*ISSN 2337-7771 (Cetak)*
*ISSN 2337-7992 (Daring)*

# KETERBUKAAN AREAL HUTAN AKIBAT PENEBANGAN INTENSITAS RENDAH DI SALAH SATU IUPHHK-HA DI PAPUA

*Treefall Gaps Due To Low Harvest Intensity In A Forest Concession In Papua*

**Ahmad Budiaman, dan A Sektiaji**
Depatemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

***ABSTRACT.*** *Harvesting of natural production forest with selective cutting system creates felling gaps and reduces canopy cover. Treefall gaps play important roles in forest ecology. The information of size and form of treefall gaps due to low harvest intensity (0,58 tree ha$^{-1}$) in tropical natural forest is poorly established. This study aims to calculate the size of treefall gaps and to correlate nature of felled tree (tree height, tree diameter, crown height, crown diameter) and slope with size of treefall gaps. The study was carried out in a cutting block of a forest concession in Papua province. The plot used is a circular plot of 1.7 ha. The 15 sample plots were placed in the cutting block randomly. The size of treefall gaps is calculated by measuring the length and wide of area openness after tree felling. The average area of forest gap before tree felling, canopy gaps and expanded gaps respectively was 0,04%, 1,52% (258,7 m$^2$), and 2,66% (451,7 m$^2$). Tree height of felled tree has significant relationship to the size of treefall gaps.*

***Keywords:*** *canopy gaps, harvest intensity, selective cutting, treefall gaps*

**ABSTRAK.** Penebangan hutan alam produksi dengan sistem tebang pilih menciptakan ruang terbuka (gaps) dan mengurangi tutupan tajuk. Keterbukaan tajuk hutan akibat penebangan memiliki peran penting dalam ekosistem hutan. Hingga saat ini masih sedikit informasi yang diketahui tentang ukuran dan bentuk keterbukaan tajuk akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah di hutan tropis yang dipublikasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung luas areal hutan yang terbuka akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah (0,58 pohon ha$^{-1}$), dan menganalisis faktor pohon yang ditebang (tinggi pohon, diameter pohon, tinggi tajuk dan diameter tajuk) dan kemiringan lapangan, yang mempengaruhi luas keterbukaan area hutan akibat penebangan. Penelitian ini dilakukan di salah satu petak tebangan pada salah satu pengusahaan hutan alam produksi di propinsi Papua. Plot contoh yang digunakan adalah plot lingkaran dengan luas 1,7 ha. Jumlah plot contoh sebanyak 15 plot yang tersebar secara acak di petak tebangan. Luas keterbukaan areal hutan dihitung dengan cara mengukur panjang dan lebar areal terbuka setelah penebangan pohon. Rata-rata luas keterbukaan tajuk tegakan hutan alam produksi yang belum ditebang sebesar 0,04%. Rata-rata luas keterbukaan tajuk dan areal hutan yang terbuka akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah berturut-turut adalah 1,52% (258,7 m$^2$) dan 2,66% (451,7 m$^2$). Tinggi pohon yang ditebang berpengaruh nyata terhadap luas areal hutan yang terbuka akibat penebangan.

**Kata kunci:** intensitas penebangan, tebang pilih, keterbukaan areal, keterbukaan tajuk

**Penulis untuk Korespondens**i : budiaman@apps.ipb.ac.id

## PENDAHULUAN

Penebangan pohon merupakan tahapan awal dalam kegiatan pemanenan hutan yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap tegakan tinggal, hidupan liar, sumberdaya tanah, sumberdaya air dan jasa lingkungan. Penebangan pohon menciptakan ruang terbuka (gaps) dan menurunkan tutupan tajuk hutan (Prereira Jr et al., 2002). Kondisi ini dapat merubah komposisi dan struktur tegakan hutan (Parrotta et al., 2002; Dankova and Saniga, 2013; Ruslandi et al., 2012), mempengaruhi siklus hara dan keadaan hutan tidak seumur (Schliemann dan Bockheim, 2011), mempengaruhi komposisi spesies flora dan fauna hutan (Thorn et al., 2016; Koivula and Niemela, 2003), dan sifat-sifat tanah hutan (Bischetti et al., 2016; Hu et al., 2016; Yang et al., 2017).

Keterbukaan areal hutan akibat pohon rebah terdiri atas dua jenis, yaitu keterbukaan tajuk (canopy gaps) dan keterbukaan areal yang diperluas (expanded gaps). Keterbukaan tajuk merupakan keterbukaan areal yang disebabkan oleh tajuk pohon yang ditebang, sedangkan keterbukaan yang diperluas merupakan keterbukaan areal yang disebabkan oleh tajuk-tajuk pohon yang tidak ditebang yang tertimpa oleh pohon yang ditebang (Schliemann dan Bockheim, 2011). Sistem silvikultur yang digunakan pada pengelolaan hutan alam produksi di Indonesia adalah sistem Tebang Pilih Tanam Indonesia. Meskipun penebangan dilakukan dengan tebang pilih, namun dalam praktiknya, intensitas penebangan yang digunakan termasuk dalam kategori tinggi, yaitu lebih dari 10 pohon $ha^{-1}$ (Sist et al., 1998; Bertault dan Sist, 1997; Budiaman dan Pradata, 2013). Kondisi ini akan meningkatkan luas areal hutan yang terbuka secara masif, sehingga kualitas hutan alam produksi akan menurun secara cepat dan dapat menurunkan biodiversitas flora dan fauna hutan alam Indonesia.

Tutupan tajuk hutan memiliki peran penting dalam mempertahankan dan menciptakan ekosistem hutan (Whitmore, 1989), namun informasi tentang luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pada pengusahaan hutan alam tropis, terutama di Indonesia, masih jarang dipublikasikan. Penelitian keterbukaan areal hutan akibat penebangan telah banyak dilakukan hutan temperate (Lertzman et al., 1996; Rouvinen et al., 2011; Bischetti et al., 2016; Olivier et al., 2017), sedangkan penelitian di hutan tropis masih sedikit (Asner et al 2004; Ruslandi et al., 2012). Sementara itu, penelitian luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon di Indonesia masih sedikit. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan diantaranya dititikberatkan pada pengaruh gap terhadap tumbuhan bawah (Purnomo et al., 2018) dan dampaknya terhadap tegakan tinggal (Ruslandi et al., 2016). Ukuran keterbukaan tajuk hutan mencerminkan besarnya gangguan dan tingkat heterogenitas lingkungan (Muscolo et al., 2014). Data baseline ukuran keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon di hutan tropis di Indonesia belum tersedia hingga saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggali data dan menghitung luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah (0,58 pohon $ha^{-1}$) dan menganalisis variabel-variabel yang mempengaruhi luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di salah satu petak tebang suatu perusahaan IUPHHK-HA di Kabupaten Teluk Wondama, Papua Barat pada tahun 2016. Data yang dikumpulkan meliputi kemiringan plot contoh, diameter pohon, jenis pohon, tinggi pohon (tinggi total, tinggi bebas cabang), diameter tajuk, luas tutupan tajuk, dan luas areal yang terbuka. Jumlah plot contoh dalam penelitian ini sebanyak 15 plot, yang diletakan secara random pada petak tebangan. Rata-rata luas plot contoh sebesar 1,7 ha. Penelitian ini menggunakan intensitas penebangan rendah, yaitu 1 pohon $plot^{-1}$ (0,58 pohon $ha^{-1}$).

Bentuk plot contoh yang digunakan pada penelitian ini adalah plot lingkaran yang berjari-jari dua kali tinggi total pohon pusat atau dikenal dengan *variable radius circular plot*. Pohon pusat plot contoh selanjutnya ditebang secara terarah oleh regu tebang perusahaan. Pengukuran luas tutupan tajuk sebelum

penebangan dilakukan pada dua titik di delapan arah mata angin menggunakan densiometer. Pengukuran keterbukaan tajuk akibat penebangan dilakukan dengan cara mengukur luas proyeksi tajuk pohon yang ditebang. Pengukuran keterbukaan areal akibat penebangan dilakukan dengan cara mengukur jarak dari proyeksi tajuk terluar di sekitar pangkal pohon yang ditebang sampai ke daerah terluar yang terkena dampak penebangan. Pengukuran panjang dampak penebangan dilakukan secara per seksi dengan selang 1 meter dimulai dari arah pangkal menuju ujung pohon rebah. Pada setiap titik pengukuran panjang dampak akibat penebangan pohon, selanjutnya dilakukan pengukuran lebar areal terbuka di sebelah kanan dan kiri batang pohon yang rebah.

Analisis regresi linier digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel keadaan pohon yang ditebang (tinggi dan diameter pohon, diameter dan tinggi tajuk) dan lingkungan (kemiringan lapangan petak contoh) dengan luas areal hutan terbuka akibat penebangan dengan intensitas. Persamaan umum regresi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}$$

Keterangan:

$Y_i$ = variabel tidak bebas untuk pengamatan ke-i, i = 1,2,...,n.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots \beta_{p-1}$ = koefisien regresi

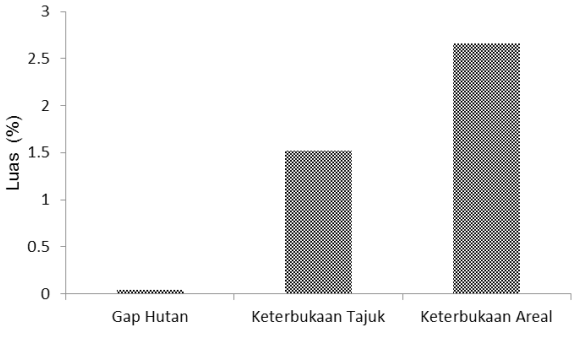
$X_{i1}, X_{i2}, \ldots X_{i,p-1}$ = variabel bebas ke 1, 2 ... n

Uji F digunakan untuk mengetahui hubungan variabel bebas terhadap luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon pada taraf nyata 5%. Uji t digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon pada taraf nyata 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Rata-rata luas tutupan tajuk hutan sebelum penebangan pohon sebesar 99,96% (tingkat keterbukaan tajuk sebesar 0,04%). Setelah penebangan pohon dengan intensitas rendah, rata-rata luas keterbukaan tajuk sebesar 1,52% (38 kali luas gap sebelum penebangan). Luas keterbukaan tajuk akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah bervariasi dari 63,6-580,8 $m^2$, dengan rata-rata sebesar 258,7 $m^2$. Rata-rata panjang dampak akibat penebangan pohon intensitas rendah sebesar 1,4 kali tinggi rata-rata pohon yang ditebang. Bentuk areal yang terbuka akibat penebangan pohon adalah tidak teratur. Keterbukaan areal akibat penebangan pohon (expanded gaps) merupakan luas areal yang terbuka karena penebangan pohon yang mengakibatkan rebahnya pohon lain dan juga vegetasi yang ada di sekitarnya. Penebangan pohon dengan intensitas rendah menciptakan areal terbuka sebesar 2,66% (67 kali luas gap sebelum penebangan). Luas keterbukaan areal akibat penebangan dengan intensitas rendah bervariasi dari 252,4-752,4 $m^2$, dengan rata-rata sebesar 451,7 $m^2$. Perbandingan luas keterbukaan tajuk sebelum dan sesudah penebangan, serta keterbukaan areal akibat penebangan pohon dengan intensitas disajikan pada Gambar 1.




Gambar 1 Luas keterbukaan hutan sebelum penebangan, keterbukaan tajuk dan keterbukaan areal setelah penebangan pohon dengan intensitas rendah.

Sebagian besar kondisi lapangan plot contoh memiliki kemiringan lapangan yang landai (60%), sementara sisanya termasuk dalam kategori datar dan agak curam. Rata-rata kemiringan lapangan plot contoh sebesar 11,25%. Klasifikasi kemiringan lapangan plot contoh disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1 Klasifikasi kemiringan lapangan plot contoh penelitian (n=15)**

| Kelas | Kemiringan lapangan (%) | Kategori | Persentase (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0-8 | Datar | 26,67 |
| 2 | 8-15 | Landai | 60,00 |
| 3 | 15-25 | Agak curam | 13,33 |
| 4 | 25-45 | Curam | 0 |
| 5 | >45 | Sangat curam | 0 |
| Jumlah | | | 100 |

Rata-rata tinggi total pohon yang ditebang adalah 36,3 m. Rata-rata panjang areal terkena dampak akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah sebesar 47,1 m (1,4 kali tinggi pohon yang ditebang), dengan panjang dampak terpanjang 53 m dan terpendek 40 m. Lebar areal hutan yang terbuka akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah bervariasi dari 4,5-23,4 m, dengan rata-rata sebesar 12,7 m. Rata-rata diameter tajuk pohon yang ditebang sebesar 17,4 m. Rata-rata tinggi tajuk dari 15 pohon contoh yang ditebang adalah 12,07 m. Data tinggi pohon, diameter pohon, diameter tajuk dan tinggi tajuk pohon contoh disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2 Tinggi pohon, diameter pohon, diameter dan tinggi tajuk pohon contoh yang ditebang (n=15)**

| Variabel | Terkecil | Terbesar | Rataan ± SD |
|---|---|---|---|
| Tinggi total (m) | 27,4 | 47,7 | 36,53 ± 4,47 |
| Tinggi bebas cabang (m) | 19,5 | 29,1 | 24,47 ± 3,14 |
| Diameter pohon (cm) | 53,2 | 100,0 | 79,59 ± 16,73 |
| Tinggi tajuk (m) | 6,3 | 12,4 | 12,07 ± 4,11 |
| Diameter tajuk (m) | 9,2 | 23,9 | 17,42 ± 5,30 |

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda diperoleh bahwa persamaan hubungan antara kemiringan lapangan, diameter tajuk, tinggi pohon, diameter pohon, dan tinggi tajuk dengan luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon sebagai berikut :

$$Y = -310 + 3.02X_1 + 4.95X_2 + 12.9X_3 + 1.60X_4 + 3.85X_5$$

Keterangan :

Y = keterbukaan areal ($m^2$)

$b_0, b_1, b_2, b_3$ = koefisien regresi

$X_1$ = kemiringan lapangan (%)

$X_2$ = diameter tajuk (m)

$X_3$ = tinggi pohon (m)

$X_4$ = diameter pohon (m)

$X_5$ = tinggi tajuk (m)

Berdasarkan hasil uji F diperoleh bahwa nilai koefisien determinasi ($R^2$-adj) sebesar 84.4%. Nilai ini menunjukkan bahwa kemiringan lapangan, diameter tajuk, tinggi pohon, diameter pohon, dan tinggi tajuk dapat mempengaruhi besarnya luas keterbukaan areal. Hasil uji t menunjukkan bahwa variabel tinggi pohon yang ditebang berpengaruh nyata terhadap luas keterbukaan areal ($P<0.05$), sedangkan kemiringan lapangan, diameter pohon, diameter tajuk, kemiringan lapangan, dan tinggi tajuk tidak berpengaruh nyata terhadap luas keterbukaan areal akibat penebangan pohon ($P>0.05$). Hasil uji t disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3 Hasil uji t hubungan antara kemiringan lapangan, diameter dan tinggi pohon, diameter dan tinggi tajuk dengan luas keterbukaan areal akibat penebangan**

| Variabel | P-value |
|---|---|
| Kemiringan lapangan | $0.620^{ns}$ |
| Tinggi tajuk | $0.532^{ns}$ |
| Diameter tajuk | $0.268^{ns}$ |
| Tinggi pohon | 0.042** |
| Diameter pohon | $0.363^{ns}$ |

**: signifikan; ns: non signifikan

## Pembahasan

Penebangan pohon dengan intensitas rendah (0,58 pohon $ha^{-1}$) menyebabkan peningkatan keterbukaan tajuk (*canopy gaps*) secara drastis, yaitu dari 0,04% menjadi 1,52% (258,7 $m^2$). Hasil penelitian ini berada pada kisaran hasil penelitian Brokaw (1985), yang melaporkan bahwa luas keterbukaan tajuk di hutan tropis basah berkisar dari 20-705 $m^2$. Luas keterbukaan tajuk akibat penebangan dengan intensitas rendah di hutan alam produksi di Papua tergolong besar. Brokaw, (1985) dan Yang et al., (2017) menyatakan bahwa

ukuran luas keterbukaan tajuk akibat penebangan tergolong besar, jika luasnya lebih dari 100m$^2$. Sementara itu, penebangan pohon dengan intensitas rendah di hutan alam produksi di Papua menciptakan areal hutan yang terbuka sebesar kurang lebih dua kali keterbukaan tajuk pohon yang ditebang. Peningkatan luas areal hutan yang terbuka akibat penebangan ini disebabkan oleh efek domino dari pohon yang ditebang. Keterbukaan tajuk yang diperluas (*expanded gaps*) meningkat karena adanya efek domino dari pohon yang ditebang. Pohon yang ditebang menimpa pohon lain di sekitarnya yang tidak ditebang, sehingga panjang wilayah yang terkena dampak penebangan semakin besar. Efek domino akan berhenti jika tidak ada lagi pohon lain yang tertimpa. Luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah di hutan alam produksi di Papua masih tergolong rendah (451,7 m$^2$). Schliemann dan Bockheim, (2011) melaporkan bahwa ukuran keterbukaan tajuk akibat pohon roboh sejogyanya tidak lebih dari 1000 m$^2$. Lebih lanjut Guitet et al., (2012) melaporkan bahwa luas areal hutan yang terbuka akibat penebangan hutan, termasuk untuk jalan hutan dan jalan sarad, sebesar 601 m$^2$ untuk setiap satu pohon yang ditebang. Keterbukaan tajuk yang lebih besar cenderung memiliki mikroklimat dan jangka waktu pemulihan hutan yang nyata berbeda dibandingkan keterbukaan tajuk yang berukuran lebih kecil. Whitmore, (1989) menyatakan bahwa perbedaan ukuran keterbukaan tajuk menghasilkan perbedaan komposisi dan struktur spesies tanaman pada siklus berikutnya.

Berdasarkan hasil uji F diperoleh bahwa kemiringan lapangan, diameter tajuk, tinggi pohon, diameter pohon, dan tinggi tajuk pohon yang ditebang memiliki hubungan dengan luas keterbukaan areal. Berdasarkan hasil uji t terbukti bahwa hanya variabel tinggi pohon yang ditebang yang berpengaruh nyata terhadap keterbukaan areal ($P<0.05$), sedangkan kemiringan lapangan, diameter tajuk, diameter pohon, kemiringan lapangan, dan tinggi tajuk tidak berpengaruh nyata terhadap keterbukaan areal ($P>0.05$). Hal ini dapat diterangkan bahwa tinggi pohon yang ditebang akan mempengaruhi panjang areal yang terkena dampak penebangan pohon. Semakin tinggi total pohon yang ditebang, maka panjang dampak akibat penebangan pohon akan semakin besar pula. Semakin besar panjang dampak penebangan pohon, maka luas areal yang terbuka semakin besar pula. Panjang areal terkena dampak penebangan di Papua sebesar 1,4 kali pohon yang ditebang. Penelitian ini memperoleh hasil yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan hasil penelitian Budiaman dan Pradata, (2013), yang melaporkan bahwa rata-rata panjang areal yang terkena dampak penebangan dengan intensitas rendah di wilayah lain di Papua sebesar 1,5 kali pohon yang ditebang.

## SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah mengumpulkan informasi penting tentang luas keterbukaan areal hutan akibat penebangan pohon dengan intensitas rendah. Penebangan pohon dengan intensitas rendah menciptakan keterbukaan tajuk seluas 38 kali luas gap hutan sebelum penebangan dan keterbukaan areal hutan seluas 67 kali luas gap hutan sebelum penebangan. Tinggi total pohon yang ditebang berpengaruh nyata terhadap luas keterbukaan areal, sedangkan kemiringan lapangan, diameter pohon, diameter tajuk dan tinggi tajuk tidak berpengaruh nyata terhadap luas keterbukaan areal hutan.

## DAFTAR PUSTAKA

Asner, GP., Keller, M., Silva, JNM. 2004. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in eastern Amazon. Global Change Biology 10:765-783.

Bertault, JG., Sist, P. 1997. An experimental comparison of different harvesting intensities with reduced-impact and conventional logging in East Kalimantan Indonesia. Forest Ecology and Management 94: 209-218.

Bischetti, GB, Bassanelli, C., Chiaradia, EA., Minotta, G., Vergani, C. 2016. The effects of gaps opening on soil reinforcement in two conifers stand in northern Italy. Forest

Ecology and Management 359:286-299.

Brokaw, NVL. 1985. Gap-Phase regeneration in a tropical forest. Ecology 66:682-687.

Budiaman, A., Pradata, AA. 2013 Low impact felling distance and allowable number of felled trees in Indonesian Selective Cutting and Planting. Jurnal Manajemen Hutan Tropika 19:194-200.

Dankova, L., Saniga, M. 2013. Canopy gap and tree regeneration pattern in a multi-species unmanaged natural forest Sitno. Beskydy 6:17-26.

Guitet, S., Pithon, S., Brunaux, O., Jubelin, G., Gond, V. 2012. Impacts of logging on the canopy and the consequences for forest management in French Guiana. Forest Ecology and Management 277:124-131.

Hu, B., Yang, B., Pang, X., Bao, W., Tiang, G. 2016. Responses of soil phosphorus fractions to gap size in a forested spruce forest. Geoderma 279:61-69.

Koivula, M., Niemela, J. 2003. Gap felling as a forest harvesting method in boreal forest: response of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). Ecography 26: 179-187.

Lertz, KP., Sutherland, GD., Inselberg, A., Saunders, SC. 1996. Canopy gaps and landscape mosaic in a coastal temperate rain forest. Ecology 77:1254-1270.

Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M., Mercurio, R. 2014. A review of the roles of forest canopy gaps. Journal of Forestry Research 25:725-736.

Olivier, M-D., Robert, S., Fournier, RA. 2017. A methods to quantify canopy changes using multi-temporal terrestrial lidar data: tree response to surrounding gaps. Agricultural and Forest Meteorology 237-238:184-195.

Parrotta, JA., Francis, JA., Knowles, OH. 2002. Harvesting intensity affects composition and structure in an upland Amazonian forest. Forest Ecology and Management 169:243-255.

Prereira Jr, R., Zweede, J., Asner, GP., Keller, M. 2002. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. Forest Ecology and Management 168: 77-89.

Purnomo, DW., Usmadi, D., Hadiah, JT. 2018. Dampak keterbukaan tajuk terhadap kelimpahan tumbuhan bawah pada tegakan pinus Oocarpa Schiede dan Agathis alba (Lam) Foxw. Jurnal Ilmu Kehutanan 12:61-73.

Rouvinen, S., Kouki, J. 2011. Tree regeneration in artificial canopy gaps established for restoring natural structural variability in a scot pine stand. Silva Fennica 45:1079-1091.

Ruslandi., Halperin, J., Puts, FE. 2012. Effect of felling gap proximity on residual tree mortality and growth in a dipterocarp forest in East Kalimantan Indonesia. Journal of Tropical Forest Science 24:110-124.

Schliemann, SA., Bockheim, JG. 2011. Methods for Studying Treefall Gaps. Forest Ecology and Management 26:1143-1151.

Sist, P., Nolan, T., Bertault, J-G. 1998. Harvesting Intensity Versus Sustainability In Indonesia. Forest Ecology and Management 108:251-260.

Thorn S, Bussler H, Fritze M-A, Goeder P, Muller J, Weiss I, Seibold D. 2016. Canopy closure determines arthropod assemblages in microhabitat created by windstorms and salvage logging. Forest Ecology and Management 381:188-195.

Whitmore, TC. 1989. Canopy gaps and the two major group of forest trees. Ecology 70: 536-538.

Yang, Y., Geng, G., Zhou, H., Zhao, G., Wang, L. 2017. Effects of gaps in the forest canopy on soil microbial communities and enzyme activity in a Chinese pine forest. Pedobiologia – Journal of Soil Ecology 61:51-60.