

## PENENTUAN UKURAN PLOT CONTOH OPTIMAL UNTUK PENDUGAAN LUAS BIDANG DASAR DAN BIOMASSA TEGAKAN

*(Determination of Optimal Sample Plot Size for Estimating Stand Basal Area and Biomass)*

Erwin Kusumah Nanjaya<sup>1\*</sup>, Teddy Rusolono<sup>2</sup>, dan/and Tatang Tiryana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa SPs IPB University/Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

<sup>2</sup>Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB University, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga, 16680, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

Info artikel:	ABSTRACT
<b>Keywords:</b> <i>Forest inventory, forest ecosystem, sample plot size, number of plots, coefficient of variation</i>	Basal area and biomass of forest stand can be calculated from forest inventory data, which are obtained from stand measurements using sample plots with a specific size and number. The accuracy level of data and information gained from a forest inventory would depend on the size and number of sample plots. To date, there are still few studies that investigate the size and number of sample plots for forest inventory, especially in the natural tropical forests of Indonesia. This study aimed to determine the optimal size and number of sample plots for estimating stand basal area and biomass in a forest inventory at four types of natural forest ecosystems (Primary Dryland Forest/PDF, Secondary Dryland Forest/SDF, Primary Peatswamp Forest/PPF, and Secondary Peatswamp Forest/SPF). The data used in this study were Permanent Sample Plots (PSP) data contained in the cluster-plots of the National Forest Inventory (NFI) data of Indonesia. The data analyses were conducted to obtain coefficients of variation (CV) of stand basal area and biomass by simulating various sizes of sample plots. The CV declined with increasing the plot sizes, following negative exponential trends. The optimal plot size for PDF, SDF, and SPF was 0.40 ha, while for PPF was 0.25 ha. The optimal number of sample plots varied according to forest ecosystem type and desired level of sampling error. This study confirmed that the size and number of sample plots must be adapted to each forest ecosystem to facilitate an efficient forest inventory.
<b>Kata kunci:</b> Inventarisasi hutan, ekosistem hutan, ukuran plot contoh, jumlah plot, koefisien variasi	<b>ABSTRAK</b> Luas bidang dasar dan biomassa tegakan hutan dapat dihitung dari data inventarisasi hutan yang diperoleh melalui pengukuran tegakan menggunakan plot-plot contoh dengan ukuran dan jumlah tertentu. Tingkat akurasi data dan informasi yang diperoleh dari inventarisasi hutan akan sangat tergantung dari besarnya ukuran dan jumlah plot contoh tersebut. Sampai saat ini, masih sedikit studi yang mempelajari ukuran dan jumlah plot contoh untuk pelaksanaan inventarisasi hutan terutama hutan alam tropis di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ukuran dan jumlah plot contoh optimal untuk pendugaan luas bidang dasar dan biomassa tegakan dalam inventarisasi hutan pada empat jenis ekosistem hutan alam (Hutan Lahan Kering Primer/HLKP, Hutan Lahan Kering Sekunder /HLKS, Hutan Rawa Primer/HRP dan Hutan Rawa Sekunder/HRS). Data yang digunakan adalah data Petak Ukur Permanen (PUP) yang terdapat dalam kluster plot data Inventarisasi Hutan Nasional (National Forest Inventory/NFI) di Indonesia. Analisis data dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien variasi (CV) luas bidang dasar dan biomassa melalui simulasi berbagai ukuran plot contoh. CV menurun dengan meningkatnya ukuran plot, mengikuti tren eksponensial negatif. Ukuran plot optimal untuk HLKP, HLKS, dan HRS adalah 0,40 ha, sedangkan untuk HRP adalah 0,25 ha. Jumlah plot contoh optimal bervariasi sesuai dengan tipe ekosistem hutan dan tingkat kesalahan pengambilan sampel yang diinginkan. Studi ini menegaskan bahwa ukuran dan jumlah plot contoh harus disesuaikan pada setiap ekosistem hutan untuk memfasilitasi inventarisasi hutan yang efisien.
<b>Riwayat Artikel:</b> Tanggal diterima: 19 Mei 2019; Tanggal direvisi: 2 April 2020; Tanggal disetujui: 27 April 2020	

Editor: Rinaldi Imanuddin, S.Hut., M.Sc

Korespondensi penulis: Erwin Kusumah Nanjaya\* (E-mail: erwin15kusumah@gmail.com)

Kontribusi penulis: **EKN:** Mengumpulkan, mengolah dan menganalisis data serta menulis naskah; **TR:** Merumuskan ide/topik penelitian dan menulis naskah; **TT:** Merumuskan ide/topik penelitian, memformulasikan metode analisis data dan menulis naskah.

<https://doi.org/10.20886/jphka.2020.17.1.65-77>

©JPHKA - 2018 is Open access under CC BY-NC-SA license



## I. PENDAHULUAN

Hutan alam memiliki karakteristik tegakan dengan keragaman yang berbeda, sehingga diperlukan penyesuaian terhadap tujuan pengelolaan berdasarkan tipe ekosistemnya. Pengelolaan hutan berbasis ekosistem memiliki tujuan yang lebih komprehensif terhadap tegakan hutan, struktur tegakan, fungsi hutan, kondisi lingkungan serta berbagai faktor ekologi lainnya.

Pengelolaan hutan lestari diperlukan untuk menjamin kelestarian sumber daya hutan, sehingga dapat memberi manfaat yang berkesinambungan secara ekonomi, ekologi dan sosial. Data dan informasi sumber daya hutan sangat diperlukan sebagai salah satu dasar pengambilan kebijakan untuk pengelolaan dan monitoring hutan. Inventarisasi hutan merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi yang dimaksud. Inventarisasi hutan umumnya dilaksanakan pada tingkat nasional dan unit manajemen. Inventarisasi hutan nasional (*National Forest Inventory/NFI*) dilaksanakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk memperoleh data dan informasi tentang sumber daya hutan serta lingkungannya secara lengkap. Sementara, inventarisasi hutan pada tingkat unit manajemen dilakukan oleh pemegang konsesi untuk menyusun rencana pengelolaan hutan.

Dalam inventarisasi hutan, data peubah tegakan umumnya diperoleh melalui pembuatan dan pengukuran plot contoh. Ukuran plot contoh memiliki pengaruh langsung terhadap penilaian karakteristik hutan secara umum, seperti kerapatan tegakan dan luas bidang dasar. Penelitian Carrer, Castagneri, Popa, Pividori, & Lingua (2017) terhadap plot berukuran 4 ha di hutan Eropa Tengah, yang mengevaluasi ukuran plot dan menilai parameter rata-rata diameter pohon, rata-rata tinggi pohon, luas bidang dasar tegakan, dan kerapatan tegakan, menunjukkan bahwa akurasi penilaian parameter tegakan hutan meningkat

seiring dengan meningkatnya ukuran subplot. Menurut Carrer et al. (2017), ukuran plot kecil (0,25 ha) cukup akurat untuk menduga luas bidang dasar tegakan, tetapi kurang akurat untuk pendugaan kerapatan tegakan (khususnya pada tegakan tua). Namun secara umum, ukuran plot 0,25 ha dapat diandalkan untuk menilai parameter-parameter tegakan pada hutan yang dikelola sebelumnya (Carrer et al., 2017). Chave et al. (2004) menyarankan bahwa ukuran plot contoh untuk pendugaan biomassa hutan di daerah tropis seharusnya lebih besar dari 0,25 ha. Selanjutnya Omar, Ismail, & Hassan (2013) mengemukakan bahwa ukuran plot optimal untuk sampling biomassa di hutan alam yang belum ditebang adalah 40 x 40 m untuk plot bujur sangkar dan 20 x 40 m untuk plot persegi panjang. Adapun untuk hutan alam yang telah ditebang, ukuran plot contoh optimalnya adalah 50 x 50 m untuk plot bujur sangkar dan 20 x 40 m untuk plot persegi panjang. Beberapa studi di hutan tropis terkait ukuran plot contoh umumnya masih terfokus pada masalah kesalahan pengambilan contoh yang berhubungan dengan biomassa tegakan (Wagner, Rutishauser, Blanc, & Herault, 2010).

Sampai saat ini penelitian terkait kesesuaian plot contoh berdasarkan tipe ekosistem dan kondisi hutan belum banyak dilakukan, padahal salah satu syarat untuk merencanakan dan mengelola hutan berdasarkan tipe ekosistemnya yang bersifat lokal (*site specific*), diperlukan desain penarikan contoh berupa plot contoh yang diterapkan dengan memperhatikan tipe ekosistem dan kondisi hutan yang akan di inventarisasi. Selain itu untuk memilih ukuran dan jumlah plot yang direplikasi masih perlu pengkajian (Picard, Magnussen, Banak, Namkoserena, & Yalibanda, 2010). Tujuan penelitian ini adalah menentukan ukuran dan jumlah plot contoh optimal untuk pendugaan luas bidang dasar dan biomassa tegakan di hutan lahan kering

primer (HLKP), hutan lahan kering sekunder (HLKS), hutan rawa primer (HRP) dan hutan rawa sekunder (HRS).

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Kehutanan IPB dan Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan (IPSDH) KLHK dengan mengumpulkan data hasil kegiatan Inventarisasi Hutan Nasional (*National Forest Inventory/NFI*). Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu pada bulan Januari – Maret 2018, mulai dari tahapan pengumpulan data, pengolahan data, sampai analisis data.

### B. Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan yaitu seperangkat laptop yang dilengkapi dengan program Microsoft Excel, SPSS dan Minitab, untuk pengolahan dan analisis data. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengukuran Petak Ukur Permanen (PUP) dari kegiatan Inventarisasi Hutan Nasional.

### C. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode simulasi terhadap PUP. Untuk menentukan ukuran plot contoh yang optimal pada setiap tipe ekosistem hutan, pada setiap PUP dilakukan simulasi ukuran plot contoh yang mungkin terbentuk dalam PUP berukuran 100 x 100 m. Ukuran plot disimulasikan berdasarkan ukuran subplot terkecil (25 x 25 m, disebut *Recording Unit/RU* dalam NFI) hingga ukuran lebih besar melalui penggabungan beberapa subplot/RU yang berdekatan baik dengan bentuk plot bujur sangkar dan persegi panjang. Untuk plot bujur sangkar berukuran 25 x 25 m, 50 x 50 m, 75 x 75 m dan 100 x 100 m, sedangkan untuk plot persegi panjang berukuran 25 x 50, 25 x 75 m, 25 x 100 m, 50 x 75 m, 50 x 100 m dan 75 x 100 m.

Data yang digunakan merupakan hasil pengukuran PUP yang terdapat dalam klaster-plot Inventarisasi Hutan Nasional (*NFI*). Tiap PUP memiliki luas 1 ha yang terbagi dalam 16 unit pencatatan (*recording unit*) dengan ukuran 25 x 25 m. Masing-masing *recording unit* (selanjutnya disebut subplot) diberi kode nomer 1-16. Data PUP yang digunakan sebanyak 49 PUP yang mewakili empat tipe ekosistem hutan, yaitu HLKP sebanyak 20 PUP, HLKS sebanyak 19 PUP, HRP sebanyak 5 PUP dan HRS sebanyak 5 PUP, yang tersebar di Provinsi Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Papua Barat (Tabel 1). Pada beberapa tipe hutan (yaitu HLKS dan HRS di Papua Barat serta HRP dan HRS di Kalimantan Tengah) jumlah PUP yang dianalisis relatif sedikit (<3 PUP) karena keterbatasan data PUP dari hasil kegiatan Inventarisasi Hutan Nasional. Untuk itu, analisis data dilakukan dengan menggabungkan data ketiga provinsi berdasarkan tipe hutannya, sehingga jumlah PUP yang dianalisis mencukupi dan memenuhi kaidah statistik (5–20 PUP).

### D. Analisis Data

#### 1. Peubah tegakan yang dianalisis

Pada setiap ukuran plot contoh yang disimulasikan, dilakukan perhitungan luas bidang dasar dan biomassa tegakan. Kedua peubah tegakan tersebut digunakan dengan pertimbangan bahwa luas bidang dasar tegakan dapat lebih mencerminkan tingkat kerapatan tegakan dibanding jumlah pohon per hektar karena memperhitungkan ukuran diameter pohon dalam tegakan serta sering digunakan untuk menghitung indeks biodiversitas (Motz, Sterba, & Pommerening, 2010), sedangkan biomassa tegakan dapat lebih mencerminkan tingkat produktivitas tegakan dibanding volume tegakan (Skovsgaard, & Vanclay, 2008).

Tabel (Table) 1. Jumlah dan sebaran PUP contoh pada tiap tipe ekosistem hutan (*Number and distribution of sample PUPs in each type of forest ecosystem*).

Provinsi (Province)	Tipe ekosistem hutan (Forest ecosystem type)			
	Hutan lahan kering (Dryland forest)		Hutan rawa (Peatswamp forest)	
	Primer (Primary)	Sekunder (Secondary)	Primer (Primary)	Sekunder (Secondary)
Kalimantan Barat (West Kalimantan)	5	6	-	3
Kalimantan Tengah (Central Kalimantan)	4	11	2	1
Papua Barat (West Papua)	11	2	3	1
Total PUP	20	19	5	5

### 1.1. Luas bidang dasar tegakan

Luas bidang dasar tiap pohon dihitung dengan menggunakan rumus:

$$G = 0,25\pi(D/100)^2 \quad (1)$$

G adalah luas bidang dasar (m<sup>2</sup>) dan D adalah diameter pohon (cm)

Luas bidang dasar tegakan dalam plot contoh adalah hasil penjumlahan luas bidang dasar setiap individu pohon dalam plot berukuran tertentu, yang selanjutnya dikonversi ke dalam satuan hektar.

### 1.2. Biomassa tegakan

Biomassa di atas permukaan tanah dihitung dengan menggunakan persamaan alometrik dari Chave et al. (2005) berikut ini:

$$B = \rho \exp \{-1,239 + 1,908 \ln (D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,081 (\ln (D))^3\} \quad (2)$$

B merupakan total biomassa di atas permukaan tanah (kg),  $\rho$  adalah berat jenis kayu (g/cm<sup>3</sup>), dan D adalah diameter setinggi dada (cm). Persamaan tersebut digunakan karena data yang selalu tersedia pada setiap PUP adalah data

diameter pohon (D). Biomassa tegakan dalam plot merupakan hasil penjumlahan biomassa setiap pohon dalam plot dengan ukuran yang telah ditetapkan. Selanjutnya biomassa tersebut dikonversi ke dalam satuan hektar.

### 2. Penentuan ukuran plot contoh

Untuk menentukan ukuran plot contoh optimal pada suatu tipe ekosistem hutan, terlebih dahulu dilakukan penggabungan plot-plot contoh dengan beragam ukuran yang disimulasikan dari data PUP sehingga mewakili keragaman kondisi tegakan di ketiga provinsi (Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Papua Barat, Tabel 2).

Pada tipe ekosistem tertentu selanjutnya dihitung koefisien variasi yang mencerminkan keragaman peubah tegakan (luas bidang dasar dan biomassa tegakan) dengan rumus:

$$CV = \frac{s_y}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad (3)$$

CV adalah koefisien variasi (%),  $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata peubah tegakan (luas bidang dasar atau biomassa tegakan),  $s_y$  merupakan simpangan baku contoh dari peubah tegakan.

Tabel (Table) 2. Ukuran dan jumlah plot contoh hasil simulasi untuk tiap tipe ekosistem (Size and number of sample plots from the simulation results for each type of ecosystem)

Ukuran (m) (size)	Luas (ha) (area)	Jumlah plot simulasi (Plot simulation number)			
		HLKP (PDF)	HLKS (SDF)	HRP (PPF)	HRS (SPF)
25 x 25	0,0625	320	287	80	80
25 x 50	0,125	480	419	120	120
25 x 75	0,1875	320	287	80	80
50 x 50	0,25	180	162	45	45
25 x 100	0,25	160	152	40	40
50 x 75	0,375	240	216	60	60
50 x 100	0,5	120	108	30	30
75 x 75	0,5625	81	72	20	20
75 x 100	0,75	80	78	20	20
100 x 100	1,0	20	18	5	5
Total		2001	1799	500	500

Keterangan (Remarks):

HLKP (PDF) = Hutan Lahan Kering Primer (Primary Dry Forest)

HLKS (SDF) = Hutan Lahan Kering Sekunder (Secondary Dry Forest)

HRP (PPF) = Hutan Rawa Primer (Primary Peatswamp Forest)

HRS (SPF) = Hutan Rawa Sekunder (Secondary Peatswamp Forest)

Berdasarkan nilai-nilai CV dan ukuran plot-plot contoh (dinyatakan dalam jumlah subplot yang digabung untuk membentuk plot contoh dengan luasan tertentu, dimana 1 subplot membentuk plot contoh seluas 0,0625 ha) pada tiap ekosistem hutan, kemudian dilakukan analisis regresi untuk memperoleh model hubungan antara jumlah subplot dalam plot contoh (X, ha) dan CV peubah tegakan (Y, %) dengan menggunakan 2 model berikut ini (Grussu et al., 2016):

Model 1:

$$Y = bX^{-c} \tag{4a}$$

Model 2:

$$Y = a + bX^{-c} \tag{4b}$$

Nilai-nilai parameter *a*, *b*, dan *c* ditentukan melalui analisis regresi non-linear untuk masing-masing peubah tegakan. Model regresi terbaik dipilih berdasarkan kriteria: signifikansi model, simpangan baku terkecil, koefisien determinasi ( $R^2$ ) terbesar, serta memenuhi asumsi kenormalan sisaan dan kehomogenan ragam sisaan. Berdasarkan

model regresi terbaik, selanjutnya ditentukan jumlah subplot dalam plot contoh optimal ( $X_0$ ) untuk masing-masing peubah tegakan dengan rumus (Grussu et al., 2016):

$$X_0 = (1/bc)^{1/c-1} \tag{5}$$

Adapun luas plot contoh optimal untuk setiap peubah tegakan pada masing-masing tipe ekosistem hutan ditentukan dengan mengalikan nilai  $X_0$  tersebut dengan luasan tiap subplot (0,0625 ha).

### 3. Penentuan jumlah plot contoh

Berdasarkan ukuran plot contoh optimal ( $X_0$ ) dan nilai CV pada ukuran plot contoh optimal tersebut, selanjutnya ditentukan jumlah plot contoh atau ukuran contoh (*n*) yang diperlukan untuk menduga peubah tegakan pada masing-masing tipe ekosistem hutan dengan rumus sebagai berikut (Grussu et al., 2016):

$$n = \left( \frac{CV}{SE} t \right)^2 \tag{6}$$

*n* adalah jumlah plot, *SE* adalah *sampling error* dan *t* adalah nilai statistik

*t-student*. Dalam penelitian ini disimulasikan 4 taraf SE: 5%, 10%, 15%, dan 20% untuk menganalisis pengaruh tingkat ketelitian pendugaan peubah tegakan terhadap jumlah plot contoh yang diperlukan pada masing-masing tipe ekosistem hutan. Dalam hal ini, jumlah plot contoh ditentukan untuk masing-masing tipe ekosistem hutan sebagai unit populasi terpisah, sehingga ukuran populasinya (misal luas tiap tipe ekosistem hutan) tidak diperhitungkan seperti halnya dalam penentuan ukuran contoh pada populasi yang distratifikasi berdasarkan tipe ekosistem hutan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

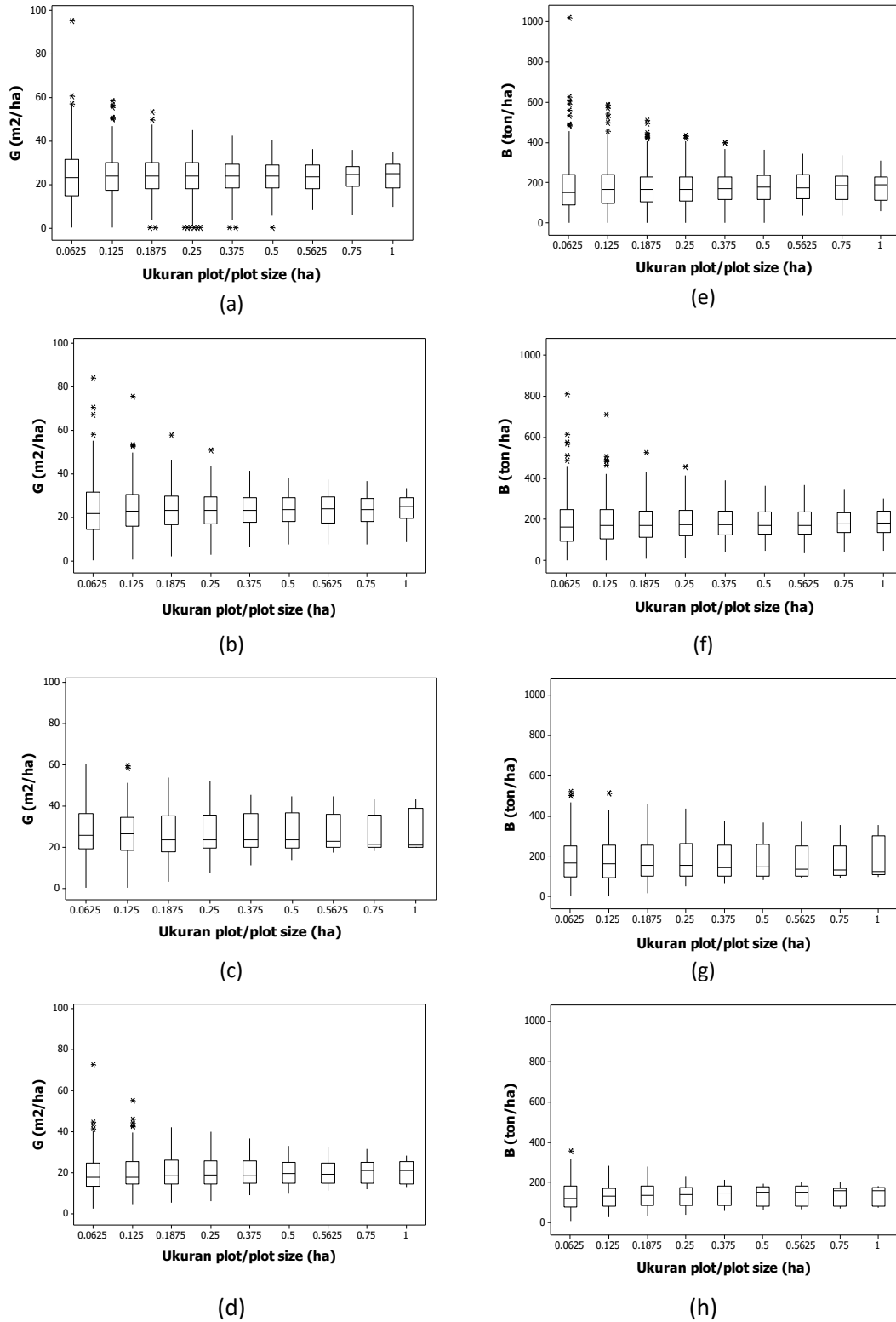
#### 1. Keragaman Peubah Tegakan

Pada masing-masing tipe ekosistem hutan, rata-rata luas bidang dasar dan biomassa tegakan cenderung bervariasi menurut ukuran/luas plot contoh (Gambar 1). Secara umum, nilai dugaan rata-rata luas bidang dasar dan biomassa tegakan sangat bervariasi pada plot-plot berukuran relatif kecil (<0,25 ha). Pada HLKP (Gambar 1a dan 1e) dan HLKS (Gambar 1b dan 1f), sebaran nilai rata-rata luas bidang dasar dan biomassa tegakan cenderung simetris walaupun terdapat beberapa pencilan pada plot-plot berukuran kecil. HLKP memiliki nilai tengah (*median*) rata-rata luas bidang dasar tegakan sebesar 22,99–25,08 m<sup>2</sup>/ha dan rata-rata biomassa tegakan sebesar 151,31–189,80 ton/ha. HLKS memiliki nilai tengah (*median*) rata-rata luas bidang dasar tegakan sebesar 21,65–24,96 m<sup>2</sup>/ha dan rata-rata biomassa tegakan sebesar 161,53–180,60 ton/ha. Pada HRP (Gambar 1c dan 1g) dan HRS (Gambar 1d dan 1h), sebaran nilai rata-rata kedua peubah tegakan cenderung tidak simetris (menjulang ke kanan atau ke kiri) karena jumlah plot contoh yang digunakan dalam simulasi relatif sedikit (5–120 plot, Tabel 2). Nilai tengah (*median*) rata-rata luas bidang dasar pada HRP (20,84–26,48 m<sup>2</sup>/ha) dan HRS (17,67–20,96 m<sup>2</sup>/ha) serta rata-rata biomassa tegakannya (HRP:

124,30–165,50 ton/ha dan HRS: 121,80–159,40 ton/ha) lebih bervariasi dibanding kedua tipe hutan lainnya.

Keragaman luas bidang dasar dan biomassa tegakan pada keempat tipe ekosistem hutan menunjukkan pola hubungan non-linear dengan ukuran plot contoh yang dapat dikuantifikasi melalui model 1 dan 2 (Tabel 3). Untuk semua tipe ekosistem hutan dan peubah tegakan, model 2 merupakan model terpilih karena memenuhi kriteria: signifikansi model, simpangan baku (RMSE) terkecil, koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) terbesar, serta memenuhi asumsi kenormalan sisaan dan kehomogenan ragam sisaan. Berdasarkan model 2, pola hubungan antara keragaman (CV) peubah tegakan dan ukuran plot bersifat eksponensial negatif, dimana CV menurun secara drastis pada plot-plot berukuran kecil dan kemudian cenderung landai pada plot-plot contoh berukuran 0,2–0,4 ha (Gambar 2).

Keragaman peubah tegakan (luas bidang dasar dan biomassa) relatif tinggi pada plot-plot contoh berukuran kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai-nilai dugaan rata-rata luas bidang dasar dan biomassa tegakan akan cenderung heterogen jika diukur menggunakan plot-plot contoh berukuran kecil. Tingginya keragaman peubah tegakan dari plot-plot contoh berukuran kecil (<0,25 ha) dimungkinkan karena pengambilan contoh dapat terjadi pada areal tegakan yang relatif jarang ataupun relatif rapat, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai-nilai 0 (nol) dan pencilan pada Gambar 1. Hal ini sejalan dengan temuan Condit (2008) yang menunjukkan bahwa pendugaan dengan plot ukuran kecil (0,04 ha) menghasilkan nilai simpangan baku biomassa hutan tropis sekitar 3–5 kali lebih besar dibanding simpangan baku dari plot ukuran besar (1 ha). Selain itu, ukuran plot dan keragaman di lingkungan yang heterogen (hutan tropis), tergantung pada rasio antara tegakan dan area terbuka dibandingkan dengan ukuran plot (Avery, & Burkhardt, 2015).



Gambar (Figure) 1. Diagram kotak garis keragaman luas bidang dasar (a, b, c, d) dan biomassa tegakan (e, f, g, h) pada berbagai ukuran plot di HLKP (a, e), HLKS (b, f), HRP (c, g), dan HRS (d, e)/Box plot of the variability of stand basal area (a, b, c, d) and stand biomass (e, f, g, h) at various plot sizes in PDF (a, e), SDF (b, f), PPF (c, g), and SPF (d, e)

## 2. Ukuran dan Jumlah Plot Contoh Optimal

Berdasarkan parameter-parameter model 2 dan Persamaan 5 dapat ditentukan ukuran plot-plot contoh optimal untuk keempat tipe ekosistem hutan seperti tertera pada Tabel 4. Tergantung tipe ekosistem hutan dan peubah tegakannya, jumlah subplot (25 x 25 m atau 0,0625 ha) optimal (yang dapat mengurangi keragaman peubah tegakan) berkisar antara empat hingga tujuh subplot, yang setara dengan luas plot contoh 0,25–0,40 ha.

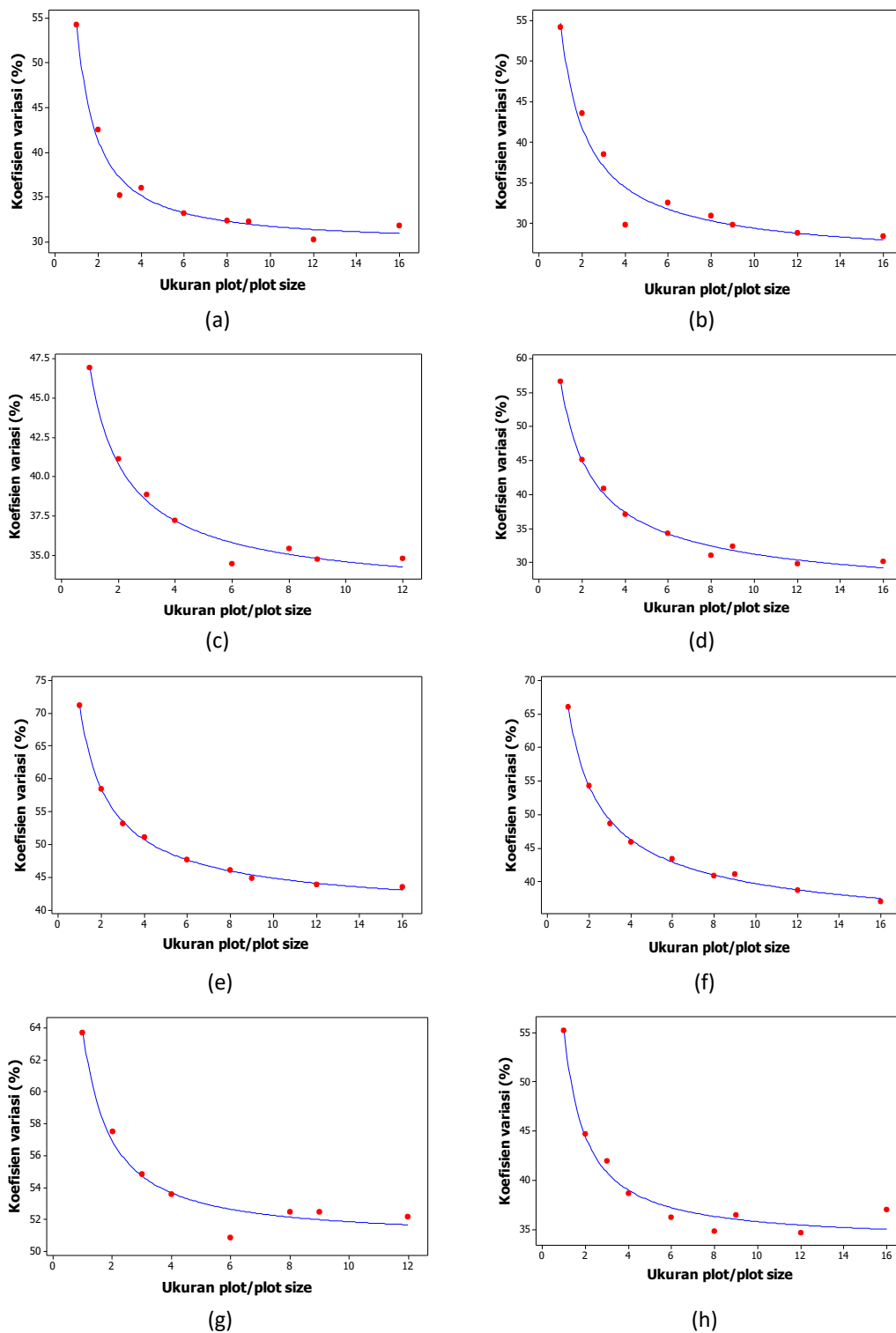
Berdasarkan ukuran plot contoh optimal ( $X_0$ ) dan nilai CV pada ukuran plot contoh optimal tersebut, selanjutnya dapat ditentukan jumlah plot contoh atau ukuran contoh ( $n$ ) yang diperlukan untuk menduga luas bidang dasar dan biomassa tegakan pada tiap tipe ekosistem hutan (Tabel 5). Selain tergantung pada tipe ekosistem hutan dan peubah tegakannya, jumlah plot contoh juga tergantung pada tingkat kesalahan penarikan contoh yang ditolerir, dimana semakin kecil SE maka jumlah plot contoh semakin besar. Misalnya, pada SE 20% jumlah plot contoh sebanyak 10–28 plot tetapi pada SE 10% jumlah plot contoh sebanyak 42–112 plot (Tabel 5). Dalam hal ini, jumlah plot contoh optimal tidak dipengaruhi oleh luas tipe ekosistem hutan, melainkan dipengaruhi oleh tingkat keragaman peubah-peubah tegakan yang dicerminkan oleh nilai-nilai koefisien variasi pada tiap tipe ekosistem hutan (Gambar 2) berdasarkan data PUP dari tiga provinsi contoh (Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Papua Barat).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ukuran plot contoh optimal tergantung pada tipe ekosistem hutan dan peubah tegakan dengan luas plot 0,25–0,40 ha (Tabel 4). Perbedaan ukuran plot contoh optimal pada pendugaan luas bidang dasar dan biomassa tegakan pada HLKP (0,30 dan 0,40 ha) dan HRS (0,40

dan 0,30 ha) disebabkan karena perbedaan keragaman peubah tegakan pada kedua tipe ekosistem tersebut. Namun perbedaan luas plot contoh tersebut tidak terlalu besar (hanya 0,10 ha), sehingga ukuran plot contoh pada HLKP dan HRS dapat disamakan menjadi 0,40 ha untuk mengakomodir keragaman biomassa tegakan yang lebih besar dibanding luas bidang dasar tegakan. Penyamaan ukuran plot contoh pada suatu tipe ekosistem hutan lazim dilakukan karena kegiatan inventarisasi bukan hanya untuk menduga peubah tegakan tertentu melainkan beberapa peubah tegakan (jumlah pohon, luas bidang dasar, dan biomassa) secara simultan. Oleh karena itu, ukuran plot contoh harus lebih besar agar dapat mewakili peubah tegakan yang memiliki keragaman spasial yang lebih tinggi (Grussu et al., 2016). Dengan demikian, ukuran plot contoh 0,40 ha dapat digunakan untuk pendugaan peubah tegakan (khususnya luas bidang dasar dan biomassa tegakan) di HLKP, HLKS, dan HRS, sedangkan ukuran plot contoh 0,25 ha dapat digunakan di HRP. Perbedaan ukuran plot contoh optimal juga ditemukan oleh Grussu et al. (2016) yang merekomendasikan ukuran plot contoh optimal sebesar 0,20 ha dan 0,32 ha untuk pendugaan cadangan karbon pada hutan primer dan hutan sekunder di Papua Nugini. Chave et al. (2004) merekomendasikan bahwa ukuran plot contoh untuk pendugaan biomassa hutan di daerah tropis seharusnya lebih besar dari 0,25 ha. Kemudian Laumonier, Edin, Kannien, & Munadar (2010) memberikan hasil analog yang mengidentifikasi 0,2–0,25 ha sebagai ukuran plot optimal untuk biomassa untuk hutan tropis. Carrer et al. (2017) juga menyatakan bahwa plot contoh seluas 0,25 ha dapat diandalkan untuk menduga peubah tegakan (terutama luas bidang dasar) pada hutan yang belum dieksploitasi.

Tabel (Table) 3. Nilai-nilai parameter, simpangan baku parameter (se), simpangan baku rata-rata (RMSE), dan koefisien determinasi terkoreksi ( $R^2_{adj}$ ) dari model 1 dan 2 untuk peubah bidang dasar (G) dan biomassa (B) tegakan pada masing-masing tipe ekosistem hutan (*Parameter estimates, standard error (se), root mean square error (RMSE), and adjusted coefficient of determination ( $R^2_{adj}$ ) of models 1 and 2 for stand basal area (G) and stand biomass (B) for each forest ecosystem type*)

Tipe hutan ( <i>Forest type</i> )	Peubah tegakan ( <i>Stand variable</i> )	Model ( <i>Model</i> )	Parameter ( <i>Parameter</i> )	SE	RMSE	$R^2_{adj}$	
HLKP ( <i>PDF</i> )	G	1	b	50,61	2,29	2,87	0,876
			c	0,22	0,03		
		2	a	29,73	1,21	1,17	0,982
	b		24,74	1,49			
	c		1,09	0,17			
	HLKS ( <i>SDF</i> )	B	1	b	68,22	1,60	2,03
c				0,19	0,02		
2			a	38,49	0,74	0,35	0,999
		b	32,64	0,71			
		c	0,71	0,04			
HRP ( <i>PPF</i> )		G	1	b	51,93	2,37	2,91
	c			0,26	0,03		
	2		a	24,94	352	2,18	0,954
		b	29,79	3,56			
		c	0,82	0,25			
	HRS ( <i>SPF</i> )	B	1	b	63,92	1,23	1,53
c				0,21	0,01		
2			a	30,53	1,52	0,52	0,998
		b	35,48	1,41			
		c	0,59	0,05			
HRS ( <i>SPF</i> )		G	1	b	44,33	1,88	2,48
	c			0,09	0,03		
	2		a	32,05	1,59	0,71	0,981
		b	14,98	1,53			
		c	0,77	0,19			
	HRS ( <i>SPF</i> )	B	1	b	61,63	1,41	1,82
c				0,08	0,01		
2			a	50,81	1,16	0,93	0,965
		b	13,07	1,33			
		c	1,09	0,29			
HRS ( <i>SPF</i> )		G	1	b	54,84	1,34	1,64
	c			0,25	0,02		
	2		a	23,32	2,19	0,84	0,993
		b	33,46	2,04			
		c	0,63	0,09			
	HRS ( <i>SPF</i> )	B	1	b	51,96	2,06	2,63
c				0,17	0,03		
2			a	33,72	1,43	1,25	0,973
		b	21,67	1,67			
		c	1,02	0,21			



Gambar (Figure) 2. Koefisien variasi G/ha: HLKP (a), HLKS (b), HRP (c), HRS (d) dan B/ha: HLKP (e), HLKS (f), HRP (g), HRS (h) dari tipe hutan yang diamati/*Coefficient of variation G/ha: PDF (a), SDF (b), PPF (c), SPF (d) dan B/ha: PDF (e), SDF (f), PPF (g), SPF (h) of forest type observed*

Tabel (Table) 4. Ukuran plot contoh optimal untuk pendugaan luas bidang dasar dan biomassa tegakan pada beberapa tipe ekosistem hutan (*Optimal size of sample plot for estimating the basal area and stand biomass in several types of forest ecosystems*)

Tipe hutan ( <i>Forest type</i> )	Peubah tegakan ( <i>Stand variable</i> )	Jumlah subplot optimal ( $X_0$ ) ( <i>Optimal subplot number</i> )	Luas plot contoh optimal (ha) ( <i>Optimal sample plot area</i> )
HLKP ( <i>PDF</i> )	G	5	0,30
HLKS ( <i>SDF</i> )	B	6	0,40
HRP ( <i>PPF</i> )	G	6	0,40
HRS ( <i>SPF</i> )	B	7	0,40
	G	4	0,25
	B	4	0,25
	G	6	0,40
	B	5	0,30

Tabel (Table) 5. Jumlah plot contoh optimal untuk menduga luas bidang dasar dan biomassa tegakan pada beberapa tipe ekosistem hutan berdasarkan tingkat kesalahan penarikan contoh (SE) (*The optimal number of sample plots to estimate the basal area and standing biomass in several types of forest ecosystems based on and the sampling error rate (SE)*)

Tipe hutan ( <i>Forest type</i> )	Peubah tegakan ( <i>Stand variable</i> )	Jumlah plot contoh (n) ( <i>Number of sample plot</i> )			
		SE 5%	SE 10%	SE 15%	SE 20%
HLKP ( <i>PDF</i> )	G	178	44	20	11
HLKS ( <i>SDF</i> )	B	339	85	38	21
HRP ( <i>PPF</i> )	G	157	39	17	10
HRS ( <i>SPF</i> )	B	271	68	30	17
	G	210	53	23	13
	B	448	112	50	28
	G	167	42	19	10
	B	222	55	25	14

Dalam tataran praktik, pembuatan dan pengukuran plot-plot contoh sulit dilakukan oleh unit-unit manajemen karena memerlukan waktu lama dan biaya tinggi (Dorebayo, Suhendang, & Muhdin, 2015). Umumnya, tiap regu survei hanya mampu mengukur rata-rata 2 plot/hari (Rusolono, Tiryana, & Purwanto, 2015). Dari hasil penelitian Dorebayo, Suhendang, & Muhdin, (2015) terhadap 2 pemegang konsesi di Papua, hanya sekitar 4 plot dari kewajiban pembuatan 1,067 plot (0,37%) dan yang lainnya sebanyak 735 plot dari kewajiban 834 plot (88,12%), yang terealisasi dari luas efektif areal berhutan. Berbeda dengan penelitian ini, walaupun ukuran plot contoh optimal cenderung sedikit lebih besar (0,25–0,40

ha) dari ukuran plot contoh yang digunakan dalam Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB, seluas 0,25 ha), namun jumlah plot optimal yang harus dibuat dan diukur pada tipe ekosistem tertentu lebih sedikit, misalnya pada SE 5% hanya diperlukan 222–448 plot contoh (Tabel 5). Dengan demikian, efisiensi sumber daya (biaya, waktu, dan tenaga) dapat dicapai pada skala unit inventarisasi walaupun ukuran tiap plot contoh relatif besar. Oleh karena itu, jumlah plot contoh yang lebih sedikit (walaupun ukuran tiap plot contohnya lebih besar) akan memungkinkan penghematan biaya kegiatan inventarisasi hutan (Grussu et al., 2016).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Ukuran plot contoh optimal untuk menduga peubah tegakan (luas bidang dasar dan biomassa) pada HLKP, HLKS, dan HRS adalah 0,40 ha, sedangkan pada HRP adalah 0,25 ha. Jumlah plot contoh yang diperlukan untuk kegiatan inventarisasi sangat tergantung pada keragaman peubah tegakan pada tiap tipe ekosistem hutan dan tingkat kesalahan sampling (SE) yang dapat ditolerir. Untuk pendugaan luas bidang dasar dan biomassa tegakan di ketiga provinsi contoh (Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Papua Barat), jumlah plot optimal untuk HLKP, HLKS, HRP, dan HRS pada SE 5% berturut-turut sebanyak 339, 271, 448, dan 222 plot contoh atau pada SE 10% berturut-turut sebanyak 85, 68, 112, 55 plot contoh.

##### B. Saran

Dalam kegiatan inventarisasi hutan alam, ukuran dan jumlah plot contoh seharusnya disesuaikan dengan tipe ekosistem hutan dan keragaman kondisi tegakan yang akan diinventarisasi. Dengan demikian, sumber daya (biaya, waktu, dan tenaga) yang diperlukan untuk kegiatan inventarisasi akan lebih efisien.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan (IPSDH) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang telah mengizinkan penggunaan data Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) untuk penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada mitra bestari (reviewers) yang telah memberikan komentar dan masukan berharga bagi penyempurnaan isi artikel ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Avery, T.E., & Burkhardt, H.E. (2015). *Forest Measurements*. 5th edn: Waveland Press, Inc.
- Carrer, M., Castagneri, D., Popa, I., Pividori, M., & Lingua, E. (2017). Tree spatial patterns and stand attributes in temperate forest: the importance of plot size, sampling design, and null model. *Forest Ecology and Management*. 407, 125-134.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., & Perez, R. (2004). "Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates." *philosophical transactions of the royal society. Biological Sciences*. 359, 409–420.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, Q.J., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145, 87-99
- Condit, R. (2008). *Methods for estimating above-ground biomass of forest and replacement vegetation in the tropics*. Center for Tropical Forest Science, Smithsonian Tropical Research Institute.
- Dorebayo, F., Suhendang, E., & Muhdin. (2015). Periodic comprehensive forest inventory on production forest management in papua province. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 3, 119-127.
- Grussu. G., Testolin, R., Saulei, S., Farcomeni, A., Yosi, C.K., Sanctis, M.D., & Attore, F. (2016). Optimum plot and sample sizes for carbon and biodiversity estimation in the lowland tropical forest of papua new guinea. *Forestry* 89, 150–158.

- Laumonier, Y., Edin, A., Kannien, M., & Munadar, A.W. (2010). Landscapescale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forests of Sumatra: implications for carbon stock assessment. *Forest Ecol. Manag.* 259, 505–513.
- Motz, K., Sterba, H., & Pommerening, A. (2010). Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management* 260: 1985-1996.
- Omar, H., Ismail, M.H., & Abu Hassan, M.H. (2013). Optimal plot size for sampling biomass in natural and logged tropical forest. *CFPR Paper*.
- Picard, N., Magnussen, S., Ngok Banak, L., Namkossereana, S., & Yalibanda, Y. (2010). Permanent sample plots for natural tropical forests: a rationale with special emphasis on Central Africa. *Environ. Monit. Assess.* 164, 279–295.
- Rusolono, T., Tir yana, T., & Purwanto, J. (2015). Analisis Survey Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Hayati di Sumatera Selatan. Biodiversity and Climate Change (BIOCLIME) Project. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Palembang
- Skovsgaard, J.P., & Vanclay, J.K. (2008). Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81, 13–31.
- Wagner, F., Rutishauser, E., Blanc, L., & Herault, B. (2010). Effects of plot size and census interval on descriptors of forest structure and dynamics. *Biotropica* 42, 664–671.