

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN TIGA INDEKS KEANEKARAGAMAN POHON DALAM ANALISIS KOMUNITAS HUTAN: STUDI KASUS DI TAMAN NASIONAL GUNUNG GEDE PANGRANGO, INDONESIA

(The Effectiveness of the Use of Three Diversity Indices in Forest Community Analysis: A case Study in Mount Gede Pangrango National Park, Indonesia)

Andes Hamuraby Rozak^{1*}, Sri Astutik¹, Zaenal Mutaqien¹, Endah Sulistyawati², dan/and Didik Widyatmoko¹

¹Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Ir. H. Juanda No. 13, Bogor 16003, Jawa Barat, Indonesia

²Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

Info artikel:	ABSTRACT
Keywords: Montane forest, biodiversity, species richness, tree, national park	<i>The analysis of diversity is a fundamental measurement in a forest community. The results of the analysis can be the basis for conservation actions in the management of a forest area. Several species diversity indices such as the Shannon-Wiener and Simpson's index are very commonly used in the analysis by the ecologist. However, comparative studies on tree diversity indices with continued analysis of the effectiveness of using these indices are still rarely conducted. Using data from 26 plots located at an altitude range of 1.013-3.010 m, a comparison of the effectiveness of the use of the Shannon-Wiener, Simpson's, and rarefied richness index was carried out on woody plants (dbh ≥ 5 cm). It was grouped into three zones, namely the submontane zone, montane and subalpine. The results showed that rarefied richness index has a good performance and more sensitive than that of Shannon-Wiener and Simpson's indices. Therefore, we recommend using a rarefied richness index for further research on tree diversity analysis. Converting previous Shannon-Wiener, Simpson's, or combination of both indices into rarefied richness is widely open. However, linear models show that the equations only capture 61-87% of the total variation of the indices, depend on the independent variable used in the model.</i>
Kata kunci: Hutan pegunungan, keanekaragaman, kekayaan jenis, pohon, taman nasional	ABSTRAK Analisis keanekaragaman jenis sangat penting dalam perhitungan keanekaragaman suatu komunitas hutan. Hasil analisis tersebut bisa menjadi dasar untuk aksi-aksi konservasi dalam pengelolaan suatu kawasan hutan. Beberapa indeks keanekaragaman jenis seperti indeks Shannon-Wiener dan Simpson's sangat umum digunakan dalam analisis tersebut. Namun demikian, studi perbandingan indeks keanekaragaman pohon disertai analisis lanjutan tentang efektivitas penggunaan indeks tersebut masih jarang dilakukan. Dengan menggunakan data dari 26 plot yang terletak pada rentang ketinggian 1.013-3.010 m, perbandingan efektivitas penggunaan indeks Shannon-Wiener, Simpson's, dan <i>rarefied richness</i> dilakukan terhadap tumbuhan berkayu (dbh ≥ 5 cm) yang dikelompokkan dalam tiga zona, yaitu zona submontana, montana, dan subalpine. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks <i>rarefied richness</i> memiliki sensitivitas yang baik dibandingkan dengan indeks lainnya. Oleh karenanya, penggunaan indeks tersebut perlu diutamakan dibandingkan dengan indeks lainnya. Konversi indeks Shannon-Wiener, Simpson's, maupun kombinasinya sangat terbuka untuk dilakukan. Namun demikian, persamaan regresi linear hanya mampu menjelaskan 61-87% dari total varian yang dimiliki dan bergantung pada variabel bebas yang digunakan.
Riwayat artikel: Tanggal diterima: 18 Desember 2019; Tanggal direvisi: 30 April 2020; Tanggal disetujui: 4 Mei 2020	

Editor: Asep Hidayat, S.Hut, M.Agr, Ph.D

Korespondensi penulis: Andes Hamuraby Rozak* (andes.hamuraby.rozak@lipi.go.id)

Kontribusi penulis: **AHR**: kontributor utama, pelaksana penelitian dan pengambilan data, konseptor tulisan, analisis data, menulis draft naskah KTI, submit naskah KTI; **SA**: kontributor anggota, pelaksana penelitian dan pengambilan data, memberikan masukan draft naskah KTI; **ZM**: kontributor anggota, pelaksana penelitian dan pengambilan data, memberikan masukan draft naskah KTI; **ES**: kontributor anggota, pelaksana penelitian dan pengambilan data, memberikan masukan draft naskah KTI; **DW**: kontributor anggota, koordinator penelitian, pelaksana penelitian dan pengambilan data, memberikan masukan draft naskah KTI.

<https://doi.org/10.20886/jphka.2020.17.1.35-47>

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

I. PENDAHULUAN

Analisis tentang keanekaragaman jenis merupakan pengetahuan yang sangat mendasar dalam mengukur keanekaragaman suatu komunitas hutan. Analisis tersebut adalah cara yang paling sederhana untuk mendeskripsikan kekayaan biota (Magurran, 2004) dan menjadi tantangan tersendiri bagi ekolog dalam menjelaskan keanekaragaman suatu kawasan (Brown, Ernest, Parody, & Haskell, 2001; Palmer, 1994). Dalam perkembangannya, terdapat beberapa indeks yang bisa digunakan untuk menganalisis keanekaragaman biota suatu kawasan seperti indeks Shannon-Wiener (1963), indeks Simpson's (1949), maupun indeks yang perhitungannya lebih kompleks yaitu *rarefied richness* (Heck, van Belle, & Simberloff, 1975; Simberloff, 1972). Dua indeks pertama sangat umum digunakan di Indonesia (e.g. Arrijani, 2006, 2008; Larashati, 2004; Mutaqien, & Zuhri, 2011) karena kemudahan dalam proses perhitungannya. Sementara itu, indeks *rarefied richness* masih jarang digunakan karena kompleksitas perhitungan (Buddle et al., 2005; Chao et al., 2014; Gotelli, & Colwell, 2001).

Tinjauan tentang penggunaan indeks keanekaragaman telah dimulai sejak beberapa dekade yang lalu (Buddle et al., 2005; Gotelli & Colwell, 2001; Hurlbert, 1971; Lamb et al., 2009; Sanders, 1968; Wolda, 1981). Hurlbert (1971) misalnya telah mengkritisi bahwa penggunaan indeks keanekaragaman yang umum dilakukan pada masa tersebut (misalnya indeks Shannon-Wiener) tidak tepat untuk digunakan pada penelitian-penelitian hayati karena tidak memberikan arti yang penting bagi pendeskripsian sifat-sifat biologinya. Sebagai contoh, Hurlbert (1971) berpendapat bahwa indeks Shannon-Wiener hanya memperhitungkan variabel kelimpahan dan nilai penting suatu jenis terhadap ekosistem yang berarti mengesampingkan kontribusi beberapa jenis yang dikategorikan langka pada suatu kawasan yang dalam beberapa

kasus memainkan peranan penting dalam suatu komunitas. Contoh kasus penggunaan indeks keanekaragaman seperti Shannon-Wiener, Simpson's, Fisher's alpha, dan *rarefied richness* telah dijelaskan dengan baik untuk taksa Artropoda pada berbagai tipe habitat (Buddle et al., 2005). Pada taksa tersebut, Buddle et al. menyimpulkan bahwa indeks *rarefied richness* lebih sensitif dibandingkan indeks lainnya dan direkomendasikan untuk digunakan dalam analisis keanekaragaman jenisnya.

Sejalan dengan penelitian Buddle et al. (2005), tulisan ini mencoba untuk membandingkan indeks yang umum digunakan, yaitu Shannon-Wiener dan Simpson's, terhadap indeks *rarefied richness* dengan contoh kasus yaitu pada komunitas kelas pohon yang terdapat di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP). Pemilihan tiga indeks tersebut didasarkan bahwa dua indeks pertama sangat umum digunakan di Indonesia dalam menganalisis keanekaragaman pohon pada suatu kawasan hutan dibandingkan dengan indeks *rarefied richness* yang tidak begitu populer. Dengan demikian, tujuan tulisan ini adalah untuk (1) mengetahui indeks keanekaragaman pohon di TNGGP; (2) membandingkan tiga jenis indeks keanekaragaman pohon yaitu indeks Shannon-Wiener, indeks Simpson's, dan *rarefied richness*; (3) memberikan rekomendasi indeks keanekaragaman yang lebih obyektif dalam menilai suatu kawasan hutan terutama untuk kelas pohon; dan (4) memprediksi korelasi antara indeks Shannon-Wiener, Simpson's, ataupun kombinasinya terhadap indeks *rarefied richness*.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di kawasan inti Cagar Biosfer Cibodas yaitu hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (Gambar 1). Secara geografis kawasan hutan ini terletak pada 6°10' - 6°51' LS dan

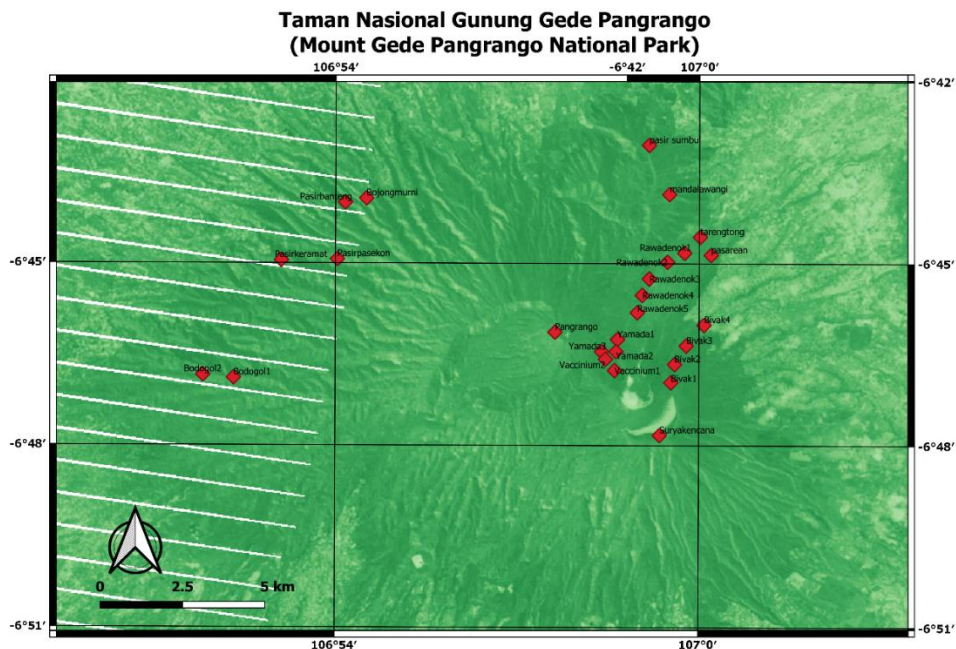
106°51'-107°02' BT. Pengambilan data dilaksanakan selama tiga tahun yaitu pada 2009, 2010, dan 2011. Deskripsi lengkap lokasi penelitian dapat dibaca pada publikasi lain (Rozak, Astutik, Mutaqien, Widyatmoko, & Sulistyawati, 2016, 2017).

B. Metode

Dalam penelitian ini, pohon didefinisikan sebagai tumbuhan mengayu, berbatang utama satu dengan sistem percabangan jauh dari permukaan tanah dan tidak termasuk tumbuhan paku-pakuan (Pteridophyta) atau palem-paleman (Arecaceae) (Beech, Rivers, Oldfield, & Smith, 2017). Plot pengamatan pohon (n = 26) dibuat pada rentang ketinggian 1.013 m. sampai dengan 3.010 m dpl. Pemilihan ketinggian lokasi plot dilakukan umumnya tiap kenaikan 50-200 m agar bisa merepresentasikan semua komunitas pohon yang ada pada kawasan TNGGP. Bentuk dan ukuran plot yang digunakan yaitu

berukuran 20 x 100 m² (plot besar) untuk kelas pohon berdiameter ≥30 cm dan 5 x 40 m² (plot kecil) untuk kelas pohon berdiameter 5-30 cm (Rozak et al., 2016, 2017). Posisi plot kecil ditempatkan di tengah plot besar.

Setiap pohon yang masuk dalam plot besar maupun plot kecil diidentifikasi secara langsung oleh para botanis di lokasi penelitian dan/atau melalui identifikasi spesimen herbarium jika tidak berhasil teridentifikasi sampai tingkat marga. Nama ilmiah jenis pohon yang teridentifikasi kemudian distandardisasi menggunakan “BIOMASS” *package* dalam program R (Réjou-Méchain, Tanguy, Piconiot, Chave, & Hérault, 2017) yang memanfaatkan antarmuka Taxosaurus (Boyle et al., 2013). Sejumlah 1.471 individu pohon tercatat pada penelitian ini yang terdiri atas 122 jenis dan 81 marga. Secara total, 1442 individu pohon berhasil diidentifikasi sampai tingkat jenis (98%) sementara 29 lainnya sampai tingkat marga (2%).



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. Kotak merah menunjukkan lokasi plot (n = 26) pada rentang ketinggian 1.013 – 3.010 m dpl. (Peta NDVI 2019, diolah dari Landsat 7 ETM+ USGS). (Map of study site in Mount Gede Pangrango National Park. Red boxes show plot location (n = 26) ranged from 1.013 – 3.010 m asl. (NDVI 2019 map, processed from Landsat 7 ETM+ USGS))

C. Metode

Data pohon dari plot pengamatan dikelompokkan pada tiga zona utama untuk hutan pegunungan (van Steenis, Hamzah, & Toha, 1972) yaitu zona submontana ($n = 8, 1.013-1.465$ m), zona montana ($n = 10, 1.567-2.395$ m), dan zona subalpine ($n = 8, 2.453-3.010$ m). Indeks keanekaragaman pohon yang terdiri atas indeks Shannon-Wiener (1963), indeks diversitas Simpson's (1949), dan indeks *rarefied richness* (Heck et al., 1975; Hurlbert, 1971) dihitung untuk tiap zona dan masing-masing plot. Khusus untuk penghitungan pada masing-masing plot, rata-rata nilai indeks dihitung berdasarkan zona dan dilakukan dengan metode *bootstrap* 1.000 kali ulangan (DiCiccio, & Efron, 1996). Persamaan untuk menghitung ketiga indeks yang digunakan dan penjelasan singkatnya adalah sebagai berikut.

- (1) Indeks Shannon-Wiener (H'), nilai berkisar antara 1,5 – 3,5 dan sangat jarang bernilai lebih dari 4. Makin tinggi nilai H' maka makin tinggi juga nilai keanekaragamannya.

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N},$$

dimana:

- n_i = jumlah individu dalam satu jenis, dan
- N = jumlah total individu semua jenis yang ditemukan

- (2) Indeks diversitas Simpson's (D), nilai berkisar antara 0 – 1. Nilai 0 menunjukkan komunitas homogen, sementara nilai 1 menunjukkan keanekaragaman tinggi.

$$D = 1 - \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

dimana:

- n = jumlah total individu dalam satu jenis, dan
- N = jumlah total individu semua jenis yang ditemukan

- (3) Indeks *rarefied richness* (E). Nilai indeks ini >0 . Makin tinggi nilai E maka makin tinggi juga nilai keanekaragaman jenisnya.

$$E = \sum_{i=1}^s \left(1 - \left[\frac{\binom{N-N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right] \right)$$

dimana:

- N = Jumlah ukuran sampel
- S = Jumlah jenis
- n = Ukuran sampel standard yang digunakan sebagai pembandingan
- N_i = Jumlah individu pada jenis i

Perbedaan signifikan dalam indeks yang dianalisis ditentukan berdasarkan berurutan atau tidaknya jangkauan data pada tingkat kepercayaan 95% setelah dilakukan *bootstrap* (DiCiccio, & Efron, 1996). Analisis regresi linear dilakukan untuk mengetahui signifikansi perubahan ketinggian terhadap indeks yang dianalisis dengan ambang batas signifikansi *p-value* $<5\%$. Analisis regresi linear juga dilakukan untuk menentukan persamaan linear dalam mengkonversi nilai indeks Shannon-Wiener, Simpson's, maupun kombinasinya terhadap indeks *rarefied richness*.

Sebelum analisis regresi linear dilakukan, uji nilai *leverage* dan sebaran data melalui uji Shapiro-Wilk dilakukan terlebih dahulu terhadap data yang dianalisis (Nobre, & Singer, 2011). Sejumlah enam plot dengan nilai indeks Shannon-Wiener $<1,6$ tidak digunakan untuk analisis regresi linear karena memiliki nilai *leverage* yang tinggi. Dengan demikian, uji regresi linear terhadap indeks yang dihitung hanya dilakukan pada 20 plot pengamatan. Analisis sebaran data menunjukkan bahwa data ketiga indeks dari 20 plot pengamatan terdistribusi secara normal (Uji Shapiro-Wilk, *p-value* $>0,1$) sehingga memenuhi

syarat untuk dilakukan analisis regresi linear.

Perhitungan ketiga indeks keanekaragaman pohon dan analisis data dilakukan dengan menggunakan program R (R Core Team, 2017) dengan memanfaatkan ‘vegan’ package (Oksanen et al., 2017). Sementara itu, *bootstrap* dilakukan dengan memanfaatkan ‘boot’ package (Canty, & Ripley, 2019).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keanekaragaman Pohon di TNGGP

Indeks keanekaragaman pohon menunjukkan nilai yang berbeda pada tiap zona pengamatan (Tabel 1). Secara umum, untuk zona submontana dan montana, dua jenis indeks keanekaragaman yaitu indeks Shannon-Wiener dan Simpson’s memiliki nilai tidak jauh berbeda (3,26 v 3,35 dan 0,91 v 0,92). Namun demikian, kedua zona tersebut berbeda cukup signifikan dengan zona

subalpine. Hasil berbeda ditunjukkan oleh indeks *rarefied richness*. Ketiga zona menunjukkan perbedaan yang cukup tinggi untuk indeks *rarefied richness* yaitu 12 jenis (perbedaan submontana – montana) dan 32 jenis (perbedaan montana – subalpine).

Jika indeks dihitung untuk masing-masing plot pengamatan (Tabel 2), hasil perhitungan rata-rata plot untuk tiap zona konsisten dengan data yang disatukan untuk masing-masing zona (Tabel 1) meskipun nilai indeksnya lebih rendah. Meskipun tidak ada perbedaan yang nyata antara zona submontana dan montana untuk ketiga indeks yang digunakan, namun indeks Shannon-Wiener dan Simpson’s pada zona montana lebih tinggi dibandingkan dengan submontana. Hasil berbeda didapat oleh *rarefied richness* yakni zona submontana memiliki indeks yang lebih tinggi dibandingkan montana meskipun tidak berbeda nyata.

Tabel (Table) 1. Indeks keanekaragaman pohon untuk tiap zona pengamatan di TNGGP (*Tree diversity indices for each zone in Mount Gede Pangrango National Park*)

Indeks (indices)	Submontane	Montane	Subalpine
Jumlah individu (<i>number of individual</i>)	313	517	641
Jumlah jenis teridentifikasi (<i>number of the identified species</i>)	71	72	34
Shannon-Wiener	3,26	3,35	2,43
Simpson’s	0,91	0,92	0,84
<i>Rarefied richness</i>	73	61	29

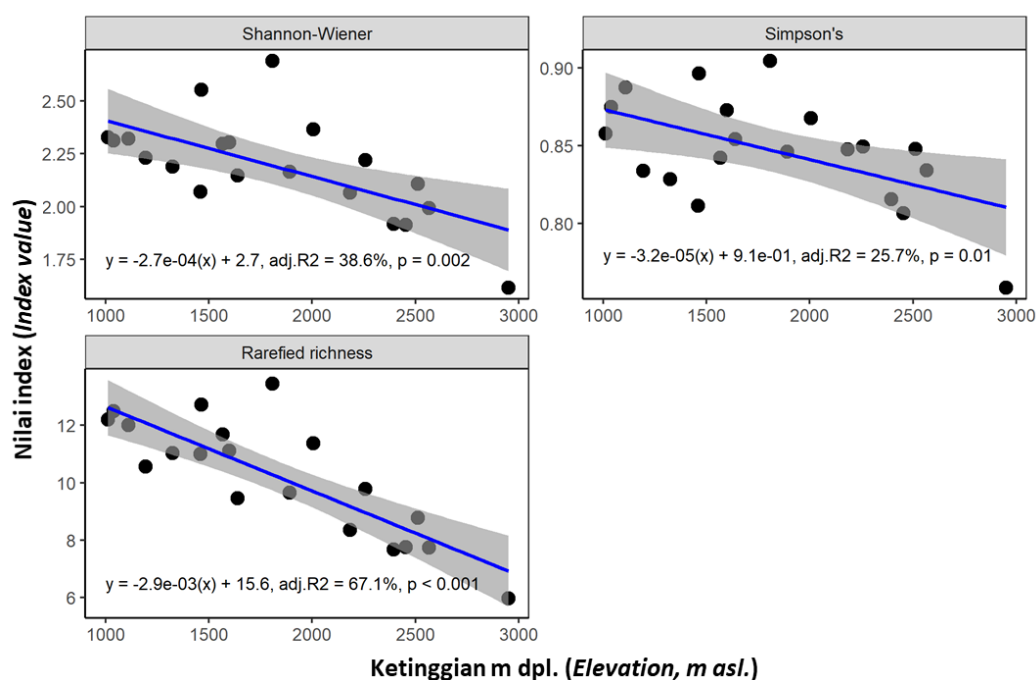
Tabel (Table) 2. Rata-rata indeks keanekaragaman pohon (tingkat kepercayaan 95%) untuk tiap plot (n = 26) pada tiap zona pengamatan di TNGGP (*The average of tree diversity indices (95% confidence interval) calculated for each plot (n = 26) in each zone in Mount Gede Pangrango National Park*)

Indeks (indices)	Submontane	Montane	Subalpine
Shannon-Wiener	2,15 (1,82 – 2,36)	2,17 (1,98 – 2,35)	1,55 (1,23 – 1,83)
Simpson’s	0,81 (0,71 – 0,87)	0,84 (0,80 – 0,86)	0,71 (0,60 – 0,80)
<i>Rarefied richness</i>	10,99 (9,25 – 12,12)	9,89 (8,65 – 11,04)	5,91 (4,54 – 7,19)

Hasil perhitungan indeks Shannon-Wiener dan Simpson's menunjukkan angka yang konsisten untuk tiap zonanya (Tabel 1 dan 2). Nilai lebih tinggi didapat pada zona montana kemudian diikuti oleh zona submontana dan subalpine. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan indeks Shannon-Wiener dan Simpson's, zona montana memiliki keanekaragaman pohon yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua zona lainnya. Hasil ini bertolak belakang dengan asumsi umum bahwa keanekaragaman pohon makin menurun seiring dengan kenaikan ketinggian suatu lokasi. Namun demikian, hal berbeda ditunjukkan oleh indeks *rarefied richness*. Zona submontana memiliki indeks *rarefied richness* yang paling tinggi dibandingkan dua zona lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa zona submontana memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi (73 jenis) dan diikuti oleh zona montana (61 jenis) dan subalpine (29 jenis). Hasil perhitungan

indeks *rarefied richness* ini sejalan dengan hasil penelitian keanekaragaman pohon sepanjang gradien ketinggian yang menyatakan bahwa terdapat korelasi negatif antara keanekaragaman jenis dengan ketinggian suatu lokasi komunitas pohon (e.g. Acharya, Chettri, & Vijayan, 2011; Aiba, & Kitayama, 1999; Kraft et al., 2011; Rozak, & Gunawan, 2015).

Keterkaitan antara indeks yang dihitung dengan ketinggian plot dianalisis melalui regresi linear (Gambar 2). Pada analisis ini, plot-plot pengamatan (n = 20) diperlakukan sebagai plot yang *independent*. Ketiga indeks yang dianalisis memperkuat teori bahwa keanekaragaman pohon semakin menurun seiring dengan kenaikan ketinggian yang ditunjukkan dengan nilai kelerengan yang negatif (indeks Shannon-Wiener: adj. R² = 38,6%, p-value = 0,002; indeks Simpson's: adj. R² = 25,7%, p-value = 0,01; indeks *rarefied richness*: adj. R² = 67,1%, p-value < 0,001).



Gambar (Figure) 2. Regresi linear antara indeks keanekaragaman dengan ketinggian plot. Daerah abu-abu menunjukkan tingkat kepercayaan 95% dari persamaan linearnya (*Linear regression between diversity indices and plot elevations. Grey areas indicated 95% confidence interval of each linear model*)

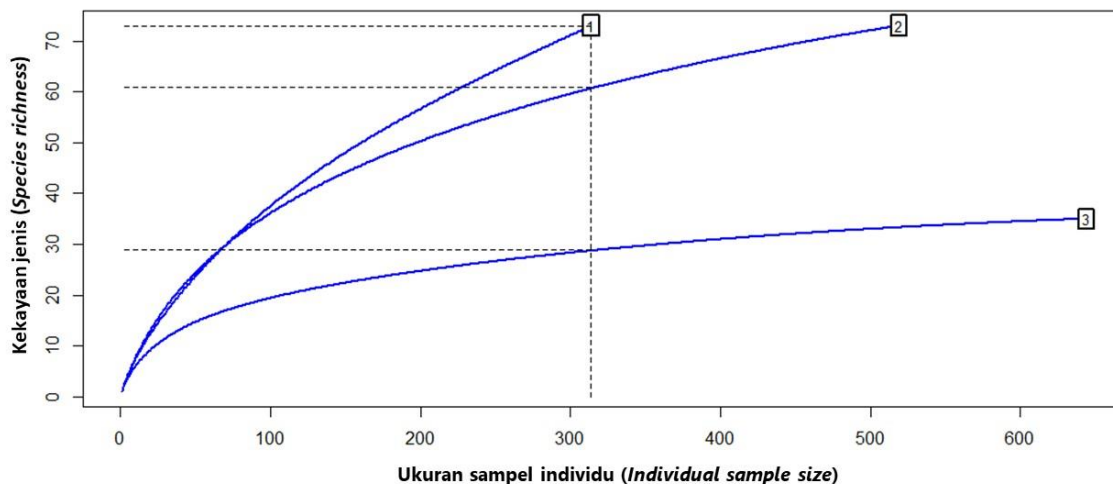
B. Indeks Rarefied Richness Lebih Sensitif menjelaskan Keanekaragaman Pohon

Sejalan dengan hasil penelitian pada taksa Artropoda (Buddle et al., 2005), indeks *rarefied richness* lebih sensitif dan memberikan informasi tambahan dalam menjelaskan keanekaragaman pohon di TNGGP. Informasi tambahan yang dimaksud adalah dapat diketahuinya kurva *rarefaction* untuk masing-masing zona penelitian. Tabel 1 dan 2 memperlihatkan bahwa baik indeks Shannon-Wiener maupun Simpson's pada zona montana memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona lainnya. Namun demikian, jika dilihat dari kurva *rarefaction*, tampak jelas bahwa penyebab dari lebih rendahnya indeks Shannon-Wiener dan Simpson's pada zona submontana dibandingkan dengan montana kemungkinan besar dikarenakan jumlah sampel individu pohon yang tidak representatif untuk zona submontana (Gambar 3). Berbeda halnya dengan zona subalpine yang sudah relatif stabil mulai dari angka 200 sampel individu, dua zona lainnya masih mengalami tren kenaikan terutama untuk zona submontana. Dengan demikian, jika jumlah plot pengamatan pada zona submontana ditambah yang secara otomatis akan menambah jumlah sampel individu pohon, maka indeks Shannon-Wiener maupun Simpson's secara teori akan berubah pula.

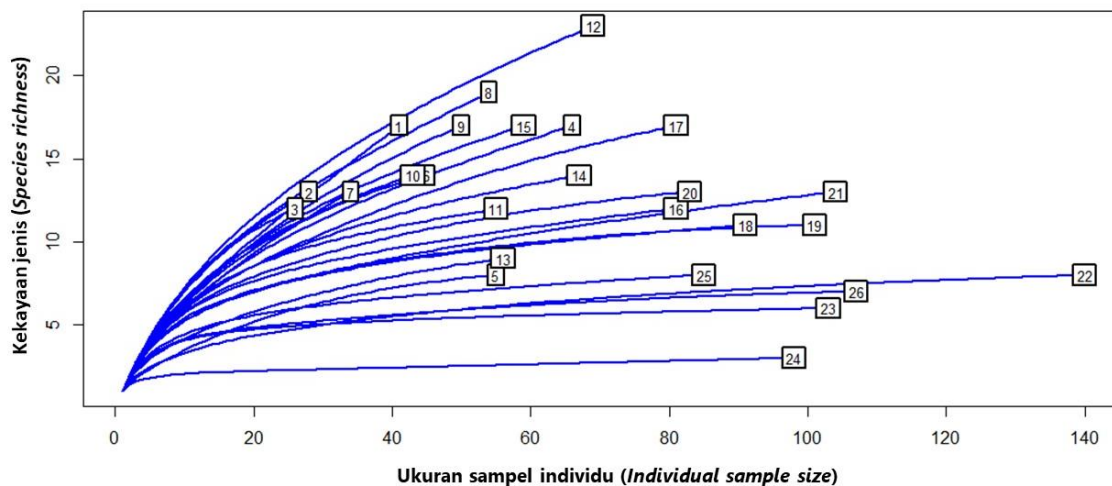
Informasi tambahan lainnya yang bisa didapat dari kurva *rarefaction* adalah berupa perbandingan indeks yang lebih obyektif yang dilakukan pada jumlah sampel individu yang sama (Gambar 3). Pada penelitian ini, perbandingan yang sama dilakukan pada ukuran sampel 313 individu yang merupakan jumlah individu terendah yang diukur pada tiap zonanya (Tabel 1). Oleh karenanya, indeks *rarefied richness* lebih obyektif karena dua hal, yaitu (1) indeks *rarefied richness* membandingkan keanekaragaman pohon pada tingkat jumlah sampel individu yang sama, dan (2) kurva *rarefaction* mampu

mendeteksi data pohon yang terinventarisasi sudah representatif atau belum. Gambar 3 memperlihatkan bahwa keanekaragaman jenis pada tingkat jumlah individu yang sama lebih tinggi pada zona submontana dibandingkan dengan dua zona lainnya. Hal ini menguatkan pendapat bahwa indeks *rarefied richness* lebih sensitif digunakan karena memperhitungkan nilai indeks pada satuan individu yang sama (Gotelli, & Colwell, 2001; Hurlbert, 1971).

Kurangnya jumlah plot pengamatan atau dalam hal ini jumlah individu pohon yang terinventarisasi terlihat jelas pada kurva *rarefaction* untuk masing-masing plot pengamatan (Gambar 4). Secara teori, analisis indeks *rarefied richness* memperhitungkan variasi dari upaya pengambilan sampel yang dilakukan (Buddle et al., 2005; Hurlbert, 1971; Sanders, 1968). Artinya, indeks tersebut memperhitungkan ukuran sampel individu yang digunakan dalam analisis datanya (*sampling effort*). Semakin banyak sampel (plot) yang dibuat, maka semakin banyak pula individu yang terinventarisasi. Oleh karenanya, data yang representatif berbanding lurus dengan *sampling effort* yang digunakan. Pada kasus penelitian ini, *sampling effort* untuk zona submontana, montana, dan subalpine masing-masing sebanyak 313, 517, dan 641 individu pohon (Tabel 1). Dengan demikian, perbandingan indeks keanekaragaman yang obyektif harus dilakukan pada tingkat *sampling effort* yang sama. Namun demikian, jumlah minimal *sampling effort* yang dibutuhkan tidak dapat ditentukan melalui analisis ini karena kurva *rarefaction* hanya mampu mengidentifikasi apakah *sampling effort* yang dilakukan pada suatu penelitian sudah cukup representatif atau belum. Gambar 4 memperlihatkan stabilitas jenis yang masih belum dicapai terutama untuk zona submontana (nomor 1-8). Sementara itu, untuk zona subalpine (nomor 19-26), stabilitas kekayaan jenis sudah relatif stabil dari angka sekitar 20 individu pohon per plot pengamatan.



Gambar (Figure) 3. Kurva rarefaction secara keseluruhan untuk zona submontana (1), montana (2), dan subalpine (3). Garis hitam putus-putus menunjukkan kekayaan jenis berdasarkan rarefied richness untuk ukuran sampel yang sama yaitu 313 individu pohon (Rarefaction curve for all zone: submontane (1), montane (2), and subalpine (3). Dashed black lines showed rarefied richness at the same level of sampling effort i.e. 313 trees)



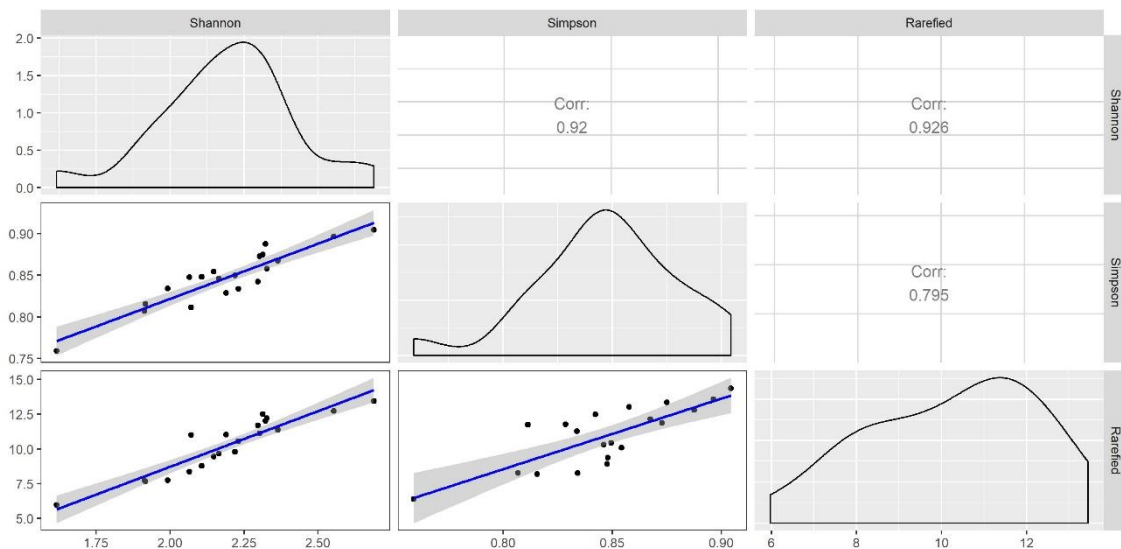
Gambar (Figure) 4. Kurva rarefaction, untuk masing-masing plot pengamatan. Angka pada plot menunjukkan urutan plot berdasarkan ketinggian dari yang terendah ke tertinggi yaitu zona submontana (1-8), montana (9-18), dan subalpine (19-26) (Rarefaction curve for each plot. The number of the line in the boxes indicated the plot location from the lowest to the highest altitude i.e. submontane (1-8), montane (9-18), and subalpine (19-26))

C. Pendugaan Nilai Indeks Rarefied Richness dari Nilai Indeks Shannon-Wiener, Simpson's, dan Kombinasinya

Penggunaan indeks Shannon-Wiener ataupun Simpson's sudah sangat umum dilakukan di Indonesia. Namun demikian, penelitian ini merekomendasikan penggunaan indeks *rarefied richness* untuk penelitian-penelitian terkait keanekaragaman pohon dengan alasan yang sudah disampaikan sebelumnya. Perbandingan keanekaragaman pohon dengan penelitian lain dengan menggunakan *rarefied richness* tanpa mendapatkan datanya tentu akan sulit dilakukan. Pilihan konversi indeks Shannon-Wiener dan Simpson's kepada *rarefied richness* bisa dijadikan alternatif jika ingin membandingkan indeks *rarefied richness* dengan indeks Shannon-Wiener ataupun Simpson's dari penelitian-penelitian sebelumnya (Beisel, Usseglio-Polatera, Bachmann, & Moreteau, 2003). Hubungan dua indeks Shannon-Wiener dan Simpson's terhadap

rarefied richness terbukti cukup signifikan dengan koefisien korelasi yang tinggi (Gambar 5, koefisien korelasi ≥ 0.8).

Dua persamaan linear yang bisa digunakan untuk mengkonversi indeks Shannon-Wiener, indeks Simpson's ataupun kombinasi keduanya menjadi indeks *rarefied richness* ditampilkan pada Tabel 3. Persamaan tersebut mampu menjelaskan sebesar 61% (menggunakan satu variabel bebas Simpson's) dan 85% (menggunakan satu variabel bebas Shannon-Wiener) dari total variasi yang dimiliki oleh kedua indeks tersebut. Dalam kasus tertentu, beberapa penelitian menghitung kedua indeks (Shannon-Wiener dan Simpson's) secara bersamaan. Oleh karenanya, kedua indeks tersebut bisa digunakan secara simultan dan berhasil meningkatkan koefisien regresi linear sebesar 1,6% dibandingkan persamaan yang hanya menggunakan indeks Shannon-Wiener atau 25,5% dibandingkan persamaan yang hanya menggunakan indeks Simpson's.



Gambar (Figure) 5. Regresi linear, distribusi data, dan koefisien korelasi antar indeks keanekaragaman pohon. Koefisien korelasi (Corr.) dihitung dengan metode Pearson. Regresi linear (garis warna biru) dengan tingkat kepercayaan 95% dihitung untuk masing-masing indeks (*Linear regressions, data distributions, and coefficients of correlation (Corr.) among tree diversity indices. Coefficients of correlation were calculated using Pearson method. Linear regression (blue solid line) with 95% confidence interval were performed among indices*)

Tabel (Table) 3. Analisis statistik regresi linear untuk mengkonversi indeks Shannon-Wiener, Simpson's dan kombinasi keduanya menjadi indeks *rarefied richness* (Statistical analysis of the linear regression for converting Shannon-Wiener, Simpson's, and combination of both indices into rarefied richness index)

Variable	Adjusted R ²	Predictor	β	Standard error	p-value
Rarefied richness	85,0%	Intersept	-7,25	1,68	<0,001
		Shannon-Wiener	7,99	0,77	<0,001
Rarefied richness	61,1%	Intersept	-30,03	7,26	<0,001
		Simpson's	47,55	8,57	<0,001
Rarefied richness	86,6%	Intersept	5,42	7,32	0,47
		Shannon-Wiener	11,01	1,85	<0,001
		Simpson's	-22,77	12,84	0,09

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian tentang penggunaan dan perbandingan tiga indeks keanekaragaman pohon di TNGGP menyimpulkan bahwa zona submontana memiliki keanekaragaman pohon yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona lainnya. Pada ketiga indeks yang digunakan, nilai keanekaragaman pohon semakin turun seiring dengan semakin tingginya lokasi penelitian dimana indeks *rarefied richness* lebih sensitif dalam menjelaskan keanekaragaman pohon pada masing-masing zona penelitian. Oleh karena itu, penggunaan indeks *rarefied richness* direkomendasikan untuk digunakan dalam analisis keanekaragaman pohon atau taksa lainnya karena lebih obyektif dalam menjelaskan keanekaragaman suatu kawasan.

Tingkat keobyektifan didapatkan melalui perhitungan *rarefied richness*, dikarenakan indeks tersebut membandingkan keanekaragamannya pada jumlah satuan individu yang sama, dan mampu menganalisis apakah individu pohon yang terinventarisasi sudah cukup representatif atau belum, dalam menghitung indeksnya. Konversi indeks Shannon-Wiener dan Simpson's terhadap indeks *rarefied richness* bisa dilakukan. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara kedua indeks tersebut ataupun kombinasinya terhadap indeks *rarefied richness*. Variasi yang dapat dijelaskan

melalui regresi linear berkisar antara 61-85% dari total variasi.

B. Saran

Penelitian ini belum mencakup perhitungan jumlah sampel (plot) minimal yang dibutuhkan dalam menghitung ketiga indeks yang digunakan. Pada dasarnya, jumlah sampel yang dibutuhkan untuk menghitung masing-masing indeks keanekaragaman adalah sama. Salah satu persamaan yang bisa digunakan dalam menghitung jumlah minimal sampel (n) mengikuti apa yang digunakan oleh Wagner *et al.* (2010) adalah $n = s^2 t_{[\alpha, n-1]}^2 / e^2$, dimana s adalah estimasi variansi indeks dari sampel yang diukur, t adalah nilai t-statistik Student's (diset pada angka 1,96), dan d adalah error yang ingin dicapai. Sebagai contoh, jika variansi sampel indeks keanekaragaman suatu komunitas hutan adalah 50% dan error yang ingin dicapai untuk menghitung indeks tertentu sebesar 20%, maka jumlah sampel yang dibutuhkan pada tingkat kepercayaan 95% adalah 24 sampel penelitian.

Kompleksitas dalam perhitungan indeks *rarefied richness* mungkin bisa menjadi alasan menghindari perhitungan indeksnya, sehingga sampai sekarang masih banyak analisis keanekaragaman pohon yang menggunakan indeks yang bersifat umum seperti Shannon-Wiener maupun Simpson's. Namun demikian,

seiring dengan perkembangan *software* untuk analisis keanekaragaman hayati, perhitungan *rarefied richness* saat ini sangat mudah dilakukan. *Software* seperti EstimateS ataupun platform R melalui *package* ‘vegan’ atau ‘rich’ saat ini tersedia secara bebas dan dapat memudahkan untuk menghitung indeks tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango atas diizinkannya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pak Rustandi, Pak Upah, Ahmad Jaeni, Dimas Ardiyanto, Avniar Noviantini, Nuri Setiawan, Mahendra Primajati, Dinna Tazkiana, Pak Sofyan, Pak Ae, dan Pak Yusuf atas bantuannya selama melakukan penelitian. Terima kasih juga disampaikan untuk Wiguna Rahman atas masukan dan kritiknya pada versi awal tulisan ini. Penelitian ini didanai melalui program kompetitif Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) tahun anggaran 2009-2011 melalui Kebun Raya Cibodas.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, B. K., Chettri, B., & Vijayan, L. (2011). Distribution pattern of trees along an elevation gradient of Eastern Himalaya, India. *Acta Oecologica*, 37(4), 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2011.03.005>
- Aiba, S., & Kitayama, K. (1999). Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology*, 140(2), 139–157. <https://doi.org/10.1023/A:1009710618040>
- Arrijani. (2006). Vegetation analysis of the upstream Cianjur watersheds in Mount Gede-Pangrango National Park's. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 7(2), 147–153. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070212>
- Arrijani. (2008). Vegetation structure and composition of the montane zone of Mount Gede Pangrango National Park. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 9(2), 134–141. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d090212>
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(5), 454–489. <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1310049>
- Beisel, J.-N., Usseglio-Polatera, P., Bachmann, V., & Moreteau, J.-C. (2003). A comparative analysis of evenness index sensitivity. *International Review of Hydrobiology*, 88(1), 3–15. <https://doi.org/10.1002/iroh.200390004>
- Boyle, B., Hopkins, N., Lu, Z., Raygoza Garay, J. A., Mozzherin, D., Rees, T., ... Enquist, B. J. (2013). The taxonomic name resolution service: An online tool for automated standardization of plant names. *BMC Bioinformatics*, 14, 16. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-16>
- Brown, J. H., Ernest, S. K. M., Parody, J. M., & Haskell, J. P. (2001). Regulation of diversity: Maintenance of species richness in changing environments. *Oecologia*, 126(3), 321–332. <https://doi.org/10.1007/s004420000536>
- Buddle, C. M., Beguin, J., Bolduc, E., Mercado, A., Sackett, T. E., Selby, R. D., ... Zeran, R. M. (2005). The importance and use of taxon sampling curves for comparative biodiversity

- research with forest arthropod assemblages. *The Canadian Entomologist*, 137(1), 120–127. <https://doi.org/10.4039/n04-040>
- Canty, A., & Ripley, B. (2019). *boot: Bootstrap R (S-Plus) function*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/boot/boot.pdf>
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- DiCiccio, T. J., & Efron, B. (1996). Bootstrap confidence intervals. *Statistical Science*, 11(3), 189–212.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Heck, K. L., van Belle, G., & Simberloff, D. (1975). Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*, 56(6), 1459–1461. <https://doi.org/10.2307/1934716>
- Hurlbert, S. H. (1971). The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4), 577–586.
- Kraft, N. J. B., Comita, L. S., Chase, J. M., Sanders, N. J., Swenson, N. G., Crist, T. O., ... Myers, J. A. (2011). Disentangling the drivers of β diversity along latitudinal and elevational gradients. *Science*, 333(6050), 1755–1758. <https://doi.org/10.1126/science.1208584>
- Lamb, E. G., Bayne, E., Holloway, G., Schieck, J., Boutin, S., Herbers, J., & Haughland, D. L. (2009). Indices for monitoring biodiversity change: Are some more effective than others? *Ecological Indicators*, 9(3), 432–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.06.001>
- Larashati, I. (2004). Plant diversity and population in Mount Kelud, East Java. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 5(2), 71–76. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d050206>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Victoria, Australia: Blackwell Science.
- Mutaqien, Z., & Zuhri, M. (2011). Establishing a long-term permanent plot in remnant fores of Cibodas Botanic Gardens, West Java. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 12(4), 218–224.
- Nobre, J. S., & Singer, J. M. (2011). Leverage analysis for linear mixed models. *Journal of Applied Statistics*, 38(5), 1063–1072. <https://doi.org/10.1080/02664761003759016>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., ... Wagner, H. (2017). *Package “vegan”: Community ecology package*. Retrieved from <https://github.com/vegandevs/vegan>
- Palmer, M. W. (1994). Variation in species richness: Towards a unification of hypotheses. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 29(4), 511. <https://doi.org/10.1007/BF02883148>
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J., & Hérault, B. (2017). biomass: An r package for estimating above-ground biomass and its

- uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9), 1163–1167. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12753>
- Rozak, A. H., & Gunawan, H. (2015). Altitudinal gradient affects on trees and stand attributes in Mount Ciremai National Park, West Java, Indonesia. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 4(2), 93–99. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2015.vol4iss2pp93-99>
- Rozak, A. H., Astutik, S., Mutaqien, Z., Widyatmoko, D., & Sulistyawati, E. (2016). Kekayaan jenis pohon di hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.20886/jphka.2016.13.1.1-14>
- Rozak, A. H., Astutik, S., Mutaqien, Z., Widyatmoko, D., & Sulistyawati, E. (2017). Hiperdominansi Jenis dan Biomassa Pohon di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Indonesia. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(1), 85–96. <https://doi.org/10.22146/jik.24903>
- Sanders, H. L. (1968). Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist*, 102(925), 243–282. <https://doi.org/10.1086/282541>
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1963). *The mathematical theory of communication*. Retrieved from <http://raley.english.ucsb.edu/wp-content/Engl800/Shannon-Weaver.pdf>
- Simberloff, D. (1972). Properties of the rarefaction diversity measurement. *The American Naturalist*, 106(949), 414–418.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- van Steenis, C. G. G. J., Hamzah, A., & Toha, M. (1972). *Mountain flora of Java* (1st ed.). Leiden, The Netherlands: E.J. Brill.
- Wagner, F., Rutishauser, E., Blanc, L., & Herault, B. (2010). Effects of plot size and census interval on descriptors of forest structure and dynamics: Assessing variability in a Neotropical forest. *Biotropica*, 42(6), 664–671. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00644.x>
- Wolda, H. (1981). Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50(3), 296–302. <https://doi.org/10.1007/BF00344966>