yang digunakan oleh Perum Perhutani dalam penelitian ini disebut sebagai bonita lapangan (peta bonita). Data sekunder tersebut diperoleh dari Perum Perhutani.

Citra direkam dari wahana pesawat tanpa awak yang berkecepatan terbang antara 40 dan 60 km/jam. Sensor UAV yang digunakan adalah kamera digital Sony RX100 dengan panjang fokus 28 mm dan resolusi 20 mp. Citra yang dihasilkan memiliki resolusi (*ground resolution*) sebesar 15 cm. UAV terbang rendah pada ketinggian terbang ± 420 m dengan interval jalur pemotretan sekitar 200 m. Citra UAV tersebut merupakan foto udara non-metrik skala kecil. Citra UAV non-metrik skala kecil telah direkomendasikan oleh Jaya dan Cahyono (2001) untuk pengukuran peubah tegakan seperti diameter tajuk dan kerapatan tajuk. Peubah tegakan yang diperoleh dari citra UAV skala kecil dapat digunakan untuk menduga kualitas tempat tumbuh (Wahyuni, 2012), estimasi biomassa (Septyawardani, 2012), dan untuk menaksir volume tegakan (Dhani, 2012).

C. Pengukuran Lapangan

Unit contoh untuk penyusunan model penduga kualitas tempat tumbuh tegakan jati adalah plot contoh seluas 0.1 ha yang berbentuk lingkaran dengan jari-jari 17.8 m. Plot contoh diambil secara merata mewakili semua umur tanaman, yaitu jati umur 4, 7, 10, 11, 25, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 50, 52, dan 56 tahun. Pada setiap umur tanaman dibuat masing-masing empat plot contoh sehingga secara keseluruhan pengamatan dilakukan pada 64 plot contoh. Keempat plot contoh pada setiap umur tanaman ditempatkan secara sengaja dengan menjaga jarak antar plot contoh tidak kurang dari 100 meter. Suatu plot contoh ditempatkan di arah utara, selatan, barat, atau timur dari plot contoh lainnya tergantung pada kondisi lapangan. Keseluruhan plot contoh (64 plot) membentuk pola yang tidak beraturan karena menyesuaikan dengan sebaran umur tanaman.

Pengukuran tinggi total pohon (h) dilakukan pada semua pohon yang terdapat dalam setiap plot contoh. Pengukuran tinggi menggunakan clinometer pada skala persen

dengan alat bantu galah setinggi 3,5 m dan batas bawah (pangkal) 1 m. Tinggi total pohon dihitung menggunakan persamaan Jaya *et al.* (2010):

$$h = \left[\left(\frac{\%H_t - \%H_b}{\%H_p - \%H_b} \right) \times 2.5 \right] + 1 \quad (1)$$

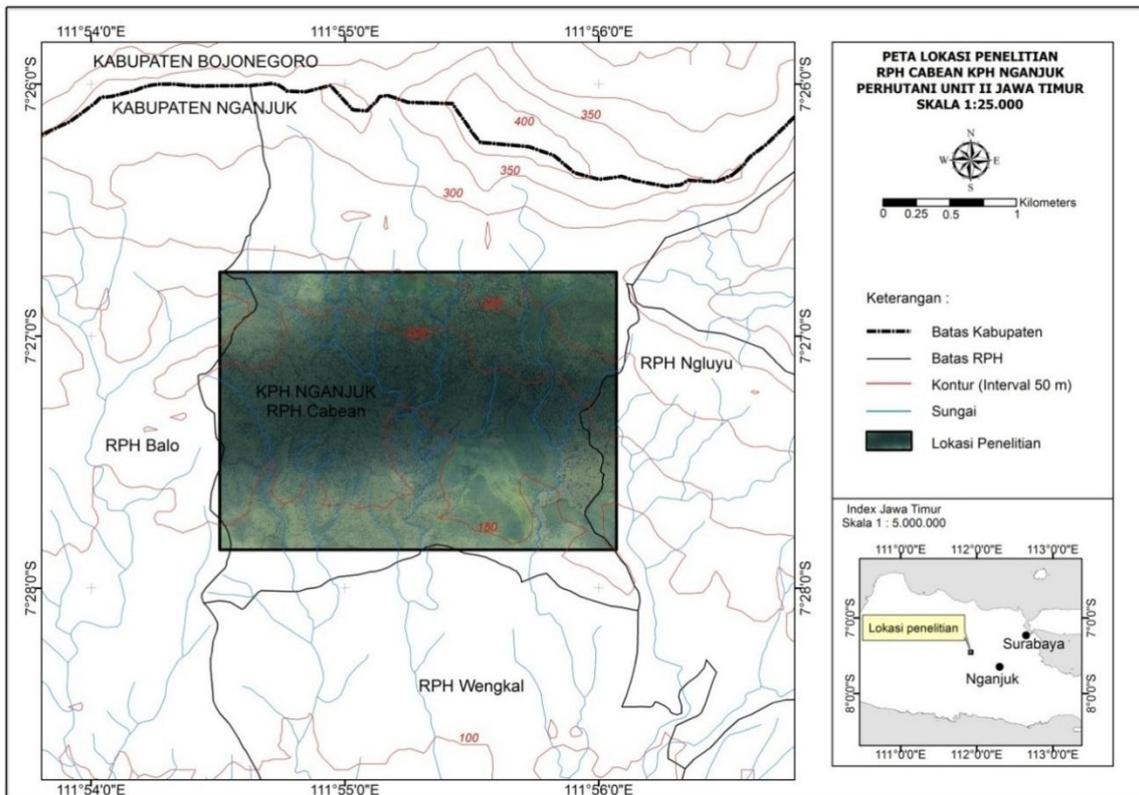
Keterangan:

h = Tinggi total pohon

H_t = Bacaan pada tinggi total

H_p = Bacaan pada ujung galah

Kualitas tempat tumbuh umumnya ditentukan menggunakan indeks tinggi pohon atau peninggi yang diperoleh dari rata-rata 100 pohon tertinggi pada areal seluas 1 hektar (Hartati, 2008). Pada penelitian ini peninggi diperoleh dari rata-rata 10 pohon tertinggi dalam setiap plot contoh. Peninggi tersebut disesuaikan dengan grafik indeks bonita Von Wulfing untuk mendapatkan kelas bonita setiap plot contoh yang kemudian disebut sebagai bonita peninggi.



Gambar 1. Peta Lokasi penelitian di KPH Nganjuk, Jawa Timur
Figure 1. Map of study area in KPH Nganjuk, East Java

D. Survei Pendahuluan

Kajian pendahuluan menunjukkan bahwa kelas bonita peninggi berbeda dengan kelas bonita yang digunakan oleh KPH Nganjuk (Tabel 1). Bonita peninggi yang dihitung berdasarkan 10 pohon tertinggi dalam suatu plot contoh terdiri dari 5 kelas yaitu bonita 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, dan 4.5. Pada areal yang sama, KPH Nganjuk menggunakan 4 kelas bonita yaitu 2.5, 3.0, 3.5, dan 4.0. Kesesuaian bonita lapangan dengan bonita peninggi sangat rendah yaitu hanya sebesar 25%. Kesesuaian yang rendah juga ditemukan oleh Wahyuni (2012) di BKPH Dagangan KPH Madiun yaitu sebesar 28.9% dan

sebesar 23.7% di BKPH Dungus.

Kesesuaian bonita tersebut mengindikasikan bahwa KPH Nganjuk dan mungkin juga KPH lainnya di Pulau Jawa perlu memperbaharui kelas bonita yang digunakan. Salah satu bukti bahwa kelas bonita perlu diperbaharui adalah temuan Suranto *et al.* (2015) bahwa dimensi lebar lingkaran tahun pohon jati di KPH Kendal Jawa Tengah semakin kecil seiring dengan semakin tingginya kelas bonita yang digunakan.

Banyak peneliti menduga bahwa sistem pengelolaan hutan untuk produksi kayu tanpa pertimbangan daya dukung tegakan berpotensi

menurunkan kualitas tempat tumbuh tegakan. Pembangunan hutan tanaman jati menurut Riyanto dan Pahlana (2012) cenderung tidak memperhatikan prinsip konservasi tanah sehingga mengakibatkan penurunan kualitas tempat tumbuh. Hartati (2008) menyatakan

bahwa pemanfaatan hutan untuk mengoptimalkan hasil kayu yang intensif secara terus menerus dapat menyebabkan ekosistem hutan kehilangan hara dan ketersediaan hara yang optimal hanya untuk beberapa rotasi saja.

Tabel 1. Kesesuaian antara bonita peninggi dan bonita lapangan tahun 2015 di RPH Cabean
Table 1. Suitability between heightsite quality and field site quality year of 2015 at RPH Cabean

Bonita peninggi (<i>Height site quality</i>)	Bonita lapangan (<i>Field site quality</i>)/Petak ukur			
	2.5	3.0	3.5	4.0
2.5	4	16	0	0
3.0	8	12	8	0
3.5	4	0	0	0
4.0	0	4	0	0
4.5	0	4	0	4
Jumlah contoh (<i>Number of sample</i>)	16	36	8	4
Jumlah benar (<i>Number of true</i>)	4	12	0	0
Kesesuaian (<i>Suitability</i>) %	25.0	33.3	0.0	0.0

Keterangan:

Total contoh = 64 Jumlah benar = 16 OA = 25.0%
0 berarti tidak terdapat petak ukur

Remarks:

Total Sample = 64 Correct amount=16 Overall Accuracy = 25.0%
0 means that there are no plots

KPH Nganjuk yang menjadi lokasi penelitian ini menerapkan sistem tebang habis sesuai dengan daur yang telah ditentukan. Sistem tebang habis menurut Daniel *et al.* (1992) memiliki peluang besar untuk merubah keseimbangan hara di lantai tegakan. Mereka menjelaskan bahwa semakin tinggi tingkat pemanfaatan yang diterapkan maka semakin banyak hara yang keluar dari suatu tempat tumbuh. situasi tersebut memerlukan penaksiran yang lebih baik terhadap kualitas tempat tumbuh. Tanah hutan bekas tebangan dengan intensitas tinggi menurut Sihombing (2015) dapat mengalami penurunan kualitas. Kenyataan-kenyataan tersebut menyiratkan bahwa kelas bonita yang digunakan saat ini oleh Perum Perhutani perlu untuk di evaluasi. Evaluasi terhadap bonita sangat memungkinkan dengan menggunakan peubah-peubah pengukuran tegakan yang diperoleh dari citra UAV seperti yang dilakukan pada penelitian ini.

E. Pengolahan Citra UAV

Pengolahan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGis 9.3. Pengolahan citra berupa interpretasi visual dilakukan melalui *on-screen digitizing* untuk mendapatkan peubah-peubah tegakan yang terdapat pada citra UAV. Peubah-peubah tegakan yang menjadi peubah pendugaan kualitas tempat tumbuh yang diperoleh dari citra UAV adalah persentase penutupan tajuk (C), rata-rata diameter tajuk ($\overline{D_c}$), dan jumlah pohon (N).

Peubah-peubah tersebut diasumsikan memiliki hubungan yang erat dengan tinggi total pohon, sehingga ketiganya dapat digunakan untuk menduga bonita.

Persentase penutupan tajuk (*percentage canopy cover*) merupakan perbandingan luas proyeksi tutupan tajuk pada suatu plot contoh dengan luas plot contoh yang dihitung menggunakan persamaan Pretzsch (2009):

$$\text{Persentase penutupan tajuk (\%)} = \frac{\text{luas proyeksi penutupan tajuk}}{\text{luas plot contoh}} \times 100 \quad (2)$$

$\overline{D_c}$ adalah rata-rata diameter tajuk pohon (D_c) pada suatu plot contoh. D_c diperoleh dari rata-rata diameter tajuk pohon pada citra yang diukur dari arah Utara ke Selatan (D_{us}) dan diameter pohon dari arah Barat ke Timur (D_{bt}). N adalah jumlah pohon yang terdapat dalam suatu plot contoh.

F. Penyusunan Model

Model penduga kualitas tempat tumbuh tegakan jati dibangun menggunakan analisis diskriminan pada perangkat lunak XLSTAT 2014. Analisis diskriminan pada perangkat lunak ini dapat dijalankan dengan mudah dan output yang dihasilkan telah dilengkapi dengan kesesuaian fungsi diskriminan yang terbentuk. Analisis diskriminan merupakan salah satu teknik klasifikasi tempat tumbuh baik dengan menggunakan peubah tunggal maupun peubah ganda. Analisis diskriminan menurut Andriani, *et al.* (2011) adalah teknik statistik yang digunakan pada hubungan dependensi pada kasus dimana peubah tidak bebas adalah data

kualitatif dan peubah bebas berbentuk data kuantitatif.

Analisis diskriminan menggunakan data bonita yang diperoleh dari hasil pengukuran peninggi (bukan bonita yang digunakan oleh KPH Nganjuk) sebagai peubah terikatnya, sedangkan peubah bebasnya diperoleh dari pengamatan citra (C , \bar{D}_c , dan N). Peubah ganda digunakan dalam analisis ketika antar peubah tidak memiliki korelasi yang kuat. Hubungan antar peubah tersebut ditentukan dengan menggunakan nilai koefisien korelasi Pearson.

Fungsi diskriminan bonita yang dibangun adalah fungsi diskriminan model linear dan fungsi diskriminan model kuadratik. Fungsi

diskriminan bonita dibangun menggunakan persamaan Supranto (2002):

$$D_i = b_{i0} + b_{i1}X_{i1} + b_{i2}X_{i2} + \dots + b_{ik}X_{ik} \quad (3)$$

Keterangan:

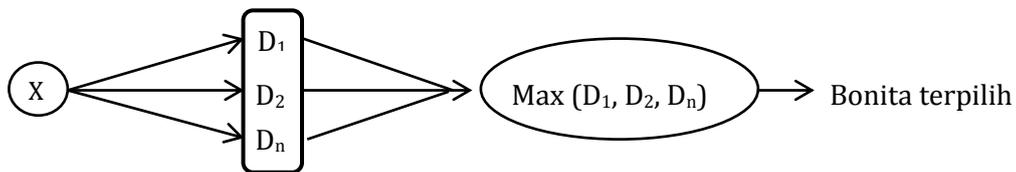
D_i = Nilai skor dari fungsi diskriminan bonita ke- i .

b_i = Konstanta

b_k = Koefisien diskriminan variabel ke- i

x_{ik} = Peubah ke- k dari responden ke- i

Identifikasi bonita dilakukan dengan pendekatan peluang maksimum. Nilai diskriminan yang terbesar menyatakan hasil analisis yang sesuai untuk tegakan yang dimaksudkan. Ilustrasi proses klasifikasi tersebut seperti Wahyuni (2012):



Bonita yang diperoleh dari fungsi diskriminan selanjutnya disesuaikan dengan bonita peninggi. Persentasi kesesuaian tersebut dihitung menggunakan persamaan:

$$PC = \left(\frac{N_c}{N_t}\right) \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

PC = Proporsi benar

N_c = Jumlah benar

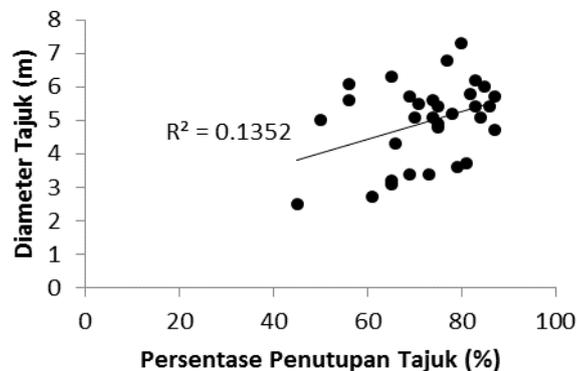
N_t = Total contoh

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan Antar Peubah

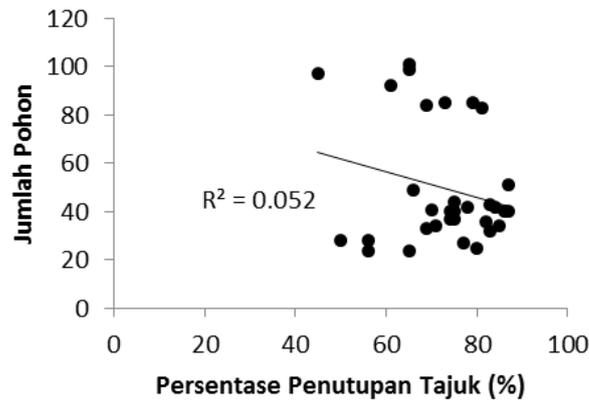
Peubah tegakan yang diperoleh dari citra

UAV untuk penyusunan model penduga kualitas tempat tumbuh tegakan jati adalah persentase penutupan tajuk (C), rata-rata diameter tajuk (\bar{D}_c), dan jumlah pohon (N). Koefisien korelasi Pearson antar peubah menunjukkan hubungan yang berbeda seperti pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4. Peubah C memiliki korelasi yang rendah dengan \bar{D}_c dan N yaitu koefisien korelasi dan R^2 berturut-turut sebesar 0.37 dan 13.5% serta -0.22 dan 5.2%. Korelasi yang kuat terdapat pada hubungan antara peubah \bar{D}_c dan N yang menunjukkan nilai koefisien korelasi Pearson yang tinggi sebesar -0.93 dan R^2 90.7%.

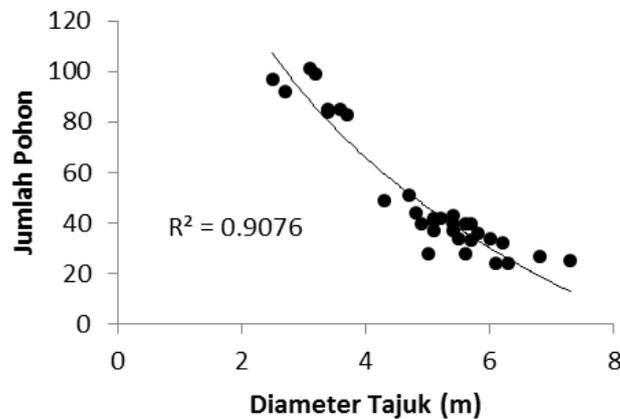


Gambar 2. Hubungan antara peubah persentase penutupan tajuk (C) dan rata-rata diameter tajuk (\bar{D}_c)

Figure 2. Relationship between variables percentage canopy cover (C) and crown diameter average (\bar{D}_c)



Gambar 3. Hubungan antara peubah persentase penutupan tajuk (C) dan jumlah pohon (N)
Figure 3. Relationship between variables percentage canopy cover (C) and number of trees (N)



Gambar 4. Hubungan antara peubah rata-rata diameter tajuk (\overline{D}_c) dan jumlah pohon (N)
Figure 4. Relationship between variables crown diameter average (\overline{D}_c) and number of trees (N)

Nilai koefisien korelasi antara peubah tersebut menentukan peubah yang digunakan dalam analisis diskriminan. Berdasarkan korelasi antar peubah, peubah citra yang digunakan pada analisis diskriminan untuk menduga kualitas tempat tumbuh jati adalah peubah tunggal C, \overline{D}_c , dan N serta peubah ganda $C\overline{D}_c$ dan CN. Satu pasangan peubah ganda lainnya yaitu \overline{D}_cN tidak digunakan karena kedua peubah memiliki korelasi yang kuat.

B. Model Penduga Kualitas Tempat Tumbuh Jati

Model penduga kualitas tempat tumbuh jati menggunakan analisis diskriminan dengan 5 peubah (C, \overline{D}_c , N, $C\overline{D}_c$, dan CN) terhadap 5 kelas bonita peninggi yang diperoleh pada penelitian pendahuluan menghasilkan fungsi diskriminan model linear dan model kuadrat

masing-masing sebanyak 25 fungsi. Model penduga kualitas tempat tumbuh yang dihasilkan dari persamaan linear disajikan pada Tabel 2, sedangkan fungsi diskriminan kualitas tempat tumbuh dengan menggunakan model kuadrat disajikan pada Tabel 3.

Fungsi diskriminan model linear dengan peubah kerapatan tajuk menunjukkan kesesuaian bonita paling rendah sebesar 43.75%. Kesesuaian analisis diskriminan dengan satu peubah tersebut lebih rendah dibanding dengan peubah rata-rata diameter tajuk yaitu sebesar 50.00% maupun peubah jumlah pohon sebesar 48.44%. Akurasi paling tinggi dari penggabungan kerapatan tajuk dan jumlah pohon sebesar 54.69%, sedangkan nilai kesesuaian fungsi diskriminan menggunakan kerapatan tajuk dan rata-rata diameter tajuk sebesar 48.44% (Tabel 2).

Tabel 2. Model linear pendugaan kualitas tempat tumbuh jati di RPH Cabean
Table 2. Linear models to estimate site quality of teak in RPH Cabean

Peubah (variables)	Bonita (SQ)	Fungsi diskriminan(Discriminant function)	Kesesuaian (Suitability) %
C	2.5	$D_{2.5} = 0.566C - 21.349$	43.75%
	3.0	$D_{3.0} = 0.574C - 21.587$	
	3.5	$D_{3.5} = 0.613C - 26.435$	
	4.0	$D_{4.0} = 0.523C - 20.045$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.607C - 25.285$	
$\overline{D_c}$	2.5	$D_{2.5} = 5.284\overline{D_c} - 14.995$	50.00%
	3.0	$D_{3.0} = 5.404\overline{D_c} - 15.292$	
	3.5	$D_{3.5} = 5.476\overline{D_c} - 17.627$	
	4.0	$D_{4.0} = 3.306\overline{D_c} - 8.186$	
	4.5	$D_{4.5} = 3.571\overline{D_c} - 8.395$	
N	2.5	$D_{2.5} = 0.144N - 3.988$	48.44%
	3.0	$D_{3.0} = 0.156N - 4.147$	
	3.5	$D_{3.5} = 0.147N - 5.714$	
	4.0	$D_{4.0} = 0.344N - 18.842$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.303N - 14.552$	
$C\overline{D_c}$	2.5	$D_{2.5} = 0.442C + 2.577\overline{D_c} - 23.667$	48.44%
	3.0	$D_{3.0} = 0.445C + 2.677\overline{D_c} - 24.089$	
	3.5	$D_{3.5} = 0.495C + 2.442\overline{D_c} - 28.517$	
	4.0	$D_{4.0} = 0.517C + 0.139\overline{D_c} - 20.052$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.617C - 0.209\overline{D_c} - 25.300$	
CN	2.5	$D_{2.5} = 0.753C + 0.337N - 34.629$	54.69%
	3.0	$D_{3.0} = 0.77C + 0.354N - 36.200$	
	3.5	$D_{3.5} = 0.809C + 0.355N - 41.123$	
	4.0	$D_{4.0} = 0.832C + 0.557N - 56.292$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.903C + 0.535N - 58.633$	

Kesesuaian bonita hasil analisis diskriminan dengan bonita peninggi yang paling baik diperoleh dari fungsi diskriminan model kuadratik. Hasil tersebut ditunjukkan oleh nilai akurasi dari fungsi diskriminan menggunakan peubah ganda kerapatan tajuk (C) dan rata-rata diameter tajuk ($\overline{D_c}$) yaitu sebesar 60.94%.

Bonita jati dengan menggunakan analisis diskriminan dalam penelitian ini ditentukan oleh nilai dari kelima fungsi diskriminan dengan peubah $C\overline{D_c}$. Nilai kerapatan tajuk dan rata-rata diameter tajuk yang diperoleh dari citra UAV dimasukkan kedalam kelima fungsi diskriminan untuk menentukan bonita tegakan. Nilai paling besar dari kelima fungsi diskriminan tersebut menunjukkan bonita tegakan jati.

Wahyuni (2012) mendapatkan model penduga kualitas tempat tumbuh dengan akurasi sebesar 68.4% di BKPH Dagangan dan

81.6% di BKPH Dungus KPH Madiun dengan menggunakan peubah citra UAV yaitu persentase penutupan tajuk (C), diameter tajuk pohon (D_c), dan jumlah pohon (N). Peubah D_c berbeda dengan peubah rata-rata diameter tajuk yang diperoleh dari keseluruhan pohon pada suatu plot contoh karena peubah D_c merupakan diameter tajuk pohon yang sama dengan pohon yang digunakan sebagai peninggi.

Hasil yang diperoleh menjelaskan bahwa kualitas tempat tumbuh jati yang ditentukan oleh hara di lantai hutan dapat diduga dengan menggunakan persentase penutupan tajuk dan ukuran diameternya. Penutupan tajuk mempengaruhi pertumbuhan tanaman karena faktor persaingan mendapatkan sinar matahari. Di sisi lain, persentase penutupan tajuk menurut Wijayanto dan Rhahmi (2013) juga mempengaruhi panjang dan kedalaman akar tanaman.

Tabel 3. Model kuadratik pendugaan kualitas tempat tumbuh di RPH Cabean
Table 3. Quadratic models to estimate site quality of teak in RPH Cabean

Peubah (varia bles)	Bonita (SQ)	Fungsi diskriminan(Discriminant function)	Kesesuaian (Suitability) %
C	2.5	$D_{2.5} = 0.44C - 0.003C^2 - 19.407$	40.63%
	3.0	$D_{3.0} = 0.488C - 0.003C^2 - 20.977$	
	3.5	$D_{3.5} = 2.87C - 0.019C^2 - 115.272$	
	4.0	$D_{4.0} = 9C - 0.068C^2 - 300.769$	
	4.5	$D_{4.5} = 2.215C - 0.014C^2 - 85.152$	
\overline{D}_c	2.5	$D_{2.5} = 10.598\overline{D}_c - 1.012\overline{D}_c^2 - 28.550$	57.81%
	3.0	$D_{3.0} = 3.022\overline{D}_c - 0.282\overline{D}_c^2 - 9.202$	
	3.5	$D_{3.5} = 25.135\overline{D}_c - 2.317\overline{D}_c^2 - 70.185$	
	4.0	$D_{4.0} = 39.697\overline{D}_c - 6.061\overline{D}_c^2 - 66.529$	
	4.5	$D_{4.5} = 73.1\overline{D}_c - 10.332\overline{D}_c^2 - 129.860$	
N	2.5	$D_{2.5} = 0.521N - 0.007N^2 - 13.538$	45.31%
	3.0	$D_{3.0} = 0.084N - 0.001N^2 - 5.721$	
	3.5	$D_{3.5} = 2.143N - 0.027N^2 - 47.093$	
	4.0	$D_{4.0} = 1.382N - 0.007N^2 - 69.478$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.876N - 0.005N^2 - 40.452$	
$C\overline{D}_c$	2.5	$D_{2.5} = 0.248C + 8.827\overline{D}_c + 0.052C\overline{D}_c - 0.004C^2 - 1.198\overline{D}_c^2 - 35.23$	60.94%
	3.0	$D_{3.0} = 0.471C + 0.242\overline{D}_c + 0.068C\overline{D}_c - 0.006C^2 - 0.484\overline{D}_c^2 - 21.023$	
	3.5	$D_{3.5} = 3.013C + 27.113\overline{D}_c + 0.024C\overline{D}_c - 0.019C^2 - 2.325\overline{D}_c^2 - 193.56$	
	4.0	$D_{4.0} = 170.4C - 1543.55\overline{D}_c + 44.52C\overline{D}_c - 2.39C^2 - 212.9\overline{D}_c^2 - 3095.4$	
	4.5	$D_{4.5} = 0.25C + 67.95\overline{D}_c + 1.313C\overline{D}_c - 0.032C^2 - 23.798\overline{D}_c^2 - 131.727$	
CN	2.5	$D_{2.5} = 0.377C + 0.389N + 0.002CN - 0.003C^2 - 0.007N^2 - 26.893$	54.69%
	3.0	$D_{3.0} = 0.953C + 0.404N + 0.004CN - 0.005C^2 - 0.002N^2 - 49.251$	
	3.5	$D_{3.5} = 2.566C + 1.226N + 0.015CN - 0.020C^2 - 0.029N^2 - 129.484$	
	4.0	$D_{4.0} = 27.578C + 8.174N + 0.076CN - 0.155C^2 - 0.017N^2 - 1297.707$	
	4.5	$D_{4.5} = 2.08C + 0.834N + 0.001CN - 0.014C^2 - 0.005N^2 - 120.057$	

Model pendugaan kualitas tempat tumbuh yang dihasilkan dibangun menggunakan peubah tegakan yang diukur secara tidak langsung. Pengamatan persentase penutupan tajuk secara tidak langsung dengan menggunakan citra UAV dalam inventarisasi hutan menurut Chianucci *et al.* (2016) dapat menggantikan kebutuhan pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran tidak langsung memiliki banyak keunggulan dibanding pengukuran secara langsung. Pengamatan peubah pada citra dapat menjamin kecukupan sampel dan keakuratan data (Pan *et al.*, 2011). Disamping itu pengamatan tidak langsung dengan menggunakan citra UAV membutuhkan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan pengukuran langsung (Shofiyanti, 2011) dengan tidak kehilangan keakuratan data (Rokhmana, 2015).

Peubah tegakan yang diperoleh dari citra UAV dalam penelitian ini terbukti dapat digunakan untuk menduga kualitas tempat tumbuh. Hasil penelitian mendukung Wallace *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa sistem UAV adalah platform yang sesuai untuk menilai tegakan hutan dan individu pohon. Sari dan Kushardono (2014) juga membenarkan bahwa UAV merupakan wahana yang diharapkan dapat digunakan untuk memperoleh informasi spasial skala rinci yang semakin dibutuhkan. Senada dengan hal tersebut di atas, Mesas-Carrascosa *et al.* (2014) menyimpulkan bahwa citra resolusi sangat tinggi yang diperoleh dari UAV dapat dijadikan sebagai bahan pengambilan kebijakan pada suatu tegakan hutan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kualitas tempat tumbuh tegakan jati di RPH Cabean KPH Nganjuk dapat diklasifikasi menggunakan peubah ganda yang diperoleh dari citra UAV yaitu kerapatan tajuk dan rata-rata diameter tajuk ganda $\overline{CD_c}$. Akurasi model pendugaan yang dihasilkan tidak terlalu tinggi yaitu sebesar 60.94% diperoleh dari fungsi diskriminan model kuadratik.

B. Saran

Penelitian ini menggunakan citra resolusi sangat tinggi yang diperoleh dari pesawat tidak berawak dengan kamera biasa. Meskipun resolusi spasial yang diperoleh dari kamera tersebut termasuk sangat tinggi, model pendugaan yang dihasilkan memiliki akurasi yang tidak terlalu tinggi. Perolehan model pendugaan yang lebih akurat sangat memungkinkan dengan menggunakan kamera yang mampu memperoleh citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Kesatuan Pemangkuan Hutan Nganjuk Perum Perhutani Unit II Jawa Timur atas fasilitasi dalam pelaksanaan penelitian. Terakhir penulis menyampaikan penghargaan kepada Bapak Dasar Santoso serta staf Resort Pengelolaan Hutan Cabean yang telah membantu dalam pengumpulan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani Y, Cahyawati D, Gusmaryanita V. (2011). Analisis diskriminan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi pilihan program studi matematika di FMIPA dan FKIP Universitas Sriwijaya. *Jurnal Penelitian Sains*, 14(4), 9–14.
- Chianucci, F., Disperati, L., Guzzi, D., Bianchini, D., Nardino, V., Lastrì, C., . . . Corona, P. (2016). Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 47, 60–68.
- Daniel, T. W., Helms, J. A., & Baker, F. S. (1992). *Principles of Silviculture*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Dhani, F. A. R. (2012). *Penggunaan citra resolusi tinggi untuk pendugaan sediaan tegakan jati (*Tectona grandis*, Linn.F) dengan teknik double sampling di KPH Madiun Perum Perhutani Unit*

II Jawa Timur. [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Hartati, W. (2008). Evaluasi distribusi hara tanah dan tegakan mangium, sengon dan leda pada akhir daur untuk kelestarian produksi hutan tanaman di UMR Gowa PT Inhutani I Unit III Makassar. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 3(2), 199–219.
- Hayat, S. N. (2015). *Pembangunan kelas kualitas tempat tumbuh mangrove menggunakan citra satelit resolusi sedang di IUPHHK-HA PT Kandelia Alam Kalimantan Barat*. [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jaya, I. N. S., & Cahyono, A. B. (2001). Kajian teknis pemanfaatan potret udara non-metrik format kecil pada bidang kehutanan. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 7(1), 55–64.
- Jaya, I. N. S., Samsuri, Lastini, T., & Purnama, E. S. (Eds.). (2010). *Teknik Inventarisasi Sediaan Ramin di Hutan Rawa Gambut*. Bogor: ITTO CITES Project dan Kementerian Kehutanan.
- Marini, Y., Emiyati, Hawariyah, S., & Hartuti, M. (2014). *Perbandingan metode klasifikasi supervised maximum likelihood dengan klasifikasi berbasis objek untuk inventarisasi lahan tambak di Kabupaten Maros*. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Penginderaan Jauh tanggal 21 Maret 2014 di Bogor, Indonesia.
- McRoberts, R. E., & Tomppo, E. O. (2007). Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 110(4), 412–419.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., Meroño de Larriva, J. E., Sánchez de la Orden, M., & García-Ferrer Porras, A. (2014). Validation of measurements of land plot area using UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 270–279.
- Pan, Y., Zhang, J., & Shen, K. (2011). Crop area estimation from UAV transect and MSR image data using spatial sampling method: a simulation experiment. *Procedia Environmental Sciences*, 7, 110–115.
- Pretzsch, H. (2009). *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Heidelberg: Springer.
- Rango, A., & Laliberte, A. S. (2010). Impact of flight regulations on effective use of unmanned aircraft systems for natural resources applications. *Journal of Applied Remote Sensing*, 4, 1–12.
- Riyanto, H. D., & Pahlana, U. W. H. (2012). Kajian evaluasi lahan hutan jati sistem bonita di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Cepu. *Jurnal penelitian Hutan Tanaman*, 9(1), 83–93.
- Rokhmana, C. A. (2015). The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision

- Agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 245–253.
- Sari, N. M., & Kushardono, D. (2014). Klasifikasi penutup lahan berbasis obyek pada data foto UAV untuk mendukung penyediaan informasi penginderaan jauh skala rinci. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 11(2), 114–127.
- Septyawardani, E. (2012). *Penyusunan model penduga sediaan tegakan dan biomassa hutan jati (Tectona grandis Linn.F) menggunakan citra digital non-metrik resolusi tinggi*. [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Shofiyanti, R. (2011). Teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan dan pemantauan tanaman dan lahan pertanian. *Informatika Pertanian*, 20(2), 58–64.
- Sihombing, B. H. (2015). Tinjauan konsep dan implementasi sistem silvikultur TPTII. *Jurnal AGRIFOR*, 14(1), 27–38.
- Simarmata, M. M. (2015). Model penyusunan kualitas tempat tumbuh *Eucalyptus urophylla* pada hutan tanaman. *Jurnal Elektronik AKAR*, 1(1), 1–10.
- Supranto. (2002). *Analisis Multivariat. Arti & Interpretasi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suranto, Y., Prayitno, T. A., Marsono, D., & Sutapa, J. P. G. (2015). Pengaruh umur pohon, bonita dan posisi aksial batang terhadap struktur makroskopis dan kualitas kayu jati sebagai bahan furnitur. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(1), 84–93.
- Upadhyay, A., Eid, T., & Sankhayan, P. L. (2005). Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India. *Forest Ecology and Management*, 212, 14–22.
- Wahyuni, S. (2012). *Identifikasi kualitas tempat tumbuh (bonita) menggunakan citra digital non metrik resolusi tinggi di KPH Madiun Perum Perhutani Unit II Jawa Timur*. [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., & Turner, D. (2012). Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sensing*, 4(12), 1519-1543.
- Wijayanto, N., & Rhahmi, I. (2013). Panjang dan kedalaman akar lateral jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq.) di Desa Cibening, Kecamatan Pamijahan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 4(1), 23–29.