

**EFISIENSI PENGGUNAAN POTRET UDARA
NON-METRIK FORMAT KECIL DENGAN TEHNIK
PENGAMBILAN CONTOH BERGANDA**
(Studi Kasus di Tegakan Jati, KPH Randublatung, PT. Perhutani, Unit I,
Jawa Tengah)

(Efficiency on the use of small format non-metric aerial photograph using double sampling technique: a case study in teak stand, KPH Randublatung, PT. Perhutani, Centra Java)

I NENGAH SURATI JAYA¹⁾ dan AGUNG BUDI CAHYONO²⁾

ABSTRACT

A comparison study on the efficiency of the use of small format non-metric aerial photographs (SFNAP) and conventional (metric) aerial photographs (CAP) was performed. The relative efficiency was computed based upon the implementation of double sampling with regression technique in comparison with the use of simple random sampling. The study found that, for estimating stand volume of teak wood, the SFNAP provided better sampling error as well as relative efficiency than those provided by the CAP. The relative efficiency of the SFNAP is 296,7% while the relative efficiency of the CAP is 225,7%. Economically this study expressed that, the use of the SFNAP for forest inventory using double sampling technique is cheaper than using the CAP.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini sektor kehutanan telah mendapatkan tekanan yang demikian kuat dari bentuk-bentuk pengalihan fungsi hutan maupun dari bentuk-bentuk lain seperti konversi hutan, pencurian (*illegal cutting*), perambahan hutan, bencana alam, dllnya. Perubahan kondisi hutan yang demikian cepat serta untuk menentukan bentuk tindakan yang cepat dan tepat, informasi tentang potensi hutan yang akurat, cepat dan "reliable" sangat diperlukan. Saat ini, perambahan hutan yang demikian marak terjadi di kawasan PT. Perhutani, telah menginisiasi adanya pemanfaatan sarana yang murah dan cepat untuk mengetahui potensi hutan secara akurat. Salah satu alternatifnya adalah penggunaan potret udara non-metrik format kecil (PUFK).

Sejalan dengan perkembangan teknologi GPS, pesawat terbang dan kamera, dewasa ini telah diujicobakan pembuatan potret udara non-metris format kecil (PUFK), yang lebih dikenal dengan *small format non-metric aerial photographs* (SFNAP), untuk inventarisasi

¹⁾ Staf pengajar dan peneliti di Lab. Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus IPB Darmaga Po. Box. 168 Bogor

²⁾ Staf pengajar dan peneliti di Jurusan Geodesi, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya

hutan di area hutan jati PT. Perhutani (Jaya dan Cahyono, 2001). Alasan utama dari pembuatan SFNAP ini adalah berangkat dari pertimbangan biaya pembuatan yang relatif lebih murah karena dapat dilakukan menggunakan kamera biasa (bukan kamera metris) dan menggunakan pesawat kecil dan tidak menuntut landasan pacu khusus. Menurut beberapa sumber data sekunder yang dihimpun selama penelitian ini dilakukan, komponen terbesar dalam pembuatan potret udara adalah biaya sewa pesawat termasuk kru penerbangnya yaitu berkisar antara 53,33% sampai dengan 62,50%. Pembuatan potret udara konvensional (PUK) pada umumnya menuntut persyaratan teknis yang lebih berat dibandingkan dengan pembuatan PUFK, misalnya menuntut adanya landasan pacu yang khusus sehingga jarak tempuh dari lapangan udara ke lokasi menjadi lebih lama dengan konsekuensi biaya lebih mahal, sewa pesawat per jamnya lebih tinggi, serta sewa kamera metrik yang lebih mahal. Data sekunder menunjukkan bahwa biaya per satuan luas pembuatan PUFK jauh lebih rendah dibandingkan dengan PUK. Disamping itu, dengan biaya pembuatan PUFK yang lebih murah, juga dapat dihasilkan skala potret yang lebih besar yaitu 1:8.000.

Secara teknis, penelitian Jaya dan Cahyono (2001) menunjukkan bahwa PUFK yang dihasilkan dapat digunakan untuk kegiatan fotogrametri, yaitu pengukuran dimensi tegakan seperti diameter tajuk (D), tinggi pohon (H), kerapatan tajuk (N) dan penutupan tajuk (C) serta dapat digunakan untuk menyusun tabel volume tegakan. Dengan skala potret udara yang dapat dibuat relatif cukup besar (1:8.000) serta potret berwarna alami menyebabkan pandangan stereoskopis yang dihasilkan lebih mendekati dunia nyata (*the real world*).

Secara teknis, pendugaan potensi hutan dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu (1) metode terestris, (2) metode penginderaan jauh dan (3) metode gabungan antara terestris dan penginderaan jauh. Metode terestris pada umumnya menghasilkan akurasi yang paling tinggi dan sangat cocok untuk menyusun rencana detail (seperti RKT atau RTT). Untuk luasan yang relatif besar, penggunaan cara terestris cenderung tidak efisien karena masuknya kemungkinan adanya "*human error*" yang lebih besar, sehingga pada akhirnya hasil yang dihasilkan mempunyai bias yang besar. Metode penginderaan jauh memerlukan biaya per satuan luas yang relatif lebih murah serta memerlukan waktu yang relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan metode terestris. Akan tetapi, metode penginderaan jauh ini biasanya mempunyai keakuratan estimasi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode terestris. Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti serta biaya yang relatif murah dengan jangka waktu pengerjaan yang relatif cepat, maka metode gabungan antara terestris dan penginderaan jauh merupakan metode yang cukup ideal. Metode ini lebih banyak digunakan karena dapat menghemat biaya (*cost effective*) tanpa mengurangi ketelitian yang ingin dicapai. Untuk inventarisasi hutan, dimana informasi tentang potensi yang lengkap dan detail yang ada sangat terbatas, metode penarikan contoh ganda (*double sampling* atau *two-phase sampling*) menjadi sangat efisien. Penggunaan tehnik ini diperkirakan akan sangat efisien apabila biaya pengukuran peubah pada fase pertama jauh lebih murah dan lebih cepat dibandingkan dengan pengukuran fase kedua (peubah yang diinginkan).

Berangkat dari kelayakan teknis pemanfaatan PUFK untuk penafsiran tegakan dan penyusunan tabel volume tegakan, pada tulisan ini penulis mengkaji efisiensi penggunaan

PUFK dibandingkan dengan menggunakan potret udara metris konvensional (PUK) atau *convensional aerial photograph* (CAP) dalam rangka menduga potensi hutan jati dengan tehnik pengambilan contoh berganda.

Tujuan

Studi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan potret udara non-metris format kecil dibandingkan dengan menggunakan potret udara konvensional dan metode pengambilan contoh acak sederhana (*terestris*).

M E T O D E

Lokasi dan waktu

Secara administrasi kehutanan, studi kasus ini dilakukan di wilayah kerja KPH Randublatung, PT. Perhutani, Unit I Jawa Tengah. Areal studi ini termasuk dalam wilayah beberapa kecamatan, yaitu Kecamatan Banjarrejo, Randublatung, Jati, dan Gabus yang masuk ke dua wilayah kabupaten yaitu Kabupaten Blora dan Grobogan. Analisis data dilakukan di Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.

Penelitian ini merupakan salah satu sub-penelitian yang dilakukan secara paralel bersamaan dengan pelaksanaan penelitian lain yang terkait dengan pemanfaatan PUFK. Pengumpulan data lapangan yang selanjutnya diikuti dengan pengolahan data, analisis data dan penulisan laporan dilakukan dalam periode bulan February sampai dengan bulan Agustus, 2001.

Bahan dan alat

Bahan penelitian meliputi potret udara non-metris format kecil skala 1:8.000 (rekaman tahun 2001), potret udara hitam-putih konvensional skala 1:20.000 (rekaman tahun 1992), peta kerja KPH Rrandublatung skala 1:10.000, data *tally sheet* hasil pengukuran PT. Perhutani dan pengukuran langsung penulis di lapangan. Alat ukur dimensi tegakan di lapangan meliputi hagameter, pita ukur, GPS dan kompas. Untuk kegiatan fotogrametri dan penafsiran potret udara digunakan stereoskop cermin lengkap dengan lensa pembesar dan paralaks bar, micrometer wedge dan crown density scale.

Metode

Penerapan tehnik pengambilan contoh ganda dengan regresi (*double sampling with regression*) yang dilakukan pada studi ini mencakup:

Pengumpulan data pendukung

Pengumpulan data ini mencakup data sekunder tentang biaya pembuatan dan interpretasi potret baik PUFK maupun PUK, serta data primer berupa biaya survai lapangan juga dihitung berdasarkan pengeluaran riil biaya dikeluarkan di lapangan selama pelaksanaan survai.

Desain penarikan contoh

Pengambilan contoh dilakukan dalam dua fase. Pada fase pertama, sejumlah n plot diletakkan pada potret udara untuk pengamatan terhadap peubah tegakan yang akan digunakan untuk mengestimasi volume berdasarkan tabel volume udara (*aerial volume table*) yang tersedia. Pada fase pertama ini pengukuran dilakukan pada peubah yang diperlukan untuk estimasi, bukan peubah yang diinginkan. Selanjutnya pada fase ke-2 sejumlah m dari n (dimana $m < n$) diamati di lapangan untuk mendapatkan informasi tentang volume riil di lapangan (m^3/ha).

Plot-plot penarikan contoh berukuran 0,1 ha diletakkan secara sistematis, dimana peletakan plot pertama dilakukan secara acak (*systematic sampling with random start*). Jarak antar plot adalah 200 m x 200 m (intensitas sampling 2,5%).

Interpretasi potret

Tehnik pengambilan contoh ganda ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan, (1) mengukur semua peubah tegakan melalui potret udara (C , H , D dan N) selanjutnya membuat model penduga berdasarkan peubah-peubah tersebut dan (2) mengukur hanya peubah yang dikehendaki. Pendekatan pertama dilakukan apabila belum tersedia tabel volume tegakan udara, sementara pendekatan kedua dilakukan apabila tabel volume udara telah tersedia. Mengingat tabel volume udara terbaik untuk wilayah studi ini yang dibuat pada studi sebelumnya hanya menggunakan peubah penutupan tajuk (C), maka interpretasi dilakukan hanya pada peubah C . Selanjutnya, peubah C ini digunakan untuk mengestimasi volume tegakan hutan jati menggunakan persamaan berikut:

- Menggunakan PUFK:

$$V_p (m^3/ha) = 54,2 - 0,47 C (\%) \quad (1)$$

$$\text{dengan } r^2 = 0,69$$

- Menggunakan PUK:

$$V_p (m^3/0,1 Ha) = 32,4 - 0,246 C (\%) \quad (2)$$

$$\text{dengan } r^2 = 0,76$$

dimana V_p = volume tegakan melalui potret ($m^3/0,1 ha$)

Pada studi ini, untuk estimasi volume tegakan melalui potret udara dilakukan interpretasi terhadap 50 plot contoh pada PUFK dan 70 plot pada PUK.

Pengukuran di lapangan

Sebagian dari plot-plot yang telah diamati baik di PUFK maupun PUK, diamati kembali di lapangan untuk mendapatkan informasi tentang volume per plot atau per ha. Data lapangan untuk PUK diperoleh dari 26 plot data sekunder (*tally sheet*) yang telah diamati oleh PT. Perhutani, sedangkan untuk keperluan PUFK pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan sebanyak 25 plot. Peubah yang diamati di lapangan untuk PUFK adalah diameter setinggi data (dbh), dan selanjutnya volume per plot diduga menggunakan tabel volume pohon lokal sebagai berikut:

- Wilayah Ngliron:

$$Vf = 0,00030429 D^{2,195} \quad (3)$$

- Wilayah Bekutuk:

$$Vf = 0,00028353 D^{2,24} \quad (4)$$

dimana Vf = volume tegakan hasil pengukuran lapangan (m^3 /pohon) dan D adalah diameter batang setinggi dada.

Pembangunan model

Hasil interpretasi dan hasil pengukuran di lapangan selanjutnya digunakan untuk membentuk model regresi, baik regresi sederhana maupun regresi ganda. Secara matematis, persamaan regresi untuk tehnik pengambilan contoh ganda ini adalah sebagai berikut:

$$\hat{V}_{dstr} = \bar{V}f_m + b(\bar{V}p_n - \bar{V}p_m) \quad (5)$$

$\bar{V}p_n$ = rata-rata volume tegakan hasil estimasi melalui potret udara (C) dari n plot yang diamati di potret pada fase pertama;

$\bar{V}p_m$ = rata-rata volume tegakan hasil estimasi melalui potret udara (C) dari m plot yang diamati di potret pada fase kedua;

$\bar{V}f_m$ = rata-rata volume tegakan hasil pengukuran dari m plot yang diamati di lapangan pada fase kedua;

n = jumlah plot yang diamati pada potret udara (pada fase pertama).

m = jumlah plot contoh yang diamati di lapangan (pada fase ke dua).

b = slope dari regresi

\hat{V}_{dstr} = volume estimasi menggunakan tehnik *double sampling with linear rergression* (*dstr*)

Koefisien regresi dari persamaan tersebut dihitung menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squared method*). Ragam dari pengambilan contoh ganda (Sv^2_{dstr}) ini dihitung dengan rumus sebagaimana disarankan oleh DeVries (1986) dalam Shiver and Borders (1996):

$$Sv^2_{dstr} = \frac{S^2_{vf}}{m} \left(1 - \left(\frac{n-m}{n} \right) r^2 \right) \quad (6)$$

Rumus (6) juga dapat ditulis seperti rumus (7)

$$Sv^2_{dstr} = S^2_{vf} \left(\frac{1-r^2}{m} \right) + \frac{S^2_{vf} r^2}{n} \quad (7)$$

dimana : S_{vf}^2 = keragaman contoh yang dihitung dengan rumus (8):

$$S_{vf}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m vf_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m vf_i\right)^2}{m}}{m-1} \quad (8)$$

Nilai koefisien korelasi (r) dihitung sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m vp_i vf_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^m vp_i\right)\left(\sum_{i=1}^m vf_i\right)}{m}}{\left[\sum_{i=1}^m vp_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m vp_i\right)^2}{m}\right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^m vf_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m vf_i\right)^2}{m}\right]^{1/2}} \quad (9)$$

Selanjutnya, selang dugaan potensi, kesalahan penarikan contoh (SE) dan koefisien variasi (CV) diperoleh sebagai berikut:

$$\hat{V}_{dstr} \pm t_{(\alpha, m-1)} S_{v_{dstr}} \quad (10)$$

$$SE = \frac{t_{(\alpha, m-1)} S_{v_{dstr}}}{\hat{V}_{dstr}} \cdot 100\% \quad (11)$$

$$CV = \frac{S_{v_{dstr}}}{\hat{V}_{dstr}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Alokasi optimum

Tingkat efisiensi teknik pengambilan contoh ganda dibandingkan dengan menggunakan pengambilan contoh sederhana sangat ditentukan oleh jumlah plot contoh optimum yang harus diamati di potret dan di lapangan. Besarnya jumlah contoh yang optimum yang harus diamati di lapangan dan di potret sangat tergantung pada koefisien korelasi serta rasio biaya antara pengamatan per plot pada potret terhadap pengamatan di lapangan. Secara matematis, rasio jumlah plot di potret dan di lapangan dapat diperoleh sebagai berikut (Paine, 1981):

$$n_f = \frac{(CV)^2(t)^2}{(DSE\%)^2} \left\{ \frac{C_f}{E[C_f + (R)(C_p)]} \right\} \quad (13)$$

$$n_p = n_f(R) \quad (14)$$

$$E = \frac{C_f/C_p}{\left[\sqrt{(1-r^2)(C_f/C_p)} + r \right]^2} \quad (15)$$

$$R = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1-r^2}{r^2} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right)}} \quad (16)$$

dimana :

R = rasio optimum antara jumlah plot pada potret terhadap jumlah plot yang diamati di lapangan;

C_f = biaya pengamatan di lapangan per ha;

C_p = biaya pengamatan per ha di potret (termasuk harga potret per ha);

E = efisiensi;

CV = koefisien variasi;

DSE = kesalahan sampling yang diharapkan.

Efisiensi Relatif (ER)

Efisiensi relatif dalam studi ini adalah rasio antara pengorbanan (*biaya*) yang dikeluarkan dengan metode pengambilan contoh ganda dengan metode pengambilan contoh acak sederhana.

$$ER = \frac{n_s \cdot C_f}{n_p C_p + n_f C_f} \cdot 100\% \quad (17)$$

Untuk menghasilkan ketelitian yang sama (*SE* yang sama), dari tehnik pengambilan contoh acak sederhana, maka perlu membuat plot sebanyak (n_s) sebagai berikut:

$$n_s = \frac{(CV)^2(t)^2}{(DSE\%)^2} \quad (18)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi Potensi

Berdasarkan analisis statistik terhadap potensi kayu hasil pengukuran melalui potret udara dan hasil pemeriksaan lapangan dari 25 plot untuk PUFK dan 26 plot untuk PUK, diperoleh persamaan regresi model penduga penarikan contoh ganda beserta koefisien korelasinya sebagai berikut:

- Menggunakan PUFK:

$$\hat{V}_{dsir} = \bar{V}_{f_m} + 1,0672(\bar{V}_{p_n} - \bar{V}_{p_m}) \quad (19)$$

dengan $r = 0,8900$

- Menggunakan PUK:

$$\hat{V}_{dsir} = \bar{V}_{f_m} + 1,2555(\bar{V}_{p_n} - \bar{V}_{p_m}) \quad (20)$$

dengan $r = 0,8396$

Dilihat dari nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi, yaitu 0,89 untuk PUFK dan 0,84 untuk PUK, tehnik penarikan contoh ganda dengan regresi ini akan menjadi efektif dan efisien. Korelasi yang tinggi akan menyebabkan meningkatkan efisiensi penerapan tehnik penarikan contoh ganda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa korelasi antara volume sebenarnya di lapangan dengan volume hasil estimasi PUFK lebih tinggi dibandingkan dengan korelasi antara volume lapangan dengan volume yang diamati di PUK.

Dari hasil pemeriksaan lapangan dan interpretasi potret diperoleh data-data sebagaimana disajikan pada Tabel 1:

Tabel 1. Nilai rata-rata, ragam contoh dan ragam pengambilan contoh ganda dengan regresi

Pengamatan	Jumlah plot	Volume rata-rata (m ³ / 0,1 Ha)	S_{vf}^2	$S_{v\ dsir}^2$
1. PUFK				
\bar{V}_{p_n}	50	16,042		
\bar{V}_{p_m}	25	14,091		
Lapangan	25	14,078	19,79615	0,47823
2. PUK				
\bar{V}_{f_n}	70	11,866		
\bar{V}_{f_m}	26	12,219		
Lapangan	26	11,721	19,70840	0,42213

Dengan persamaan (19), (20), (10), (11) dan (12) diperoleh dugaan volume per ha, selang dugaan, kesalahan penarikan contoh dan koefisien variasi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi volume tegakan dengan tehnik pengambilan contoh ganda

Jenis foto	\hat{V}_{dstr} (m ³ /Ha)	Selang dugaan pada tingkat kepercayaan 5%		SE_{dstr} (%)	CV
		batas bawah	batas atas		
PUFK	161,60	147,732	175,87	8,833	4,279
PUK	114,25	100,86	127,63	11,715	5,687

Pada tingkat kepercayaan 5% dengan PUFK diperoleh dugaan rata-rata volume tegakan jati sebesar 161,6 m³/Ha, atau berkisar antara 147,32 m³/Ha sampai dengan 175,87 m³/Ha. Sementara dengan PUK diperoleh dugaan yang cenderung lebih rendah (*under estimate*) yaitu 114,3 m³/ha dengan kisaran antara 100,86 m³/ha sampai dengan 127,6 m³/ha. Dilihat dari kesalahan penarikan contohnya (*sampling error*), pendugaan volume tegakan menggunakan PUFK memberikan hasil yang lebih teliti, yang ditunjukkan oleh kesalahan penarikan contohnya yang hanya 8,8%, yaitu 3% lebih kecil dari yang dihasilkan dari penggunaan PUK (11,7%). Dibandingkan dengan studi lain, kesalahan sampling yang dihasilkan oleh PUFK pada studi ini menunjukkan hasil yang cukup mengembirakan, yaitu relatif lebih baik dari penerapan tehnik pengambilan contoh ganda terstratifikasi di hutan alam melalui potret udara skala 1: 20.000 yang menghasilkan kesalahan sampling 10,6% (Sujiatmoko, 1998). Penelitian Darmawangsa (1975) pada hutan agathis di Hutan Gunung Walat yang menghasilkan kesalahan sampling sebesar 8,84% relatif sama dengan kesalahan sampling yang dihasilkan menggunakan PUFK pada studi ini. Kesalahan sampling yang lebih rendah dari PUFK tidak terlepas dari kualitas potret sehingga ketelitian pengukuran dimensi tegakan yang dapat dilakukan pada PUFK lebih teliti (Jaya dan Cahyono, 2001). Secara teknis studi ini menunjukkan bahwa PUFK cukup layak digunakan untuk mengestimasi potensi tegakan. Walaupun PUFK yang digunakan dicetak dengan tehnik pembesaran menjadi 1:8.000, hasil estimasi melalui PUFK cukup akurat, sehingga ragam (Sv_{dstr}) dan koefisien variasi (CV) pengambilan contoh ganda menjadi lebih rendah. Secara teknis, studi ini menunjukkan keunggulan PUFK dalam menduga potensi tegakan dibandingkan dengan PUK.

Efisiensi

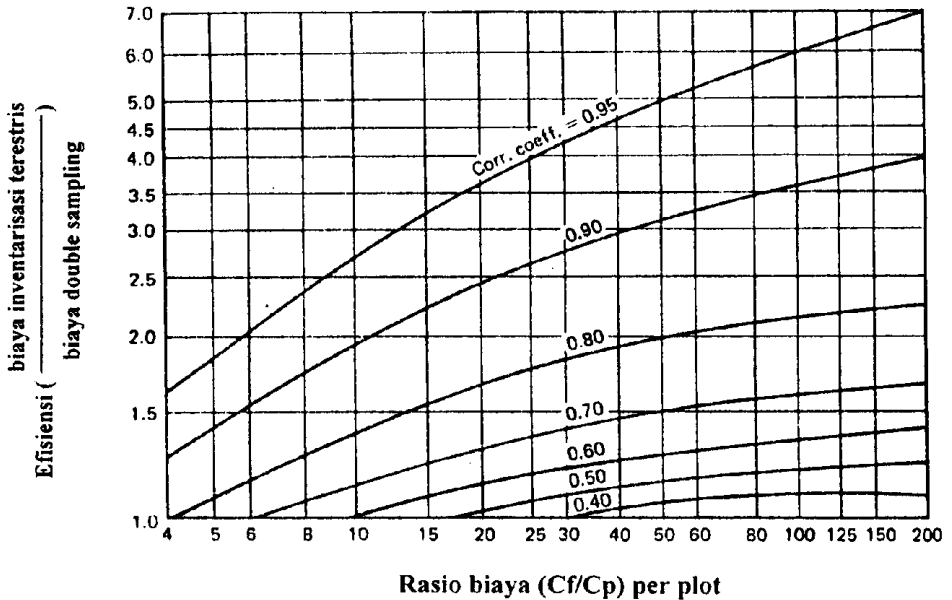
Sebagaimana dijelaskan terdahulu, studi ini dilatarbelakangi oleh suatu kondisi dimana biaya inventarisasi potensi per satuan luas dengan PUFK jauh lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan PUK. Atas dasar data-data sekunder dan data primer yang dikumpulkan diperoleh rincian biaya per ha yang dibutuhkan untuk interpretasi dan pengamatan lapangan sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut diketahui bahwa, biaya menggunakan PUFK hanya sekitar 56% (Rp. 6.580) dari biaya menggunakan PUK (Rp. 11.680). Kondisi ini akan menyebabkan efisiensi penggunaan PUFK lebih baik dibandingkan dengan PUK. Jika dibandingkan dengan biaya pengamatan di lapangan yang mencapai Rp. 170.000/Ha, rasio biaya lapangan terhadap biaya PUFK (C_f/C_{pufk})

mencapai 25,84, sementara rasio Cf/Cp_{PUK} sedikit lebih rendah, yaitu 14,55. Efisiensi tehnik pengambilan contoh ganda akan tinggi apabila rasio biaya lapangan/potret tinggi, demikian pula sebaliknya. Sebagaimana yang digambarkan oleh Wear *et al.* (1966) dalam Paine (1981) peningkatan efisiensi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien korelasi (r) dan rasio biaya lapangan/potret (Gambar 1). Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1, efisiensi akan meningkat secara tajam apabila koefisien korelasi dan rasio biaya yang tinggi. Pengambilan contoh akan menjadi sangat efisien apabila koefisien korelasinya tinggi dan rasio Cf/Cp tinggi. Sebaliknya, pada koefisien korelasi yang rendah (0,4), efisiensi cukup rendah dan hampir tidak ada peningkatan meskipun rasio biaya lapangan/potret meningkat sampai 200 kali.

Tabel 3. Biaya inventarisasi terestris dan interpretasi menggunakan potret udara

No.	Komponen biaya	Biaya (Rp. / Ha)
1.	Pengamatan lapangan (Cf)	170.000
2.	Menggunakan PUFK (Cp)	
	• Biaya pembuatan PUFK	6.500
	• Interpretasi	80
		6.580
3.	Menggunakan PUK (Cp)	
	• Biaya pembuatan PUK	11.600
	• Interpretasi	80
		11.680

Efisiensi tehnik pengambilan contoh ganda dengan regresi akan meningkat cukup besar apabila koefisien korelasinya (r) mendekati 0,9. Digambarkan bahwa meskipun rasio Cf/Cp tinggi, tetapi nilai r rendah ($< 0,7$) efisiensi tidak dapat melebihi nilai 1,5. Pada studi ini, PUFK mempunyai nilai r sebesar 0,89 (mendekati 0,9) dan $Cf/Cp_{PUFK} = 25,8$ memberikan efisiensi sebesar 2,51. Sementara itu PUK hanya memberikan nilai efisiensi sebesar 1,99 pada nilai $r = 0,84$ dan $Cf/Cp_{PUK} = 14,55$ (Tabel 3).



Gambar 1. Kurva hubungan antara rasio biaya, koefisien korelasi dan efisiensi (Dari J.F. Wear, R. B. Pope, and P.W. Orr, 1966. *Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station* dalam Paine, 1981)

Tabel 4. Hasil efisiensi relatif

Komponen	Efisiensi (E)	Rasio n_p/n_f (R)	ns	Jumlah plot di lapangan & dipotret pada SE 5%*		Efisiensi relatif (%)
				n_f	n_p	
PUFK	2,511	9,922	4	1	9	296,7
PUK	1,993	5,490	6	2	17	225,7

Catatan : $t_{5\%,24} = 2,064$; & $t_{5\%,25} = 2,06$ *) dilakukan pembulatan ke atas

Sebagaimana disebutkan terdahulu, korelasi yang tinggi antara hasil pengamatan lapangan dengan hasil penafsiran potret udara akan menyebabkan penerapan tehnik *double sampling* akan menjadi efisien. Sebagaimana disajikan pada Tabel 3, tehnik pengambilan contoh ganda dengan regresi menggunakan PUFK memberikan efisiensi relatif sebesar 296,7%. Hal ini berarti bahwa dibandingkan dengan inventarisasi secara terestris, untuk menghasilkan kesalahan pengambilan contoh sebesar 5%, tehnik pengambilan contoh ganda menggunakan PUFK memberikan efisiensi 196,7% lebih besar daripada cara terestris. Jumlah plot yang harus diamati untuk mendapatkan kesalahan penarikan contoh 5% adalah 1 plot di lapangan dan 9 plot pada PUFK. Jika dibandingkan dengan penggunaan PUK, studi ini menunjukkan bahwa penggunaan PUK (skala 1:20.000) memberikan efisiensi relatif sebesar 225,7%, dimana jumlah plot yang harus diamati di

lapangan adalah 3 plot dan di PUK 17 plot. Dilihat dari efisiensi relatif PUFK dan PUK, penggunaan PUFK ternyata memberikan hasil sebesar 71% lebih efisien dibandingkan dengan pemanfaatan PUK. Secara umum, studi ini menyatakan bahwa inventarisasi menggunakan kombinasi antara inventarisasi terestris dan penginderaan jauh (potret udara baik format kecil maupun konvensional) memberikan hasil yang lebih efisien dibandingkan dengan inventarisasi yang hanya mengandalkan data inventarisasi terestris. Jumlah pengamatan yang lebih besar yang dapat dilakukan pada potret udara, korelasi yang tinggi antara hasil pengamatan lapangan dan hasil pengamatan potret udara serta biaya pengamatan per ha di potret udara yang lebih murah menyebabkan pilihan penggunaan teknik *double sampling* lebih disukai, karena menjadi lebih efisien.

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh, studi ini dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penggunaan PUFK mampu memberikan efisiensi yang jauh lebih efisien (2,5) dibandingkan dengan penggunaan PUK (1,99). Dengan kata lain, penggunaan PUFK untuk inventarisasi hutan lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan PUK.
2. Untuk menghasilkan kesalahan sampling yang sama, yaitu 5%, penggunaan teknik pengambilan contoh ganda baik menggunakan PUFK maupun PUK memberikan efisiensi relatif yang lebih besar dibandingkan dengan inventarisasi terestris dengan teknik pengambilan contoh acak sederhana, yaitu 296,7% dan 225,7%.
3. Estimasi tegakan menggunakan PUFK memberikan hasil yang relatif lebih teliti atau (*sampling error*) SE 8,8% lebih kecil dibandingkan menggunakan PUK (11,7%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Ir. G.H. Anto atas ijinnya menggunakan PUFK dan data-data yang terkait dengan studi ini. Kepada PT. Perhutani yang telah memberikan data/informasi PUK dan hasil pemeriksaan lapangan juga disampaikan penghargaan yang tidak ternilai harganya. Kepada kolega kami Ir. M. Buce Saleh, MSc (Phd candidate), terima kasih atas komentar dan masukannya. Tulisan ini juga kami didikasikan untuk almarhum Bapak Ir. Teguh Darmawangsa.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmawangsa, Teguh, 1975. Penggunaan Potret Udara dalam Menaksir Volume Tegakan *Agathis loranthifolia* Salisb di Hutan Pendidikan Gunung Walat Kabupaten Sukabumi. Skripsi Jurusan Manajemen Hutan. Fakultas Kehutanan IPB. Tidak diterbitkan.
- Jaya, I N. Surati dan A. B. Cahyono, 2001. Kajian Teknis Pemanfaatan Potret Udara Non-Metrik Format Kecil pada Bidang Kehutanan (*Technical study on the use of small format non-metric aerial photograph for forestry field*). Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. VII, No. 1 (55-64).
- Paine, David P., 1981. Aerial photography and image interpretation for resource management. John Wiley & Sons, New York, p. 571.
- Shiver, Barry D. and B. E. Borders, 1996. Sampling Techniques for Forest Resource Inventory. John Wiley & Sons, New York, p.356
- Sujiatmiko, Singgih, 1998. Penerapan Double Sampling Terstratifikasi dalam Menduga Potensi Hutan Alam melalui Potret Udara (Studi kasus di HPH PT. Saribumi Kusuma Propinsi Dati I, Kalimantan Tengah). Skripsi Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan, IPB. Tidak diterbitkan.

Diterima 10-8-2001
Disetujui 20-11-2001