

## POSISI GAHARU DALAM STRUKTUR KOMUNITAS HUTAN DAN PENURUNAN POTENSINYA DI PAPUA BARAT

*(Agarwood in the forest community and its potential depletion in West Papua)*

Destri\*, Zaenal Mutaqien, and Andes Hamuraby Rozak

Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Kebun Raya Cibodas, Jl. Kebun Raya Cibodas, Cipanas, Cianjur 43253 Jawa Barat, Indonesia

### Article Info

#### Article History:

Received 2 September 2019; received in revised form 17 February 2020; accepted 18 February 2020.  
Available online since 31 March 2020

#### Kata Kunci:

Gaharu, *Aquilaria filaria*, CITES, karst, Papua

### ABSTRAK

Gaharu merupakan komoditas perdagangan berupa resin padat dari dua marga *Aquilaria* dan *Gyrinops* yang termasuk dalam suku Thymeleaceae. Makin menurunnya populasi gaharu di hutan alam menjadikan komoditas tersebut diatur perdagangan internasionalnya dalam Apendiks II *Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES). Indonesia sebagai salah satu habitat kedua marga penghasil gaharu dan juga negara utama pengeksport gaharu berkepentingan dalam menjamin kelestarian gaharu di alam yang dimanfaatkan secara ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan keterbaruan informasi habitat pohon penghasil gaharu dan memperkirakan potensi populasi pohon tersebut di hutan alam. Penelitian yang dilakukan di hutan karst Taman Wisata Alam Beriat, Papua Barat menunjukkan bahwa jenis *Aquilaria filaria* tumbuh baik di hutan tersebut. Lima individu dewasa berhasil ditemukan pada hutan karst yang 72%-nya didominasi oleh pohon berdiameter kecil (DBH <20 cm). Dari sisi komunitas hutan, basal area *Aquilaria* hanya mencapai 1,9% dari total basal area dan memiliki nilai penting yang rendah yaitu 0.016 pada dimensi pertama *Principal Component Analysis* (PCA). Potensi pohon penghasil gaharu secara keseluruhan diperkirakan hanya berada pada kisaran 2,50 pohon dan 2,89 anakan untuk tiap hektarnya. Potensi tersebut menurun jika dibandingkan perkiraan potensi yang dilakukan 20 tahun lalu yang diperkirakan berada pada kisaran 4,33 pohon per hektare. Salah satu upaya perlindungan tumbuhan penghasil gaharu melalui pelaksanaan penentuan kuota perdagangan perlu dilakukan secara optimal untuk meminimalisasi makin turunnya populasi gaharu di hutan alam.

### Keywords:

Agarwood, *Aquilaria filaria*, CITES, karst, Papua

### How to cite this article:

Destri, D., Mutaqien, Z., & Rozak, A. (2020). Agarwood in the forest community and its potential depletion in West Papua. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 9(1), 1-12. doi: <http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2020.vol9iss1pp1-12>

### ABSTRACT

Agarwood or eaglewood is a trading name of a solid resin from the two genera *Aquilaria* and *Gyrinops* which belongs to the Thymeleaceae. The declining population of agarwood in natural forests placed the commodity regulated in Appendix II of the *Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES). Indonesia as one of the habitats of those two genera and also the main exporting country of agarwood has an interest in ensuring the sustainability of agarwood. This study aims to provide an updated habitat of agarwood-producing trees and to estimate the potential density of the agarwood species. Research conducted in the forest of Natural Tourism Park of Beriat, West Papua, showed that *Aquilaria filaria* grows well in the forest. Five adult individuals were found in karst forest where 72% were dominated by small trees (DBH <20 cm). In terms of forest communities, *Aquilaria*'s basal area reaches 1.9% of the total basal area and has a low importance value of 0.016 in the first dimension of *Principal Component Analysis* (PCA). The overall potential for agarwood-producing trees was estimated to be only around 2.50 and 2.89 for tree and seedling per hectare, respectively. The potential density is decreased when compared to the estimated density carried out 20 years ago which was estimated at around 4.33 trees per hectare. Efforts to protect agarwood, one of which is by determining trade quotas, need to be carried out optimally in order to minimize the decline in agarwood populations in their natural forests.

\* Corresponding author. Tel/Fax: +62 263512233  
E-mail address: [destri@lipi.go.id](mailto:destri@lipi.go.id) (Destri)



## I. PENDAHULUAN

Gaharu merupakan komoditas perdagangan bernilai tinggi yang berasal dari pohon marga *Aquilaria*, *Gyrinops*, dan *Gonystilus* yang termasuk dalam famili Thymeleaceae yang telah terinfeksi oleh jamur terutama dari marga *Fusarium*, *Baryodiplodia*, dan *Pythium* (Agustini *et al.*, 2006; Budi *et al.*, 2010). Gaharu merupakan resin padat berwarna kehitaman dan memiliki aroma yang khas (Azah *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2017). Komoditas ini merupakan salah satu sumber devisa yang cukup besar bagi Indonesia.

Laporan *Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES) menunjukkan bahwa Indonesia adalah negara utama pengekspor gaharu dunia (CITES, 2017). Berdasarkan laporan tersebut, kuantitas ekspor gaharu Indonesia dalam segala bentuk (serpihan, bubuk, minyak, dll.) mengalami penurunan dari 1000 ton pada 2010 menjadi 736 ton pada 2017. Meskipun terjadi penurunan, dalam rentang 2010-2017, Indonesia melaporkan terjadi kenaikan ekspor gaharu sebesar 73 ton dalam bentuk serpihan (*chips*) ke negara Arab Saudi yang merupakan tujuan ekspor utama gaharu Indonesia.

Tingginya permintaan pasar global dan dikombinasikan dengan konversi hutan hujan tropis menjadi ancaman keberadaan habitat alami dan populasi jenis-jenis tumbuhan penghasil gaharu di alam (Roemantyo & Partomihardjo, 2010; Semiadi *et al.*, 2010; Turjaman & Hidayat, 2017). Penurunan kuantitas ekspor dari 2010-2017 kemungkinan disebabkan oleh makin menurunnya populasi tumbuhan penghasil gaharu di hutan alam sebagai akibat dari eksploitasi berlebih terhadap gaharu. Untuk melindungi keberadaannya di alam, perdagangan gaharu secara internasional kemudian diatur dalam CITES yakni semua jenis tumbuhan penghasil gaharu dimasukkan ke dalam Appendiks II (CITES, 2017). Penurunan populasi jenis-jenis tumbuhan penghasil gaharu di alam ini menyebabkan *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) menetapkan 5 jenis tumbuhan penghasil gaharu dari marga *Aquilaria* ke dalam daftar merah jenis tumbuhan yang terancam punah. Kelima jenis beserta kategori dan kriteria status daftar merah tersebut adalah *A. crassna* (kritis, CR A2cd), *A. filaria* (rentan, VU A2cd), *A. malaccensis* (kritis, CR A2cd), *A. rugosa* (rentan, VU A2acd), dan *A. sinensis* (rentan, VU A2a) (IUCN, 2018).

Tiga marga tumbuhan penghasil gaharu yaitu *Aquilaria*, *Gonystilus*, dan *Gyrinops* tersebar secara alami di kawasan tropis Asia (Hou, 1960). Marga *Aquilaria* terdiri atas 15 jenis, tersebar mulai dari India, Pakistan, Myanmar, Thailand, Kamboja, Cina Selatan, Malaysia, Filipina, dan Indonesia. Enam jenis di antaranya ditemukan di Indonesia yaitu *A. malaccensis*, *A. microcarpa*, *A. hirta*, *A. beccariana*, *A.*

*cumingiana*, dan *A. filaria*. Jenis-jenis tersebut terdapat hampir di seluruh kepulauan Indonesia, kecuali Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara. Marga *Gonystilus* memiliki 20 jenis, tersebar di Asia Tenggara mulai dari Semenanjung Malaysia, Serawak, Sabah, Indonesia, Papua Nugini, Filipina, dan Kepulauan Solomon serta Nikobar. Sembilan jenis tersebar di Sumatera, Kalimantan, Bali, Maluku, dan Papua. Sementara itu, marga *Gyrinops* memiliki tujuh jenis, enam di antaranya tersebar di Indonesia bagian Timur (Siburian, 2009). Namun demikian, dari ketiga marga tersebut, berdasarkan kualitas gaharu dan permintaan pasar, *Aquilaria* dan *Gyrinops* merupakan dua marga utama penghasil gaharu (Azah *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2017; Mohamed, 2016). Pohon dari kedua jenis tersebut relatif sama secara morfologi sehingga sulit untuk dibedakan. Namun Hou (1960) menyatakan bahwa pembeda pada dua marga tersebut terletak pada bunganya yaitu pada *Aquilaria* jumlah benang sarinya dua kali dari kelopakannya, sementara pada *Gyrinops* jumlah keduanya sama.

Salah satu kawasan utama penghasil gaharu selain Kalimantan dan Sumatera di Indonesia adalah kawasan Papua (Roemantyo & Partomihardjo, 2010; Semiadi *et al.*, 2010). Tercatat sedikitnya delapan jenis tumbuhan penghasil gaharu dari marga *Gyrinops* yang ditemukan tersebar di kawasan ini, yakni *G. ladermannii* Domke, *G. caudata* (Gilg.) Domke, *G. podocarpus* (Gilg.) Domke, *G. salicifolia* Ridl., dan *G. verstegii* (Gilg.) Domke (Hou, 1960; Mulyaningsih & Yamada, 2007). Menurut Komar *et al.* (2014), penyebaran geografis gaharu di Papua, terutama *Gyrinops* spp. terpusat di Sorong dan Nabire. Lebih lanjut, marga lain yang dapat ditemukan di kawasan Papua yaitu *Aquilaria*. Data Hou (1960) menyebutkan bahwa satu jenis yaitu *Aquilaria filaria* (Oken) Merr. dapat ditemukan di wilayah Sorong. Berdasarkan data koleksi Herbarium Bogoriense, jenis *Aquilaria microcarpa* Baill. juga dapat dijumpai di sekitar kepala burung Papua Barat (Roemantyo & Partomihardjo, 2010).

Informasi keberadaan dan potensi jenis-jenis tumbuhan penghasil gaharu di Papua terutama wilayah Papua Barat baik itu *Aquilaria* maupun *Gyrinops* masih terbatas. Soehartono (1997) dalam Donovan dan Puri (2004) memperkirakan potensi tumbuhan penghasil gaharu di Papua berada pada kisaran 4,33 pohon/ha. Dengan kondisi tersebut, kepadatan populasi gaharu alam di Papua termasuk tinggi (Soehartono & Newton, 2000). Dengan perubahan alam yang terjadi dalam 20 tahun terakhir, informasi mengenai dampak konversi habitat gaharu yang terbatas serta perdagangan gaharu yang volumenya terus menurun dalam 5 tahun terakhir (CITES, 2017; Komar *et al.*, 2014), keterbaruan data mengenai struktur dan komposisi habitat gaharu dan

perkiraan potensi tumbuhan tersebut di alam perlu dilakukan. Oleh karena itu, dalam tulisan ini dibahas mengenai gambaran umum habitat gaharu serta perkiraan potensi gaharu di Papua terutama Papua Barat. Informasi tersebut sangat penting sebagai bahan rekomendasi dalam menentukan kuota perdagangan gaharu yang diatur dalam CITES.

## II. METODOLOGI

### A. Lokasi Penelitian

Taman Wisata Alam (TWA) Beriat secara administrasi terletak di Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan, Papua Barat (Gambar 1). Keseluruhan wilayah TWA ini dikelola oleh Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam (BB KSDA) Papua Barat berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. SK.850/Kpts-II/1992 tanggal 31 Agustus 1992 (BBKSDA Papua Barat, 2016). TWA ini terletak pada  $131^{\circ}58'01''$ -  $132^{\circ}03'02''$  BT dan  $01^{\circ}10'26''$ -  $01^{\circ}26'33''$  LS. Curah hujan rata-rata pada kawasan ini mencapai 5.667 mm/tahun dengan rata-rata jumlah hari hujan mencapai 259 hari/tahun. TWA dengan luas 9.194 hektare ini memiliki puncak tertinggi di Bolmanit dengan ketinggian mencapai 350 m. Topografi medannya berbukit dan bergelombang, jenis batuan sedimen alluvium dan karst dengan jenis tanah Podsolik mendominasi kawasan ini.

### B. Metode Penelitian

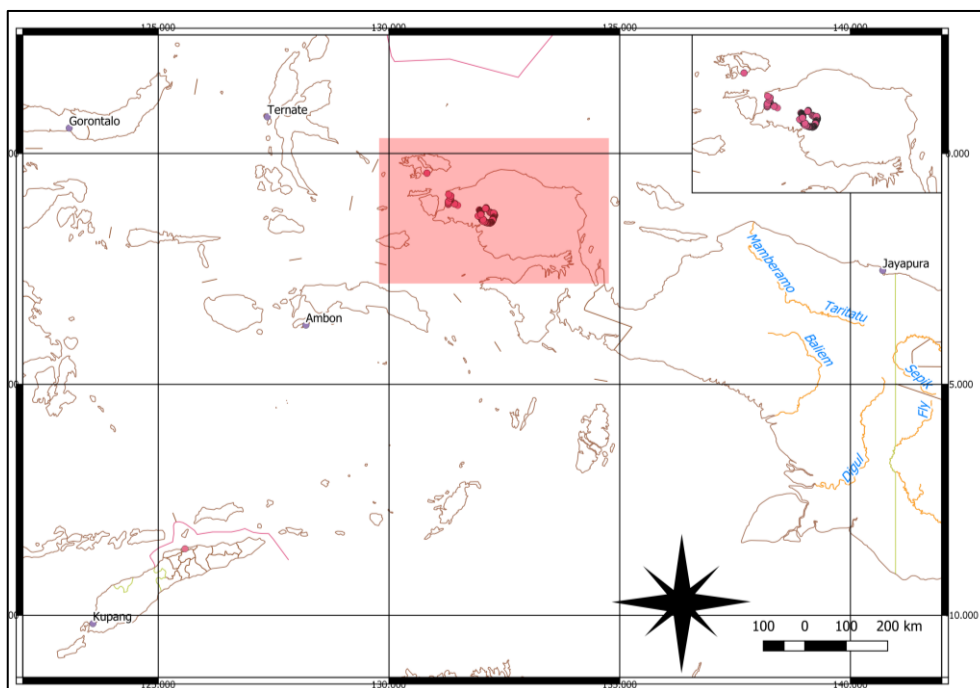
Tujuh plot penelitian berukuran 20 m x 20 m dibuat di kawasan TWA Beriat. Plot pertama dibuat

secara *purposive* yaitu ditentukan ketika ditemukan pohon penghasil gaharu. Plot berikutnya dipilih secara acak. Lokasi antara satu plot dengan plot lainnya ditentukan yaitu minimal 100 m. Plot yang dibuat kemudian dibagi menjadi 4 subplot berukuran 10 m x 10 m sehingga jumlah total subplot yang dibuat sebanyak 28 unit sampel (US). Setiap individu pohon dengan *Diameter at Breast Height* (DBH) >10 cm yang ditemukan di dalam US diidentifikasi oleh parobotanis. Pohon-pohon tersebut kemudian dicatat meliputi nama jenis, nilai DBH, dan posisi koordinat masing-masing pohon yang berada di dalam US. Khusus untuk pohon penghasil gaharu, setiap anakan (DBH <10 cm) yang ditemui pada tiap US dicatat keberadaannya. Proses identifikasi secara morfologi jenis gaharu merujuk pada Hou (1960). Hasil identifikasi kemudian diverifikasi oleh taksonom di Herbarium Bogoriense, Pusat Penelitian Biologi LIPI.

### C. Analisis Data

Analisis posisi pohon penghasil gaharu dalam komunitas pohon di TWA Beriat dilakukan dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) (Abdi & Williams, 2010). Dalam analisis tersebut, nilai penting ( $\cos^2$ ) dari gaharu diekstrak dari PCA. Makin tinggi nilai pentingnya (mendekati 1) berarti makin penting jenis tersebut dalam PCA. Sementara itu, makin rendah nilai pentingnya (mendekati 0) menandakan jenis tersebut tidak memiliki pengaruh yang nyata dalam PCA.

Analisis prediksi potensi gaharu tiap hektarenya, baik itu untuk kelas pohon maupun



**Gambar 1.** Lokasi penelitian di Taman Wisata Alam (TWA) Beriat, Sorong Selatan  
**Figure 1.** The study area in the Natural Tourism Park of Beriat, South Sorong

anakan, disimulasikan dengan kenaikan US dari 1 sampai dengan 1000 US dengan metode *bootstrap* 1000x ulangan. Dengan demikian, tiap titik dalam simulasi merepresentasikan 1000x ulangan. Sensitivitas data hasil *bootstrap* kemudian dianalisis dengan menggunakan indikator nilai koefisien variasi (CV). Nilai CV ini menunjukkan nilai variasi dari potensi gaharu yang dihitung pada setiap US.

Semua analisis yang dilakukan menggunakan bahasa pemrograman R (R Core Team, 2017). Penyajian visual hasil penelitian memanfaatkan *package* “ggplot2” (Wickham, 2009), sementara, PCA dilakukan dengan menggunakan *package* “FactoMineR” (Lê et al, 2008) dan “factoextra” (Kassambra & Mundt, 2017).

### III. HASIL

#### A. Jenis Pohon Penghasil Gaharu di TWA Beriat

Pohon penghasil gaharu yang ditemukan di TWA Beriat secara morfologi teridentifikasi sebagai jenis *Aquilaria filaria* (Gambar 2). Jenis yang ditemukan tersebut memiliki empat kelopak dan delapan benang sari (Gambar 2A). Untuk kelas pohon (DBH >10 cm), lima individu pohon

penghasil gaharu dengan DBH antara 12-25,8 cm ditemukan pada 4 subplot penelitian yaitu pada subplot 1A, 1C, 2C, dan 6D (Gambar 3).

#### B. Keberadaan Gaharu pada Komunitas Hutan di TWA Beriat

Struktur vegetasi di TWA Beriat didominasi oleh pohon-pohon dengan DBH <20 cm dan menurun seiring bertambahnya diameter pohon (Gambar 4). Pohon-pohon dengan DBH <20 cm tersebut merepresentasikan sekitar 72% dari keseluruhan individu yang ditemukan pada plot pengamatan. Dua pohon terbesar yang dijumpai yaitu dari jenis *Pometia pinnata* memiliki DBH 120 cm dan 60 cm yang menyebabkan jenis tersebut memiliki basal area tertinggi (22%, Gambar 5A) dibandingkan jenis lainnya.

Sebanyak 68 jenis pohon teridentifikasi di TWA Beriat (Gambar 5A). Jenis-jenis tersebut termasuk dalam 48 marga (Gambar 2B) dan 31 suku (Gambar 5C). Basal area relatif *Aquilaria filaria* menempati posisi 14 dari 68 jenis yang tercatat pada kawasan ini (Gambar 5A). Pohon penghasil gaharu tersebut hanya merepresentasikan 1,9% dari total basal area jenis yang ditemukan pada plot pengamatan. Untuk tingkat suku, Thymeleacea hanya



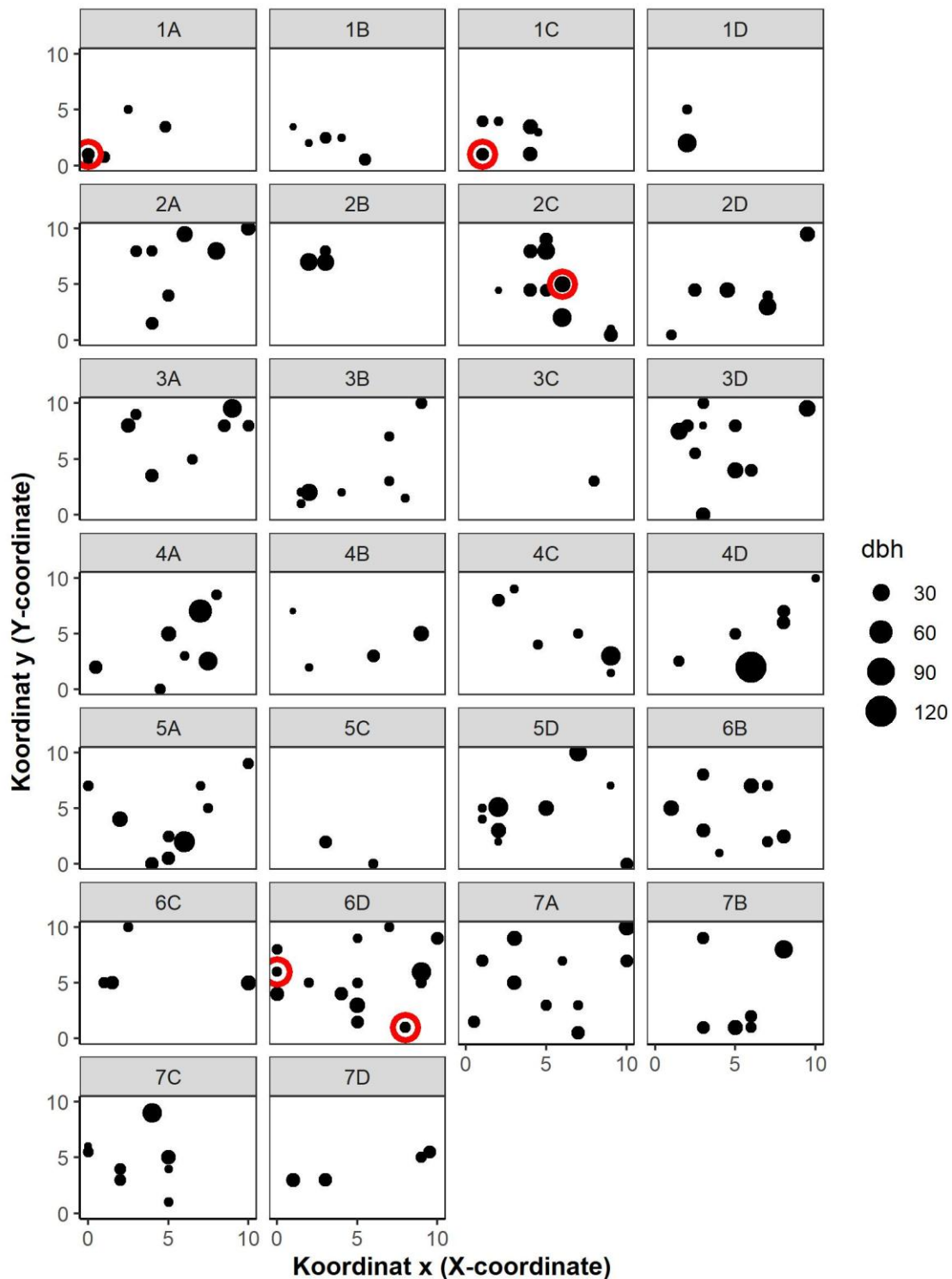
**Gambar 2.** Jenis pohon gaharu (teridentifikasi sebagai *Aquilaria filaria*) yang ditemukan di Taman Wisata Alam Beriat. Gambar (A), (B), dan (C) secara berurutan menunjukkan bunga *A. filaria* yang mempunyai stamen dua kali lipat jumlah kelopak, buah, dan bunga dan buah. Foto: Rifatul Adabiah dan Zaenal Mutaqien

**Figure 2.** Agarwood tree species (identified as *Aquilaria filaria*) which was found in the Natural Tourism Park of Beriat. Panel (A), (B), and (C) show the flower of *A. filaria* having stamens twice the number of calyx lobes, the fruit, and leaf and fruit, respectively. Photos by Rifatul Adabiah and Zaenal Mutaqien



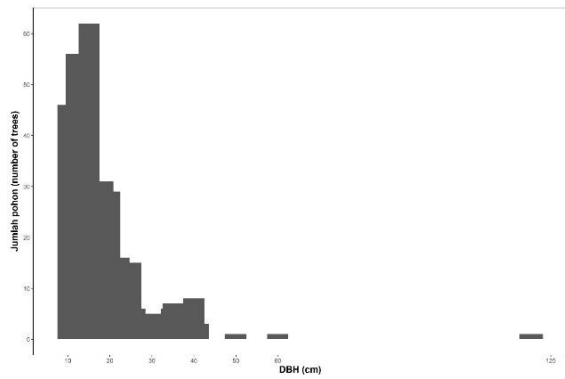
merepresentasikan 2,3% dari total basal area (Gambar 5C) yakni 0,4%-nya merupakan kontribusi dari jenis *Gonystylus bancanus* (Miq.) Kurz (Gambar 5B).

Dimensi pertama dan kedua PCA hanya menerangkan variabilitas jenis sebesar 25% dari total variabilitas jenis yang ditemui di TWA Beriat (Gambar 6). Keberadaan pohon penghasil gaharu



**Gambar 3.** Sebaran semua individu pohon (koordinat x-y) pada tiap subplot di TWA Beriat, Papua Barat. Ukuran titik pada gambar merepresentasikan ukuran DBH yang terekam untuk masing-masing pohon. Lingkaran merah menunjukkan individu pohon *Aquilaria filaria*

**Figure 3.** Tree distribution (x-y coordinates) in each subplot in the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua. The size of each dot represents the DBH of each tree. The red circles show the location of the tree species *Aquilaria filaria*



**Gambar 4.** Distribusi kelas diameter pohon (DBH >10 cm) di TWA Beriat, Papua Barat

**Figure 4.** Tree diameter class distribution (DBH >10 cm) in the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua

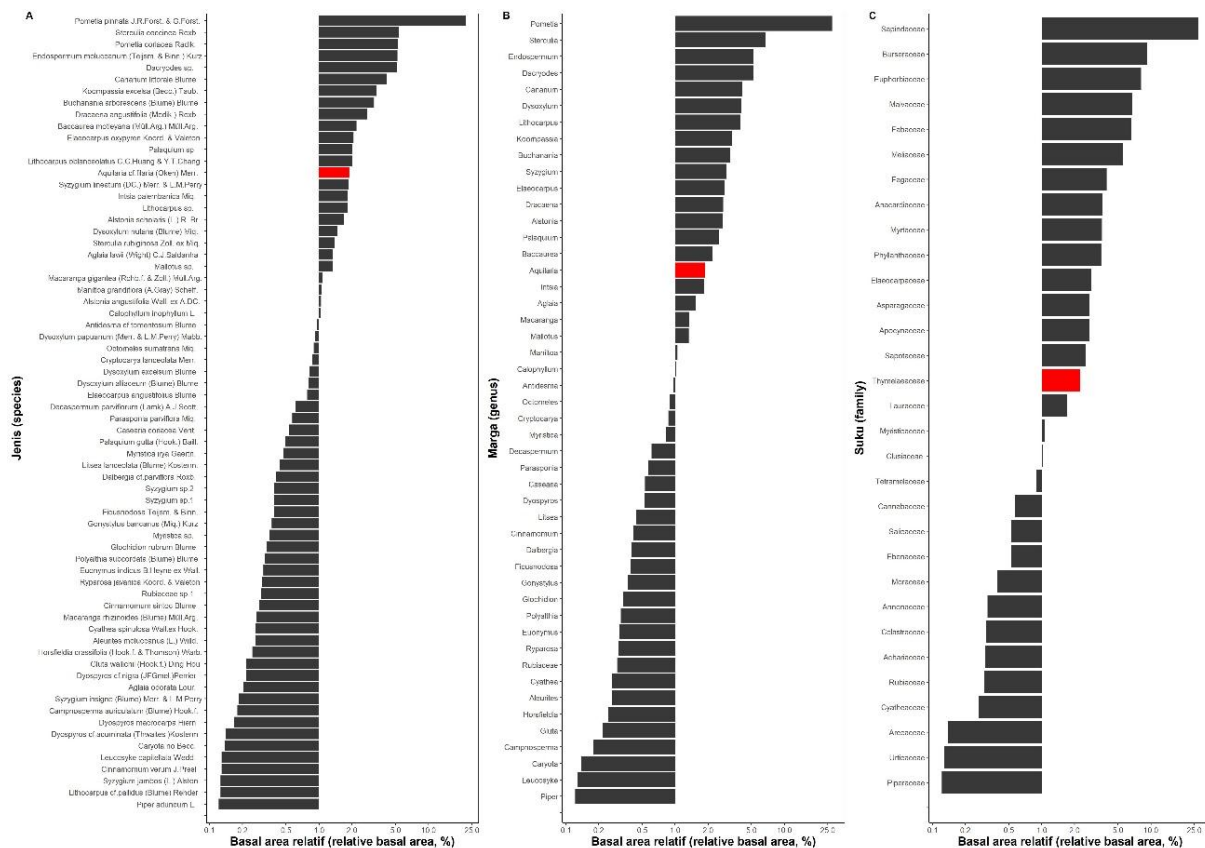
tampak memiliki nilai penting yang rendah. Nilai penting pohon penghasil gaharu pada dimensi pertama dan kedua hanya mencapai 0,016 dan 0,027. Nilai tersebut berada pada urutan 46 pada dimensi pertama dan 42 pada dimensi kedua dari 68 jenis yang teridentifikasi pada plot pengamatan. Nilai tertinggi pada dimensi pertama didapat oleh

jenis *Sterculia coccinea* yang memiliki nilai 0,728 dan diikuti oleh jenis *Dracaena angustifolia* yang memiliki nilai 0,465 (Tabel 1). Sementara nilai tertinggi pada dimensi kedua adalah jenis *Canarium littorale* yang memiliki nilai 0,852 diikuti oleh jenis *Pometia pinnata* yang memiliki nilai 0,325.

**C. Potensi Gaharu di TWA Beriat**

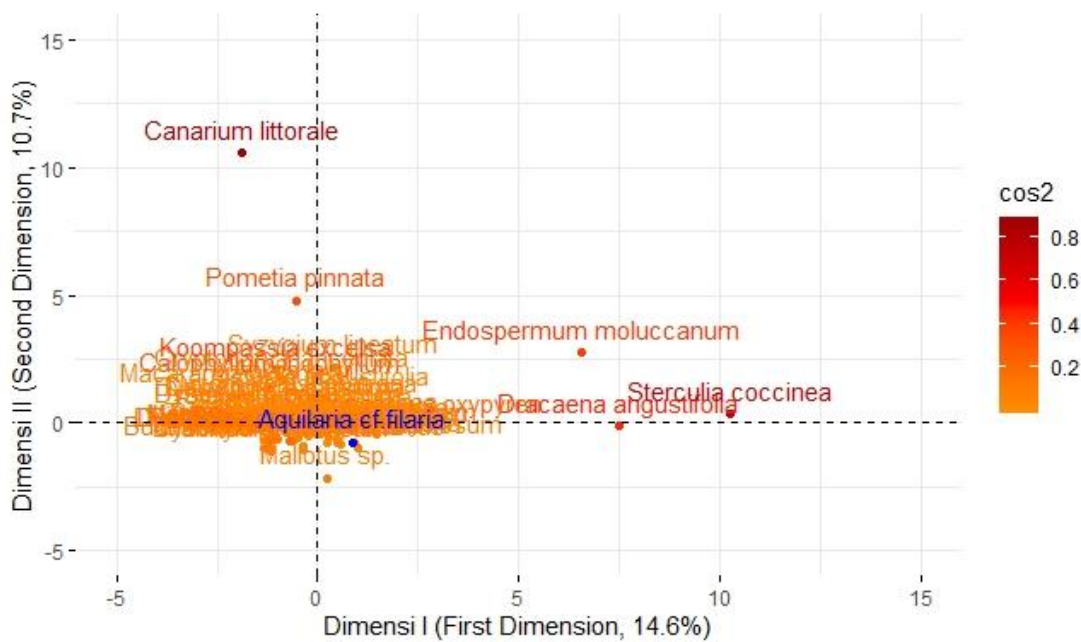
Potensi gaharu di kawasan TWA Beriat diperkirakan berada pada kisaran 2,50 pohon dan 2,89 anakan per hektare (Gambar 7). Pada US rendah, variabilitas potensi individu penghasil gaharu relatif tinggi yaitu berkisar antara 2,45-2,55 untuk pohon dan 2,43-2,93 untuk anakan per hektarenya. Variabilitas tersebut menurun seiring dengan kenaikan US yakni nilainya relatif stabil pada kisaran US di atas 250 unit. Dengan menggunakan data simulasi, potensi rata-rata pohon penghasil gaharu setara dengan 23.000 pohon dan 26.300 anakan di Kawasan TWA Beriat.

Tingginya variabilitas populasi pohon penghasil gaharu pada US rendah terlihat dari nilai koefisien variasi (CV) untuk kelas pohon dan anakan (Gambar 8). Pada jumlah US rendah (20 US), CV relatif tinggi yaitu mencapai 43% dan 59%



**Gambar 5.** Basal area relatif untuk jenis (A), marga (B) dan suku (C) di TWA Beriat, Papua Barat. Bar berwarna merah menunjukkan pohon penghasil gaharu

**Figure 5.** Relative basal area (%) of species (A), genus (B), and family (C) in the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua. Red bars show the agarwood producing tree



**Gambar 6.** Posisi pohon penghasil gaharu (font berwarna biru) berdasarkan *Principal Component Analysis* (PCA) di TWA Beriat, Papua Barat. Nilai *cos2* menunjukkan tingkat pentingnya suatu individu pohon berdasarkan PCA. Makin tinggi nilai *cos2* menunjukkan makin penting individu tersebut dalam PCA

**Figure 6.** Position of agarwood producing tree (blue font) based on *Principal Component Analysis* (PCA) at the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua. The value of *cos2* indicates the importance of an individual tree in the forest based on PCA. The higher of *cos2* value indicates the more important of the tree in the forest

untuk kelas pohon dan anakan. Sementara itu, ketika mensimulasikan 250 US (atau setara dengan 2,5 hektare), nilai CV relatif rendah yaitu pada angka 12% dan 17% untuk kelas pohon dan anakan. Nilai CV tersebut relatif stabil ketika US berjumlah di atas 250 US.

#### IV. PEMBAHASAN

##### A. Struktur Hutan dan Jenis Pohon Penghasil Gaharu

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan keterangan habitat pohon penghasil gaharu dan menghitung populasinya yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai informasi tambahan dalam penentuan kuota perdagangan gaharu di Indonesia. Jenis pohon penghasil gaharu yang ditemukan di TWA Beriat secara morfologi teridentifikasi sebagai jenis *Aquilaria filaria* (Gambar 2). Jenis pohon penghasil gaharu yang ditemukan ini merupakan jenis yang sama dengan yang ditemukan di Hutan Adat La Klen, Kabupaten Maybrat, Papua Barat (Destri et al., 2019). Kedua areal hutan ini, yaitu TWA Beriat dan Hutan Adat La Klen, termasuk ke dalam kawasan dataran tinggi Ayamaru. Dataran tinggi ini merupakan pegunungan kapur 'Kais' dengan bukit-bukit karst berbentuk kerucut yang terbentuknya dipengaruhi erosi tropis (Bartstra, 1998). Kemungkinan jenis ini tersebar luas di kawasan ini.

Hasil uji molekuler untuk contoh pohon penghasil gaharu dari Hutan Adat La Klen menunjukkan hasil yang berbeda. Berdasarkan uji molekuler yang dilakukan di Pusat Penelitian Biologi LIPI, jenis ini teridentifikasi sebagai *Gyrinops caudata*. Namun demikian, merujuk pada Hou (1960), secara morfologi jenis yang ditemukan cenderung lebih mendekati marga *Aquilaria* karena jumlah benang sarinya dua kali jumlah kelopak bunganya (Gambar 2A). Sementara itu, marga *Gyrinops* dicirikan memiliki jumlah benang sari dan kelopak yang sama. Secara umum, tumbuhan yang ditemukan ini memiliki deskripsi morfologi berupa daun *eliptic* dengan ukuran 2,3-3 x 6-9 cm dengan ujung daun *acuminatus*, *cauliflora* dan memiliki bunga tabung berukuran panjang sekitar 1,5 cm dengan jumlah kelopak sebanyak 4 dan benang sari berjumlah 8, bulat hampir membulat, dan beruang dua. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka jenis yang ditemukan dalam penelitian ini teridentifikasi sebagai *Aquilaria filaria*. Hou (1960) dalam tulisannya menjelaskan bahwa jenis tersebut memang terdapat di Kawasan Sorong dimana penduduk lokal mengenalnya sebagai *Kasjik*.

Hutan karst sebagai habitat pohon gaharu didominasi oleh jenis *Pometia pinnata* (Sapindaceae) dengan relatif basal area mencapai 22% (Gambar 5). Hutan karst tersebut didominasi

**Tabel 1.** Dua puluh jenis dengan nilai penting tertinggi ( $\cos^2$ ) dalam PCA pada dimensi 1 diikuti oleh dimensi 2, 3, 4, dan 5. Nilai penting untuk *Aquilaria filaria* berada pada posisi 46 untuk dimensi 1 dan ditampilkan pada baris terakhir

**Table 1.** The twenty species with the highest of importance value ( $\cos^2$ ) based on PCA on Dimension-1, 2, 3, 4, and 5. The  $\cos^2$  value of *Aquilaria filaria* is ranked 46 and showed in the last row of the table

No.	Jenis (Spesies)	Dimensi 1 (Dimension-1)	Dimensi 2 (Dimension-2)	Dimensi 3 (Dimension-3)	Dimensi 4 (Dimension-4)	Dimensi 5 (Dimension-5)
1	<i>Sterculia coccinea</i>	0.728	0.001	0.051	0.035	0.140
2	<i>Dracaena angustifolia</i>	0.465	0.001	0.330	0.107	0.001
3	<i>Endospermum moluccanum</i>	0.318	0.053	0.209	0.014	0.330
4	<i>Elaeocarpus oxypyren</i>	0.239	0.003	0.169	0.001	0.022
5	<i>Dysoxylum papuanum</i>	0.159	0.010	0.000	0.033	0.000
6	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.127	0.193	0.001	0.069	0.005
7	<i>Leucosyke capitellata</i>	0.118	0.039	0.067	0.141	0.061
8	<i>Macaranga rhizinoides</i>	0.118	0.039	0.067	0.141	0.061
9	<i>Dyospyros cf. acuminata</i>	0.118	0.042	0.042	0.034	0.019
10	<i>Dyospyros macrocarpa</i>	0.118	0.042	0.042	0.034	0.019
11	<i>Polyalthia subcordata</i>	0.118	0.042	0.042	0.034	0.019
12	<i>Palaquium gutta</i>	0.111	0.000	0.009	0.055	0.012
13	<i>Piper aduncum</i>	0.107	0.039	0.055	0.053	0.054
14	<i>Buchanania arborescens</i>	0.103	0.055	0.020	0.049	0.046
15	<i>Litsea lanceolata</i>	0.097	0.107	0.049	0.002	0.000
16	<i>Syzygium insigne</i>	0.097	0.107	0.049	0.002	0.000
17	<i>Syzygium sp.1</i>	0.097	0.107	0.049	0.002	0.000
18	<i>Koompassia excelsa</i>	0.087	0.310	0.015	0.039	0.008
19	<i>Intsia palembanica</i>	0.067	0.051	0.069	0.121	0.050
20	<i>Alstonia scholaris</i>	0.063	0.077	0.031	0.010	0.000
46	<b><i>Aquilaria cf. filaria</i></b>	<b>0.016</b>	<b>0.027</b>	<b>0.019</b>	<b>0.211</b>	<b>0.002</b>

oleh pohon-pohon berdiameter <20 cm yaitu mencapai 72% dari total individu yang ditemui pada plot pengamatan (Gambar 4). Dominasi pohon-pohon berdiameter kecil memang menjadi ciri khas dari hutan karst (Marwiyati, 2012; Ranlund, 2011). Dominasi pohon kecil beberapa di antaranya disebabkan kondisi hutan karst yang miskin nutrisi, tipisnya lapisan permukaan tanah, dan secara berkala mengalami masa kering yang ekstrim (Vermeulen & Whitten, 1999). Lebih lanjut, Anwar *et al.* (1984) menjelaskan bahwa ciri lain yang khas dari vegetasi karst adalah kepadatan pohon yang relatif rendah, basal area yang rendah, dan tidak terdapat taksa yang dominan.

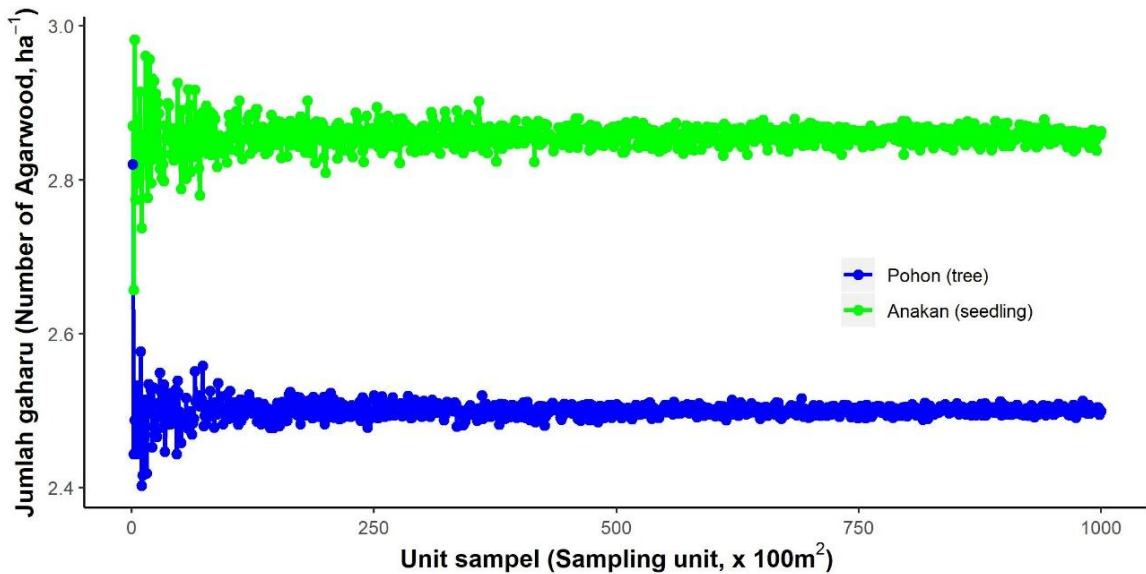
Pohon penghasil gaharu, *Aquilaria filaria*, sebagai bagian dari ekosistem karst memiliki nilai relatif basal area yang rendah yaitu 1,9% (Gambar 5A). Keterpentingan jenis tersebut dari sisi basal area termasuk rendah. Rendahnya keterpentingan jenis ini juga diindikasikan dari rendahnya nilai indeks penting ( $\cos^2$ ) PCA yang hanya menempati posisi 46 dari 68 jenis yang ada di lokasi penelitian (Gambar 6, Tabel 1). Sekilas tampak kegiatan ekstraksi gaharu untuk diperdagangkan secara umum tidak berpengaruh banyak terhadap komunitas hutan ini. Namun demikian, dalam sebuah ekosistem yang kompleks, setiap jenis memiliki perannya masing-masing dalam sistem tersebut (Odum, 1969). Jenis-jenis tersebut, baik fauna maupun flora, memiliki kedudukan yang

khas dalam rantai makanan (Cebrian, 1999; Schoener, 1989). Demikian pula dengan jenis *Aquilaria filaria*, meskipun dalam komunitas hutannya memiliki relatif basal area dan nilai indeks penting yang rendah, jenis tersebut tergabung dalam suatu ekosistem yang lebih kompleks. Penelitian lanjutan bagaimana kedudukan jenis tersebut dalam rantai makanan perlu untuk dilakukan.

#### B. Potensi Pohon Penghasil Gaharu

Hasil simulasi data menunjukkan bahwa potensi pohon *Aquilaria* di TWA Beriat berada pada kisaran 2,50 pohon dan 2,89 anakan per hektare. Nilai perkiraan ini menurun dari yang diperkirakan oleh Soehartono dan Newton (2000) lebih dari 20 tahun yang lalu yang berada pada angka 4,33 pohon per hektare. Penurunan ini diduga salah satunya disebabkan oleh eksploitasi yang tidak memperhatikan aspek keberlanjutan (Soehartono & Newton, 2002). Lebih lanjut, Soehartono dan Newton (2002) menyebutkan bahwa telah terjadi perubahan fokus tempat pemanenan dari kawasan barat Indonesia ke kawasan timur Indonesia (Maluku dan Papua). Perubahan fokus lokasi pemanenan yang dilakukan pada awal dekade 2000an tersebut, patut diduga menjadi penyebab lain dalam penurunan potensi pohon penghasil gaharu di Papua.



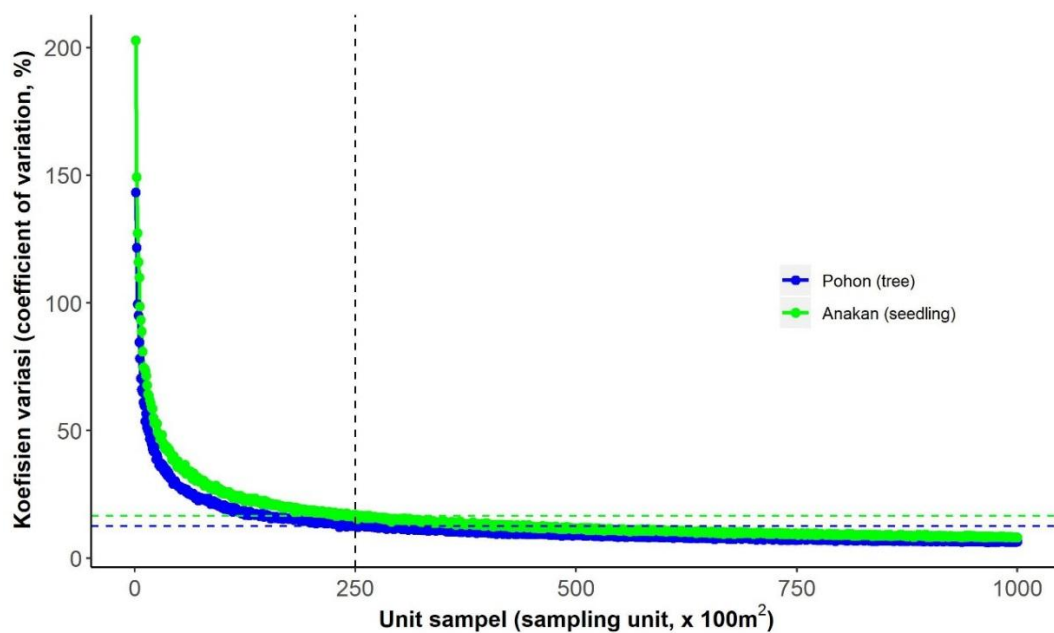


**Gambar 7.** Simulasi perkiraan kerapatan pohon penghasil gaharu seiring dengan peningkatan unit sampel (US) untuk kelas pohon dan anakan di TWA Beriat, Papua Barat

**Figure 7.** Simulation of density estimation of agarwood producing tree in the forest with increasing sampling unit (SU) for tree and seedling in the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua

Meskipun data simulasi penelitian ini yaitu 2,50 pohon per hektare menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan data Soehartono (1997) dalam Donovan dan Puri (2004) untuk perkiraan pohon penghasil gaharu di Sumatra (1,87 pohon per hektare), hal ini bukan mengindikasikan bahwa potensi gaharu di Papua masih cukup tinggi. Gibson (1977) dalam tulisannya memperkirakan bahwa hanya sekitar 10% dari marga *Aquilaria*

yang tumbuh di hutan alam yang mengandung gaharu. Nilai itu setara dengan 0,25 pohon per hektare di Papua yang berpotensi mengandung gaharu. Lebih lanjut, dengan pertimbangan kualitas dan kuantitas resin, Sadgopol (1959) dalam Donovan dan Puri (2004) menyatakan bahwa dalam kondisi alami, resin umumnya ditemukan pada pohon berusia lebih dari 20 tahun dengan usia 50 tahun yang memiliki konsentrasi



**Gambar 8.** Nilai koefisien variasi dari simulasi jumlah unit sampel (US) dalam memprediksi populasi pohon penghasil gaharu untuk kelas pohon dan anakan di TWA Beriat, Papua Barat

**Figure 8.** Coefficient of variation from the simulation of the number of sampling unit (SU) in predicting the population density of tree and seedling of agarwood species in the Natural Tourism Park of Beriat, West Papua

tertinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semua pohon penghasil gaharu yang ditemukan di lokasi penelitian memiliki DBH kurang dari 30 cm (Gambar 3). Oleh karenanya, dengan memperhitungkan faktor persentasi kemungkinan keberadaan resin (Gibson, 1977) dan usia pohon yakni usia pohon secara umum berkorelasi dengan DBHnya (Mat *et al.*, 2014), maka diperkirakan potensi resin gaharu di TWA Beriat ini sangat kecil.

Penurunan potensi yang terjadi pada pohon penghasil gaharu patut mendapat perhatian serius. Dengan makin meningkatnya permintaan gaharu dan diiringi oleh naiknya harga komoditas ini, pohon penghasil gaharu di alam jadi target utama eksploitasi (Sitepu *et al.*, 2011; Sumarna, 2008). Untuk itu, dalam upaya menjaga keberadaan populasi pohon penghasil gaharu di hutan alam, penentuan kuota perdagangan internasional yang sudah lama diberlakukan harus terus konsisten dilaksanakan. Sebagai alternatif dalam upaya memenuhi tingginya permintaan gaharu, kampanye budidaya gaharu (Persoon & van Beek, 2008; Sumarna, 2008; Turjaman & Hidayat, 2017) seperti penanaman melalui sistem agroforestri (Suhartati & Wahyudi, 2011) kemudian dilakukan infeksi buatan terhadap pohon tersebut (Agustini *et al.*, 2006; Budi *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2013; Turjaman *et al.*, 2016) harus terus dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menjamin keberlanjutan regenerasi pohon penghasil gaharu di hutan alam yang statusnya sudah terancam (IUCN, 2018) disamping dalam upaya membatasi eksploitasi gaharu yang beberapa di antaranya masuk dalam kawasan konservasi. Oleh karena itu, strategi produksi gaharu secara berkelanjutan menjadi tantangan yang harus dijawab oleh parapihak seperti pemerintah, swasta, dan masyarakat itu sendiri.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Pohon penghasil gaharu yang ditemukan di TWA Beriat secara morfologi teridentifikasi sebagai jenis *Aquilaria filaria*. Jumlah individu yang ditemukan pada lokasi penelitian ada 5 individu dewasa dengan DBH berkisar antara 12-25,8 cm. Struktur hutan habitat pohon penghasil gaharu yaitu hutan karst yang didominasi oleh pohon-pohon berdiameter kecil (DBH <20 cm) yaitu sebesar 72% dari total individu. Pohon penghasil gaharu sendiri hanya merepresentasikan 1,9% dari total basal area terhitung pada plot penelitian. Dilihat dari nilai penting hasil PCA, jenis pohon penghasil gaharu menempati posisi 46 dari 68 jenis yang dianalisis pada dimensi pertama.

Hasil simulasi perhitungan potensi gaharu, jumlah pohon dewasa (DBH >10 cm) di alam diperkirakan sebanyak 2,50 pohon/ha sementara

jumlah anakan (*seedling*) diperkirakan sebanyak 2,89 anakan/ha. Dengan jumlah demikian, populasi pohon penghasil gaharu di Papua menurun dalam kurun waktu 20 tahun dari sebelumnya yang berada pada kisaran 4,33 pohon/ha.

### B. Saran

Penurunan populasi gaharu di hutan alam salah satunya bisa disebabkan eksploitasi berlebih terhadap gaharu. Oleh karena itu, penentuan kuota perdagangan gaharu harus lebih diperketat dan evaluasi atas pelaksanaan kuota perdagangan tersebut harus dilakukan dengan lebih cermat sehingga akan meminimalisasi makin turunnya populasi pohon penghasil gaharu di hutan alam. Peningkatan permintaan gaharu bisa dipenuhi dengan gaharu hasil budidaya yang saat ini banyak dilakukan oleh petani gaharu. Selain itu, konservasi in situ gaharu perlu dilakukan dengan maksimal terutama pada kawasan konservasi seperti TWA Beriat ini. Konservasi in situ yang berjalan dengan baik, diharapkan dapat menjamin keberlangsungan populasi gaharu. Dengan demikian, daerah tersebut dapat menjadi areal yang bagus untuk studi populasi gaharu.

Kepastian status taksonomi jenis gaharu yang ditemukan dalam penelitian ini perlu diuji lebih lanjut, walaupun secara morfologi teridentifikasi sebagai jenis *A. filaria*. Uji lanjut tersebut yaitu melalui analisis DNA yang akan menguatkan hasil identifikasi secara morfologi. Uji DNA ini perlu dilakukan terhadap jenis-jenis penghasil gaharu (marga *Aquilaria* dan *Gyrinops*) karena secara morfologi kedua marga tersebut hampir identik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Biologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) atas kesempatan yang diberikan untuk ikut serta dalam kegiatan “Studi dan monitoring populasi, sebaran, keragaman jenis, dan reproduksi untuk satwa dan flora yang masuk dalam Appendix CITES” tahun anggaran 2019. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Papua Barat dan staf atas bantuannya dalam kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Eko Susanto, Daseng Ahmad Samsudin, Rustandi B, Mohamad Rizki Riadhi, Abdul Rahman Wahid, Obaja Karsaw, Orgenes Karsaw, dan Decky Karsaw atas segala bantuannya dalam penelitian ini.

## KONTRIBUSI PENULIS

Semua penulis memiliki kontribusi yang sama dalam penulisan naskah ini yaitu sebagai kontributor utama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433–459.
- Agustini, L., Wahyuno, D., & Santoso, E. (2006). Keanekaragaman jenis jamur yang potensial dalam pembentukan gaharu dari batang *Aquilaria* spp. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 3(5), 555–564.
- Anwar, J., Damanik, S. J., Hisyam, N., & Whitten, A. J. (1984). *Ekologi ekosistem Sumatera*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Azah, M. N., Husni, S. S., Mailina, J., Sahrim, L., Majid, J. A., & Faridz, Z. M. (2013). Classification of agarwood (gaharu) by resin content. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(2), 213–219.
- Bartstra, G.-J. (Ed.). (1998). *Bird's Head approaches: Irian Jaya studies, a programme for interdisciplinary research*. Modern Quaternary research in Southeast Asia. Rotterdam, Netherlands; Brookfield, VT: Balkema.
- BBKSDA Papua Barat. (2016). *Buku informasi kawasan konservasi Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Papua Barat*. Sorong, Papua Barat: Balai Besar KSDA Papua Barat.
- Budi, S. W., Santoso, E., & Wahyudi, A. (2010). Identifikasi jenis-jenis fungi yang potensial terhadap pembentukan gaharu dari batang *Aquilaria* spp. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 1(1), 1–5.
- Cebrian, J. (1999). Patterns in the fate of production in plant communities. *The American Naturalist*, 154(4), 449–468.
- CITES. (2017). Appendices I, II and III the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. CITES. Retrieved July 25, 2019, from <https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2017/E-Appendices-2017-10-04.pdf>
- Destri, Mutaqien, Z., Samsudin, D. A., Rustandi, Emus, & Susanto, E. (2019). Distribusi dan Populasi Tumbuhan Penghasil Gaharu di Kawasan Sorong Raya, Papua Barat, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Tumbuhan dan Satwa Liar* (pp. 26–32). Presented at the Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Tumbuhan dan Satwa Liar, 27 November 2018, Cibinong: Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- Donovan, D., & Puri, R. (2004). Learning from traditional knowledge of non-timber forest products: Penan Benalui and the autecology of *Aquilaria* in Indonesian Borneo. *Ecology and Society*, 9(3), 3.
- Gibson, I. A. S. (1977). The role of fungi in the origin of oleoresin deposits (Agaru) in the wood of *Aquilaria Agallocha* Roxb. *Bano Biggyan Patrika*, 6, 16–26.
- Hou, D. (1960). *Flora Malesiana: Thymeleaceae*. I (Vol. 6). Leiden, The Netherlands: Noordhoff-Kolff.
- IUCN. (2018). The IUCN red list of threatened species. *IUCN Red List of Threatened Species*. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.iucnredlist.org/en>
- Kassambra, A., & Mundt, F. (2017). *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses*. CRAN. Retrieved July 24, 2019, from <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf>
- Komar, T. E., Wardani, M., Hardjanti, F. I., & Ramdhania, N. (2014). *In-situ and ex-situ conservation of aquilaria and gynerops: A review*. (Bismark, E. Santoso, & A. P. Tampubolon, Eds.). Bogor, Indonesia: Ministry of Forestry, Forest Research and Development, Center for Conservation and Rehabilitation Research and Development in cooperation with International Tropical Timber Organization (ITTO)-CITES Phase III Project. Retrieved from [http://www.fordamof.org/files/Insitu\\_and\\_Eksitu\\_Consevation\\_of\\_Aquilaria\\_n\\_Gynerops.pdf](http://www.fordamof.org/files/Insitu_and_Eksitu_Consevation_of_Aquilaria_n_Gynerops.pdf)
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., & others. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, 25(1), 1–18.
- Liu, Y., Chen, H., Yang, Y., Zhang, Z., Wei, J., Meng, H., Chen, W., Feng, J., Gan, B., Chen, X., Gao, Z., Huang, J., Chen, B., & Chen, H. (2013). Whole-tree agarwood-inducing technique: An efficient novel technique for producing high-quality agarwood in cultivated *Aquilaria sinensis* trees. *Molecules*, 18(3), 3086–3106.
- Liu, Y., Wei, J., Gao, Z., Zhang, Z., & Lyu, J. (2017). A review of quality assessment and grading for Agarwood. *Chinese Herbal Medicines*, 9(1), 22–30.
- Marwiyati. (2012). *Ekologi vegetasi dan etnobotani kawasan karst Gunung Cibodas, Ciampea, Bogor (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. Retrieved July 24, 2019, from <https://repository.ipb.ac.id/jspui/bitstream/123456789/60605/1/G12mar.pdf>
- Mat, M. S. C., Nor, M. A. M., Diah, J. M., Din, M. A. M., Hashim, K. A., & Manan Samad, Abd. (2014). Tree age estimation by tree diameter measurement using digital close range photogrammetry (DCRP). *2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2014)* (pp. 421–426). Presented at the 2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 28–30 November 2014, Penang, Malaysia: IEEE. Retrieved July 24, 2019, from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7072756/>
- Mohamed, R. (Ed.). (2016). *Agarwood: Science behind the fragrance*. Tropical Forestry. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-981-10-0833-7>
- Mulyaningsih, T., & Yamada, I. (2007). Notes on some species of Agarwood in Nusa Tenggara, Celebes and West Papua. In K. Tanaka, K. Mizuno, M. Okamoto, K. Osozawa, J. Akamine, & M. Ichikawa (Eds.), *Natural resource management and socio-economic transformation under the decentralization in Indonesia: Toward Sulawesi area studies* (pp. 365–372). Kyoto, Japan: CSEAS Kyoto University.
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164(3877), 262–270.

- Persoon, G. A., & van Beek, H. H. (2008). Growing 'The Wood of The Gods': Agarwood production in Southeast Asia. In D. J. Snelder & R. D. Lasco (Eds.), *Smallholder Tree Growing for Rural Development and Environmental Services* (Vol. 5, pp. 245–262). Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved July 24, 2019, from [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-8261-0\\_12](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-8261-0_12)
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved February 27, 2017, from <https://www.R-project.org/>
- Ranlund, Å. (2011). *Structure and tree diversity of lowland limestone forest on Seram Island, Indonesia* (Master thesis). Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. Retrieved from [https://stud.epsilon.slu.se/3720/1/ranlund\\_a\\_111220.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/3720/1/ranlund_a_111220.pdf)
- Roemantyo, & Partomihardjo, T. (2010). Analisis prediksi sebaran alami gaharu marga *Aquilaria* dan *Gyrinops* di Indonesia. *Berita Biologi*, 10(2), 189–198.
- Schoener, T. W. (1989). Food webs from the small to the large: The Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 70(6), 1559–1589.
- Semiadi, G., Wiriadinata, H., Waluyo, E. B., & Darnaedi, D. (2010). Rantai pasokan produk tumbuhan gaharu (*Aquilaria* spp.) asal Merauke, Papua. *Buletin Plasma Nutfah*, 16(2), 150–159.
- Siburian, R. H. S. (2009). *Keragaman genetik Gyrinops verstegii asal Papua berdasarkan RAPD dan Mikrosatelit* (Master thesis). Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/5273/2009rhs.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Sitepu, I. R., Santoso, E., Siran, S. A., & Turjaman, M. (2011). *Fragrant wood gaharu: When the wild can no longer provide* (Vol. Production and utilization technology for sustainable development of Eaglewood (gaharu) in Indonesia). Bogor, Indonesia: Forestry Research and Development Agency (FORDA), R&D Centre for Forest Conservation and Rehabilitation. Retrieved from <http://www.fordamof.org/files/FRAGRANT%20WOOD%20GAHARU.pdf>
- Soehartono, T., & Newton, A. C. (2000). Conservation and sustainable use of tropical trees in the genus *Aquilaria* I. Status and distribution in Indonesia. *Biological Conservation*, 96(1), 83–94.
- Soehartono, T., & Newton, A. C. (2002). The gaharu trade in Indonesia: Is it sustainable? *Economic Botany*, 56(3), 271–284.
- Suhartati, & Wahyudi, A. (2011). Pola agroforestry tanaman penghasil gaharu dan kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 8(4), 363–371.
- Sumarna, Y. (2008). Beberapa aspek ekologi, populasi pohon, dan permudaan alam tumbuhan penghasil gaharu kelompok Karas (*Aquilaria* spp.) di wilayah Provinsi Jambi. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(1), 93–99.
- Turjaman, M., & Hidayat, A. (2017). Agarwood-planted tree inventory in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 54, p. 012062). Presented at the The 3rd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental Monitoring 2016, 25–26 October 2016, Bogor, Indonesia. Retrieved July 24, 2019, from <https://doi.org/10.1088%2F1755-1315%2F54%2F1%2F012062>
- Turjaman, M., Hidayat, A., & Santoso, E. (2016). Development of agarwood induction technology using endophytic fungi. In R. Mohamed (Ed.), *Agarwood* (pp. 57–71). Singapore: Springer Singapore. Retrieved July 24, 2019, from [http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-0833-7\\_4](http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-0833-7_4)
- Vermeulen, J. J., & Whitten, T. (1999). *Biodiversity and cultural property in the management of limestone resources: Lessons from East Asia*. Directions in development. Washington, D.C: World Bank.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Use R! New York: Springer-Verlag. Retrieved July 24, 2019, from <https://www.springer.com/gp/book/9780387981413>