

Keragaman Pohon dan Nilai Ekonomi Potensi Karbon Taman Kehati Kaki Dian, Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Diah Irawati Dwi Arini¹, Julianus Kinho¹, Khaerul Amru², Mario Damanik³, Edwin Edwar Tumoka⁴, Desly R. Matitaputty⁵, dan Yermias Kafiar¹

¹Pusat Riset Zoologi Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional; e-mail: diah014@brin.go.id

²Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional

³Pusat Riset Ekonomi dan Perilaku Sirkuler, Badan Riset dan Inovasi Nasional

⁴Perkumpulan Manengkel Solidaritas, Manado, Sulawesi Utara

⁵Program Studi Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara

ABSTRAK

Pembangunan taman kehati merupakan upaya untuk mengatasi semakin meningkatnya kehilangan keanekaragaman hayati akibat aktivitas manusia seperti deforestasi, urbanisasi, maupun eksploitasi sumber daya alam. Taman Kehati Kaki Dian adalah taman keanekaragaman hayati pertama di Pulau Sulawesi, dan berlokasi di Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Pembangunan taman kehati Kaki Dian bertujuan untuk melestarikan flora dan fauna lokal, pemanfaatan jasa lingkungan serta menjaga kelestarian sumber mata air. Untuk mencapai tujuan tersebut maka data keragaman jenis-jenis vegetasi dalam hal ini pohon dan valuasi nilai serapan karbon sebagai salah satu dari dampak kehati dalam bentuk manfaat jasa lingkungan perlu untuk diketahui. Pengumpulan data pohon dilakukan dengan metode sensus pada area seluas 3,6 hektar dengan mendata seluruh pohon yang memiliki diameter diatas 20 cm. Data yang dikumpulkan berupa jenis pohon, titik koordinat pohon, diameter setinggi dada (dbh), tinggi total dan tinggi bebas cabang. Data yang diperoleh kemudian dianalisis nilai kerapatan, indeks keanekaragaman, kekayaan dan pemerataan jenis serta dihitung nilai ekonomi serapan karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa taman kehati Kaki Dian memiliki 266 individu pohon yang dikelompokkan ke dalam 70 spesies dan 28 famili. Jenis pohon dengan kerapatan tertinggi adalah *Bischofia javanica* sebesar 5,3 pohon/hektar. Berdasarkan famili, diketahui Moraceae memiliki jumlah spesies terbanyak yaitu sembilan spesies. Nilai indeks keanekaragaman sebesar 5,56 dan indeks kekayaan sebesar 12,36, keduanya dikategorikan tinggi. Nilai indeks pemerataan jenis sebesar 1,31 yang menunjukkan komunitas stabil. Nilai ekonomi potensi karbon yang dihasilkan taman kehati Kaki Dian sebesar USD 152,52 atau 42,4 per ha.

Kata kunci: Taman kehati, Kaki Dian, keragaman, pohon, karbon

ABSTRACT

The establishment of biodiversity park is an effort to address the growing concern about the loss of biodiversity and natural habitats due to human activities such as deforestation, urbanization, and over-exploitation of natural resources. Kaki Dian biodiversity park is the first biodiversity park in Sulawesi Island, located in North Minahasa Regency, North Sulawesi Province. The development of Kaki Dian biodiversity park aims to conserve flora and fauna, utilize environmental services, and maintain the sustainability of water sources. Data on the biodiversity of this area, such as vegetation types, particularly trees, and the valuation of carbon absorption as one of the benefits of environmental services, need to be known. Tree data was collected using a census method in an area of 3.6 hectares by recording all trees with a diameter above 20 cm. The collected data includes the tree species, coordinate point, diameter at breast height (dbh), total height, and free branch height. The data was then analyzed for density, diversity index, species richness, and evenness, and the economic value of carbon absorption was calculated. The results show 266 individual trees in Kaki Dian conservation park, classified into 70 species and 28 families. The species with the highest density is *Bischofia javanica*, with 5.3 trees/hectare. Based on the family, Moraceae has the most species, with nine species. The diversity index value is 5.56, and the richness index value is 12.36, both categorized as high. The evenness index value is 1.31, indicating a stable community. The potential economic value of carbon in Kaki Dian is USD 152.52 or 42.4 per hectare.

Keywords: Biodiversity Park, Kaki Dian, diversity, tree, carbon

Citation: Arini, D. I. D., Kinho, J., Amru, K., Damanik, M., Tumoka, E., Matitaputty, D. R., dan Kafiar, Y. (2024). Keragaman Pohon dan Nilai Ekonomi Potensi Karbon Taman Kehati Kaki Dian, Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(2), 421-430, doi:10.14710/jil.22.2.421-430

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki keragaman hayati serta tingkat endemisitas flora dan fauna yang sangat tinggi (Sutoyo, 2010; Widjaja *et al.*, 2014). Keanekaragaman hayati tersebut telah memberikan manfaat yang sangat penting bagi kehidupan manusia dalam bentuk pangan, kesehatan, sumber energi terbarukan serta layanan jasa ekosistem (Widjaja *et al.*, 2014). Jasa ekosistem atau jasa lingkungan adalah sesuatu yang merupakan keuntungan yang diperoleh dari alam non ekstraksi dan bukan berbentuk material misalnya hidrologi, keindahan lanskap, kesejukan, penghasil oksigen dan penyerap karbon (Soenarno, 2014).

Berbagai jenis tumbuhan baik yang ada di dalam maupun luar kawasan hutan memiliki kemampuan dalam menyerap karbondioksida melalui proses fotosintesa yang kemudian diubah menjadi karbohidrat yang disebarkan ke setiap bagian tumbuhan. Proses penimbunan karbon (C) dikenal dengan *C-sequestration*. Besarnya jumlah cadangan karbon dalam setiap bentang lahan berbeda-beda dan sangat bergantung pada keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanah serta pengelolaannya (Hairiah *et al.*, 2011; Erly *et al.*, 2019).

Meningkatkan serapan karbon terutama di wilayah perkotaan dapat dilakukan melalui berbagai cara, yang paling mudah adalah dengan memelihara dan menanam tumbuhan (Suryandri *et al.*, 2019) baik dalam bentuk hutan kota (Heriyanto & Samsudin, 2019), arboretum (Suryandri *et al.*, 2019), hutan rakyat di kawasan perkotaan (Arianasari *et al.*, 2021) dan taman keragaman hayati (Heriyanto & Gunawan, 2020). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 2012 tentang Taman Keragaman Hayati (kehati) dijelaskan bahwa taman kehati merupakan suatu kawasan pencadangan sumber daya alam hayati lokal di luar kawasan hutan yang mempunyai fungsi konservasi in-situ dan/atau ex-situ, khususnya bagi tumbuhan yang penyerbukan dan/atau pemencaran bijinya harus dibantu oleh satwa dengan struktur dan komposisi vegetasinya dapat mendukung kelestarian satwa penyerbuk dan pemencar biji.

Program taman kehati diselenggarakan untuk menyelamatkan berbagai spesies tumbuhan asli/lokal yang memiliki tingkat ancaman sangat tinggi terhadap kelestariannya atau ancaman yang mengakibatkan kepunahannya. Berdasarkan Direktorat Bina Pengelolaan Ekosistem Esensial (2015) di Indonesia terdapat kurang lebih 80 taman kehati yang sebagian besar lokasinya berada di Pulau Jawa, Sumatera dan Kalimantan. Sedangkan di Pulau Sulawesi pembangunan taman kehati menjadi sesuatu hal yang baru. Tahun 2017, Pemerintah Daerah Kabupaten Minahasa Utara dalam hal ini Dinas Lingkungan Hidup bersama-sama dengan stakeholder terkait telah berkolaborasi dalam pembangunan Taman Kehati Kaki Dian (TKKD) yang menjadi bagian dari program Pengembangan Keragaman Hayati dan Konservasi Minut Lestari. Taman Kehati Kaki Dian berada di kaki

Gunung Klabat yang merupakan gunung tertinggi di Sulawesi Utara (1.995 mdpl). Meskipun masih dalam proses penetapan sebagai taman kehati melalui Surat Keputusan Bupati Minahasa Utara, Kaki Dian sendiri telah cukup lama dikenal oleh masyarakat di Sulawesi Utara sebagai tempat wisata religi yaitu Menara Kaki Dian yang berada dalam satu kompleks dengan taman kehati.

Pembangunan taman kehati di berbagai daerah di Indonesia memiliki berbagai tujuan diantaranya konservasi keragaman hayati terutama jenis flora fauna endemik yang perlu dilestarikan, khususnya jenis-jenis tumbuhan yang endemik yang terancam punah (Gunawan & Sugiarti, 2015), selain juga berfungsi sebagai sarana pendidikan, penelitian, pengembangan ilmu pengetahuan serta ekowisata (Direktorat Bina Pengelolaan Ekosistem Esensial 2015). Pembangunan TKKD bertujuan untuk melestarikan tumbuhan lokal Sulawesi, melindungi mata air, rehabilitasi lahan, serta akan digunakan sebagai sarana pendidikan lingkungan, ekowisata dan penelitian. Taman Kehati Kaki Dian merupakan bagian dari tipe ekosistem Gunung Klabat yang terdiri atas berbagai jenis, tipe dan tingkatan vegetasi. Tipe dan tingkatan vegetasi yang menyusun ekosistem hutan memiliki peran penting diantaranya dalam memelihara kesuburan tanah serta mengatur hidro-orologis. Gunung Klabat sendiri telah lama ditetapkan statusnya sebagai hutan lindung yang memiliki fungsi utama untuk perlindungan sumber mata air (Yonas & Suwardikun, 2018). Air yang bersumber dari Gunung Klabat tersebut menjadi sumber kehidupan bagi masyarakat di Kabupaten Minahasa Utara, sebagian Kota Manado dan Kota Bitung. Selain sebagai sumber mata air, keragaman dan tingkatan vegetasi pada ekosistem tersebut juga diyakini mampu memberikan berbagai manfaat lainnya seperti sumber obat-obatan, habitat dan sumber pakan satwa, dan juga berperan dalam menyerap karbon.

Konteks taman kehati masih cukup baru bagi masyarakat di Sulawesi sehingga perlu diperkenalkan. Data-data keragaman hayati flora dan fauna serta peran penting keberadaan TKKD juga perlu untuk diketahui selain sebagai sumber informasi bagi masyarakat, data tersebut juga penting guna mendukung pembangunan dan pengembangan Kaki Dian menjadi taman kehati kedepannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh data keragaman pohon yang ada di dalam kawasan TKKD, menghitung nilai serapan karbon dan nilai ekonomi potensi serapan karbon yang dihasilkan dari pohon di TKKD sebagai gambaran dampak kehati Taman Kehati Kaki Dian Airmadidi Minahasa Utara.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada bulan Mei-Agustus 2021 di TKKD seluas 3,6 ha. Taman Kehati Kaki Dian secara administrasi masuk ke dalam Kelurahan Airmadidi Atas, Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minahasa

Utara Provinsi Sulawesi Utara dan berada pada ketinggian tempat 500-625 mdpl. Letak geografis TKKD berada pada 124°59'34,592"-124°59'38,222" BT dan 1°26'10,173" - 1°26'19,240" LS. Kondisi fisik TKKD berada pada topografi datar hingga bergelombang. Jenis tanah di lokasi ini dikategorikan kedalam jenis tanah regosol yang memiliki tekstur berpasir hingga berbutir kasar yang merupakan material dari gunung api dengan derajat keasaman tanah (pH) sebesar 6-7.

Monitoring keragaman hayati yang telah dilaksanakan sejak tahun 2018 hingga 2021 menunjukkan setidaknya terdapat delapan tipe vegetasi yang dijumpai di TKKD yaitu pohon, perdu, palem, bambu, pakis, liana, herba, dan angrek (Arini *et al.*, 2021). Keragaman vegetasi yang ada di dalamnya juga mampu mendukung keberadaan dan keberlangsungan hidup berbagai jenis satwa. Tercatat sebanyak 18 jenis burung, 22 jenis kupu-kupu, dua jenis mamalia dan satu jenis reptil ditemukan pada lokasi TKKD di tahun 2021. Berdasarkan tipe pakan jenis-jenis burung dapat dikelompokkan menjadi delapan kelompok dan didominasi oleh burung pemakan buah (27,8%) dan burung pemakan serangga di ranting (22,2%).

Jenis mamalia yang dijumpai menggunakan habitat di TKKD adalah babi hutan sulawesi (*Sus celebensis*) (Arini *et al.*, 2021), tarsius (*Tarsius spp.*) dan *Macaca nigra* atau yaki (Mantouw *et al.*, 2015; Yonas & Suwardikun, 2018) dan sebanyak 61 jenis makrofungi (Christita *et al.*, 2017). Jenis-jenis flora maupun fauna yang ada di dalam TKKD dapat menjadi informasi yang bermanfaat bagi pendidikan

lingkungan untuk mengenal flora dan fauna serta manfaatnya bagi ekosistem dan kehidupan manusia.

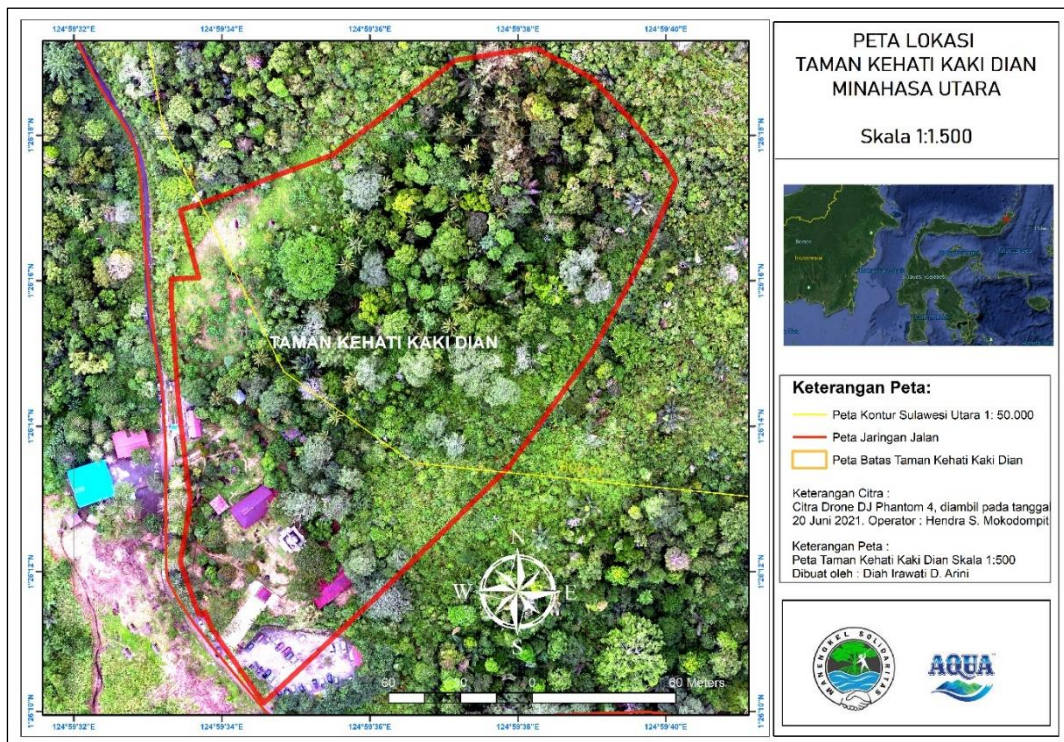
2.2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri atas data vegetasi tipe pohon yang memiliki diameter diatas 20 cm. Metode yang digunakan adalah metode sensus yaitu menginventarisasi semua pohon yang ada di dalam lokasi pengamatan seluas 3,6 ha. Data tersebut meliputi posisi pohon (latitude dan longitude), diameter pohon (cm), tinggi pohon (m), tinggi bebas cabang/TBC (m).

Pengukuran diameter batang dilakukan setinggi dada (dbh) yaitu pada ketinggian 130 cm dari atas permukaan tanah dengan menggunakan pita ukur. Tinggi pohon dan tinggi bebas cabang diukur dengan menggunakan range finder Nikon Forestry Pro II, selain itu juga dilakukan identifikasi terhadap jenis pohon. Identifikasi jenis pohon dilakukan di lapangan melalui pengamatan terhadap bentuk morfologi pohon oleh ahli bidang taksonomi tumbuhan. Data tersebut kemudian dicatat dalam lembar isian data.

2.3. Analisa Data

Analisis data mencakup nilai kerapatan pohon, nilai indeks keanekaragaman, nilai indeks kekayaan, nilai indeks kemerataan, nilai serapan dan potensi ekonomi karbon di TKKD. Kerapatan merupakan jumlah individu per unit luas atau per unit volume, atau kerapatan merupakan jumlah individu organisme per satuan ruang yang biasanya dinotasikan dengan K (Yuliantoro & Frianto, 2019).



Gambar 1 Peta lokasi Taman Kehati Kaki Dian

$$\text{Kerapatan (K)} = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis}}{\text{luas petak ukur}}$$

Keanekaragaman spesies yaitu ciri dari tingkatan komunitas berdasarkan organisasi biologinya. Keanekaragaman spesies bisa digunakan untuk menyatakan struktur komunitas dan stabilitas komunitas. Indeks keanekaragaman (H') yaitu suatu gambaran sistematis yang menunjukkan struktur komunitas sehingga akan memudahkan proses analisis informasi tentang jenis dan jumlah organisme. Keanekaragaman dalam ekosistem sangat bergantung pada banyak jenis dalam komunitasnya. Semakin banyak jenis yang ditemukan maka keanekaragaman akan semakin besar, meskipun nilainya juga dipengaruhi oleh jumlah individu masing-masing jenis. Nilai indeks keanekaragaman dihitung dengan indeks keanekaragaman jenis Shannon (H') (Soegiarto, 1994) yaitu:

$$H' = \frac{(N \ln N - \sum ni \ln ni)}{N}$$

N yaitu total individu pohon untuk semua spesies; dan ni yakni jumlah pohon untuk jenis ke- i . Kategori nilai indeks keanekaragaman yaitu 0-2 (keanekaragaman rendah); 2-3 (keanekaragaman sedang); > 3 (keanekaragaman tinggi). Indeks kekayaan dihitung dengan menggunakan rumus (Margalef, 1958) yaitu:

$$R = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

R adalah Indeks kekayaan jenis; S adalah jumlah total jenis dalam suatu habitat, N adalah jumlah total individu dalam suatu habitat. Hasilnya diklasifikasikan sebagai berikut; $R < 2,5$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang rendah; $2,5 < R < 4$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang sedang; $R > 4$ menunjukkan tingkat kekayaan jenis yang tinggi.

Struktur komunitas dihitung dari nilai indeks kemerataan antar jenis atau indeks Evenness (e) dengan rumus yang mengacu pada (Ludwig & Reynolds, 1988). S yaitu banyak jenis pada suatu tipe habitat yang diamati. Hasilnya akan dipilah menjadi $0,75 < e < 1$ artinya komunitas stabil, $0,5 < e < 0,75$ artinya komunitas labil, dan $0 < e < 0,5$ artinya komunitas tertekan. Rumus indeks kemerataan jenis:

$$e = \frac{H'}{\ln S}$$

Pendugaan nilai serapan karbon TKKD dianalisis dengan menghitung volume pohon dengan diameter diatas 20 cm dan potensi penyerapan gas rumah kaca menggunakan persamaan-persamaan (Heriyanto *et al.*, 2019):

$$V = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times T \times f$$

V adalah volume pohon (m^3), D yaitu diameter batang (m), T yaitu tinggi (m) dan f yaitu angka bentuk (0,6).

Kandungan karbon tegakan (C), dihitung dengan menggunakan formula dari International Panel on Climate Change (Heriyanto & Gunawan, 2020):

$$C = V \cdot D \cdot CF$$

C adalah kandungan karbon, V adalah volume pohon (m^3), D adalah berat jenis kayu (gr/cm^3), dan CF adalah fraksi karbon dari biomassa (0,5).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Keragaman Jenis Pohon

Keberadaan taman kehati dinilai bisa memberikan berbagai manfaat diantaranya sebagai sarana pembelajaran, wisata, pendidikan, dan meningkatkan kesadaran cinta lingkungan, tempat melestarikan jenis-jenis lokal yang terancam punah dan habitat satwa, meningkatkan kualitas lingkungan dan kinerja bagi pemerintah pusat maupun daerah, bagi perusahaan keberadaan taman kehati menjadi upaya untuk memperoleh proper atau penghargaan (Gunawan *et al.*, 2019).

Berdasarkan identifikasiutupan lahan tahun 2021, TKKD memiliki tipeutupan lahan diantaranya hutan sekunder yang terdiri atas vegetasi pohon yang tumbuh alami yaitu sebesar 60%, tipeutupan lahan berupa taman bunga dan areal penanaman atau rehabilitasi masing-masing sebesar 9%, dan sisanya berupa lahan terbangun penunjang wisata religi Menara Kaki Dian (Arini *et al.*, 2021). Identifikasi jenis pohon berdiameter diatas 20 cm menunjukkan terdapat 266 individu dan dikelompokkan ke dalam 70 spesies dan 28 famili (Tabel 1). Jenis-jenis tersebut ada yang tumbuh secara alami maupun ditanam. Jenis-jenis pohon yang tumbuh alami diantaranya nantu (*Palaquium sp.*), pakoba (*Syzygium luzonense*), pulai (*Alstonia spp.*), mengkirai (*Trema orientalis*), gadog (*Bischofia javanica*), kenanga (*Canarium odorata*), kenari (*Canarium indicum*) dan berbagai spesies *Ficus* (*Ficus spp.*), sedangkan jenis-jenis pohon yang ditanam diantaranya cempaka (*Magnolia spp.*), jati putih (*Gmelina arborea*), eboni (*Diospyros spp.*) dan berbagai jenis pohon penghasil buah-buahan seperti sirsak (*Annona muricata*) (Arini *et al.*, 2021). Berdasarkan pengelompokan menurut famili, diketahui Moraceae merupakan famili yang memiliki jumlah spesies tertinggi di TKKD yaitu sebanyak sembilan spesies, selanjutnya Apocynaceae sebanyak enam jenis, Fabaceae dan Sapotaceae masing-masing lima jenis, Dipterocarpaceae, Lauraceae dan Malvaceae masing-masing empat jenis (Tabel 1). Famili Moraceae yang dijumpai di TKKD adalah genus *Ficus* dan *Artocarpus*. *Ficus* diperkirakan memiliki 600-1.000 spesies yang tersebar di seluruh dunia, namun jenisnya lebih banyak ditemukan di daerah-daerah tropis dan sebagian di Indo-Malesia. *Ficus* banyak tumbuh di hutan dataran rendah sampai dataran tinggi hingga daerah-daerah terbuka. *Ficus* memiliki karakteristik unik yaitu buah yang muncul di

batang atau dikenal dengan cauliflori. Buah *Ficus* juga sangat digemari sebagai pakan satwa mamalia di hutan seperti babi hutan Sulawesi (*S. celebensis*), tikus hutan (*Maxomys* spp.), dan yaki (*M. nigra*). Beberapa jenis *Ficus* telah diketahui manfaatnya seperti sebagai bahan pangan dan obat-obatan (Nur'aini *et al.*, 2013).

Kerapatan tertinggi (Tabel 1) untuk vegetasi tipe pohon di TKKD adalah jenis *Bischofia javanica* sebesar 5,28 pohon/ha, diikuti *Gmelina arborea* dan *Pongamia pinnata* masing-masing sebesar 5,00 pohon/ha. *Bischofia javanica* atau dikenal dengan nama lokal gadog atau gintung di Indonesia, digolongkan dalam famili Phyllanthaceae. Spesies ini memiliki sebaran yang sangat luas termasuk di Indonesia spesies ini dapat dijumpai dari Sumatera hingga Papua dari dataran rendah hingga ke ekosistem pegunungan.

B. javanica memiliki banyak manfaat. Beberapa manfaat dari *B. javanica* yaitu kayunya dapat digunakan sebagai bahan bangunan rumah, papan lantai, kayu lapis dan kertas. Kulit kayunya juga bermanfaat sebagai zat penyamak yang berguna sebagai bahan pewarna rotan maupun bambu (Gunawan *et al.*, 2019), daun, buah dan biji nya berpotensi sebagai bahan pangan (Lepcha *et al.*, 2013; Rai *et al.*, 2013; Gunawan *et al.*, 2019).

Pemanfaatan secara tradisional oleh masyarakat di Sikkam Himalaya menunjukkan bahwa semua bagian pohon spesies *B. javanica* memiliki banyak manfaat mulai dari buahnya yang bisa dikonsumsi dan digunakan sebagai bahan pewarna kain, daunnya juga memiliki manfaat untuk mengobati penyakit diare dan sebagai anti tussive, cabang atau ranting selain dimanfaatkan sebagai kayu bakar juga berguna dalam penyembuhan sakit diare (Rajbongshi *et al.*, 2014).



Gambar 2 Vegetasi di TKKD (A. Daun *B. javanica*; B. Batang *B. javanica*; C. Tegakan *G. arborea*)

Gmelina arborea atau jati putih adalah salah satu jenis tumbuhan yang diintroduksi di TKKD. Spesies ini ditanam selain karena pertumbuhannya yang tergolong cepat (Sandalayuk *et al.*, 2018), memiliki daya tahan tinggi terhadap kekeringan juga memiliki persen hidup yang cukup tinggi pasca terjadinya kebakaran hutan dan lahan (Pamungkas *et al.*, 2015) sehingga spesies ini sangat cocok ditanam pada lahan-lahan kritis terutama pada ketinggian 0-700 mdpl (Sandalayuk *et al.*, 2018). Tujuan penanaman *G. arborea* di TKKD salah satunya adalah untuk rehabilitasi lahan dan penanggulangan kebakaran hutan. Kejadian kebakaran hutan sering melanda area Gunung Klabat pada saat musim kemarau panjang. Pemicu terjadinya kebakaran hutan dan lahan ini adalah masih maraknya pembukaan lahan dengan sistem lahan berpindah. Lahan-lahan yang sudah tidak produktif hanya ditinggalkan sehingga banyak ditumbuhi oleh alang-alang (*Imperata cylindrica*). Penumpukan maupun akumulasi serasah dan panas akan sangat mempengaruhi perilaku api dalam terjadinya kebakaran (Zulkifli *et al.*, 2017).

Jenis pohon yang dijumpai di TKKD dengan kerapatan tinggi lainnya yaitu *Pongamia pinnata*. *P. pinnata* digolongkan ke dalam famili Fabacea yang juga diketahui sebagai pohon yang memiliki banyak manfaat diantaranya berpotensi sebagai sumber bahan baku biodiesel (Aminah *et al.*, 2017), dan bahan baku obat-obatan (Rahul *et al.*, 2011; Al Muqarrabun *et al.*, 2013;). Distribusi *P. pinnata* dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi seperti biologis, iklim dan sejarah. Distribusi *P. pinnata* dan produksi minyak yang dihasilkan diketahui memiliki nilai lebih tinggi pada akses pertengahan ketinggian, hal ini dimungkinkan karena pada pertengahan ketinggian memiliki kelembaban dan ketersediaan sumberdaya yang optimal (Sunil *et al.*, 2012). Pulau darat (*Alstonia angustiloba*) merupakan salah satu jenis dari famili Apocynaceae yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Mashudi & Susanto, 2016). *A. angustiloba* berpotensi untuk dikembangkan sebagai hutan tanaman dan memiliki manfaat sebagai bahan baku obat (Santoso *et al.*, 2015).

Selain Pulau darat, dijumpai juga jenis pohon *Trema orientalis* atau dikenal dengan nama lokal mengkirai, ruku di di Sulawesi Utara atau kurai di Jawa Barat diketahui memiliki distribusi yang luas bahkan di berbagai zona ketinggian seperti pada ketinggian 1.000-3.000 mdpl di Gunung Galunggung, Tasikmalaya (Suryana *et al.*, 2018). Pohon ini termasuk jenis pohon pionir serta memiliki berbagai manfaat seperti tumbuhan obat (Adinortey *et al.*, 2013), selain itu pohon ruku juga dimanfaatkan oleh beberapa spesies sebagai pakan dan pohon tidur bagi satwa endemik Sulawesi yaitu *M. nigra* (Lengkon, 2011).

Tabel 1. Daftar jenis pohon berdiameter diatas 20 cm, kerapatan, diameter rata-rata dan tinggi rata-rata

No	Famili	Jenis	Jumlah individu	Kerapatan (ind/ha)	Diameter rata-rata (m)	Tinggi rata-rata (m)		
1	Apocyanaceae	1 <i>Alstonia angustifolia</i>	1	0,28	0,28	25,00		
		2 <i>Alstonia angustiloba</i>	17	4,72	0,28	18,82		
		3 <i>Alstonia spectabilis</i>	5	1,39	0,30	17,60		
		4 <i>Alstonia macrophylla</i>	1	0,28	0,26	17,00		
		5 <i>Alstonia scholaris</i>	1	0,28	0,26	17,00		
2	Actinidiaceae	6 <i>Saurauia tristyla</i>	8	2,22	0,24	11,63		
3	Primulaceae	7 <i>Ardisia sp.</i>	2	0,56	0,34	9,50		
4	Moraceae	8 <i>Artocarpus integra</i>	3	0,83	0,28	12,67		
		9 <i>Ficus fistulosa</i>	2	0,56	0,25	9,50		
		10 <i>Ficus sp1.</i>	3	0,83	0,68	18,00		
		11 <i>Ficus sp3.</i>	1	0,28	0,81	25,00		
		12 <i>Ficus sp4.</i>	1	0,28	0,40	12,00		
		13 <i>Ficus sp5.</i>	1	0,28	0,28	13,00		
		14 <i>Ficus sp6.</i>	1	0,28	0,37	13,00		
		15 <i>Ficus annulata</i>	3	0,83	0,29	11,00		
		16 <i>Ficus septica</i>	1	0,28	0,24	4,00		
		5	Lecythidaceae	17 <i>Barringtonia sp.</i>	1	0,28	0,26	7,00
		6	Phyllanthaceae	18 <i>Bischofia javanica</i>	19	5,28	0,39	14,00
		7	Annonaceae	19 <i>Cananga odorata</i>	8	2,22	0,49	20,75
				20 <i>Sacopetalum sp.</i>	1	0,28	0,27	13,00
		8	Burseraceae	21 <i>Canarium indicum</i>	1	0,28	0,20	14,00
		9	Malvaceae	22 <i>Durio zibethinus</i>	1	0,28	0,61	25,00
23 <i>Pterospermum celebicum</i>	1			0,28	0,25	13,00		
24 <i>Pterospermum javanicum</i>	1			0,28	0,49	18,00		
25 <i>Pterygota horsfieldii</i>	1			0,28	0,48	15,00		
10	Lauraceae			26 <i>Cryptocarya sp.</i>	11	3,06	0,34	11,55
11	Anacardiaceae	27 <i>Cryptocarya bicolor</i>	2	0,56	0,24	13,50		
		28 <i>Litsea albayana</i>	4	1,11	0,34	17,00		
		29 <i>Litsea sp.</i>	6	1,67	0,38	21,33		
		30 <i>Dracontomelon mangiferum</i>	3	0,83	0,42	19,00		
12	Fabaceae	31 <i>Dracontomelon dao</i>	2	0,56	0,45	15,50		
		32 <i>Mangifera odorata</i>	6	1,67	0,45	14,33		
		33 <i>Erythrina sp.</i>	1	0,28	0,20	6,00		
13	Myristicaceae	34 <i>Erythrina subumbrans</i>	8	2,22	0,37	16,25		
		35 <i>Piscidia piscipula</i>	4	1,11	0,29	19,00		
		36 <i>Pongamia pinnata</i>	18	5,00	0,30	15,83		
		37 <i>Samanea saman</i>	5	1,39	0,34	9,20		
		38 <i>Horsfieldia irya</i>	1	0,28	0,24	8,00		
14	Rutaceae	39 <i>Knema sp1.</i>	1	0,28	0,21	8,50		
		40 <i>Gymnacranthera paniculata</i>	2	0,56	0,21	17,50		
		41 <i>Myristica fatua</i>	3	0,83	0,21	8,33		
15	Sapotaceae	42 <i>Flindersia sp.</i>	1	0,28	0,52	15,00		
		43 <i>Ganua kingiana</i>	2	0,56	0,46	20,00		
		44 <i>Palaquium obtusifolium</i>	5	1,39	0,40	20,20		
		45 <i>Palaquium obovatum</i>	3	0,83	0,48	22,33		
		46 <i>Palaquium dasyphyllum</i>	1	0,28	0,35	12,00		
16	Lamiaceae	47 <i>Planchonella sp.</i>	2	0,56	0,34	10,00		
		48 <i>Gmelina arborea</i>	18	5,00	0,35	12,22		
		49 <i>Vitex pubescens</i>	1	0,28	0,25	12,00		
17	Euphorbiaceae	50 <i>Vitex sp.</i>	17	4,72	0,28	9,32		
		51 <i>Homalanthus populneus</i>	1	0,28	0,22	7,00		
		52 <i>Melanolepis multiglandulosa</i>	1	0,28	0,25	8,00		
18	Salicaceae	53 <i>Homalium foetidum</i>	1	0,28	0,29	13,00		
19	Myrtaceae	54 <i>Eugenia sp.</i>	2	0,56	0,28	13,00		
		55 <i>Syzygium luzonense</i>	3	0,83	0,39	16,33		
		56 <i>Syzygium malaccense</i>	1	0,28	0,20	11,00		
20	Rubiaceae	57 <i>Mastixiodendron pachyclados</i>	1	0,28	0,66	18,00		
21	Melastomataceae	58 <i>Melastoma sp.</i>	1	0,28	0,25	14,00		
22	Araliaceae	59 <i>Polyscias sp.</i>	1	0,28	0,54	20,00		
23	Dipterocarpaceae	60 <i>Anisoptera thurifera</i>	3	0,83	0,30	15,00		
		61 <i>Anisoptera sp.</i>	3	0,83	0,25	15,00		
		62 <i>Shorea sp.</i>	1	0,28	0,23	14,00		
		63 <i>Shorea assamica</i>	1	0,28	0,22	14,00		
		24	Bignoniaceae	64 <i>Spathodea campanulata</i>	9	2,50	0,46	11,22
25	Urticaceae	65 <i>Laportea pterostigma</i>	2	0,56	0,21	9,00		
		66 <i>Leucosyke capitellata</i>	1	0,28	0,20	8,00		
		67 <i>Villebrunea rubescens</i>	3	0,83	0,24	8,00		
26	Combretaceae	68 <i>Terminalia celebica</i>	1	0,28	0,37	14,00		
27	Cannabaceae	69 <i>Trema orientalis</i>	17	4,72	0,55	17,41		
28	Meliaceae	70 <i>Melia azadirachta</i>	1	0,28	0,27	12,00		

Sumber: data primer

Tabel 3. Sepuluh Jenis pohon dengan serapan karbon (C) tertinggi di TKKD

No	Jenis Pohon	Famili	Biomassa Total (ton)	Kandungan karbon (ton C)
1	<i>Trema orientalis</i>	Cannabaceae	17,8	8,9
2	<i>Bischofia javanica</i>	Phyllanthaceae	17,4	8,7
3	<i>Pongamia pinnata</i>	Fabaceae	8,4	4,2
4	<i>Cananga odorata</i>	Annonaceae	6,9	3,4
5	<i>Mangifera odorata</i>	Anacardiaceae	6,8	3,4
6	<i>Ficus sp1.</i>	Moraceae	6,4	3,2
7	<i>Gmelina arborea</i>	Lamiaceae	6,0	3,0
8	<i>Alstonia angustiloba</i>	Apocyanaceae	5,6	2,8
9	<i>Palaquium obtusifolium</i>	Sapotaceae	5,3	2,7
10	<i>Cryptocarya sp.</i>	Lauraceae	4,8	2,4

Syzygium luzonense atau dikenal dengan nama lokal pakoba atau pakewa di Sulawesi Utara. Pohon ini adalah salah satu jenis pohon lokal penghasil buah di Sulawesi Utara yang masuk ke dalam famili Myrtaceae namun saat ini sudah sangat sulit dijumpai pohonnya. Buah pakoba memiliki rasa yang sangat asam dan sering dijadikan produk lokal seperti manisan, asinan dan dodol yang merupakan makanan tradisional khas Minahasa (Pangemanan *et al.*, 2019). Selain buahnya, pakoba juga banyak dimanfaatkan masyarakat di Minahasa sebagai obat tradisional yaitu penurun gula darah dan asam urat melalui pemanfaatan kulit batangnya (Hidayah *et al.*, 2017). Selain dapat ditemukan secara alami di Kaki Dian, jenis ini juga ditanam di TKKD di area buah-buahan sebagai upaya untuk melestarikan pohon lokal di Sulawesi Utara.

Nilai indeks keanekaragaman dan kekayaan jenis pohon di TKKD diklasifikasikan ke dalam kategori tinggi, dan indeks pemerataan menunjukkan bahwa komunitas stabil (Tabel 2). Tingginya nilai indeks keanekaragaman maupun kekayaan jenis dipengaruhi oleh beraneka ragamannya jenis pohon yang tumbuh dan sebagian besar adalah jenis vegetasi hutan sekunder yang tumbuh secara alami. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi pohon di TKKD cukup berbeda dari hasil penelitian Pontoh (2010) yang menunjukkan pada ketinggian 525-1528 m dpl jenis vegetasi dominan yang dijumpai di Gunung Klabat diantaranya berasal dari famili Annonaceae, Euphorbiaceae, Rutaceae, dan Sapotaceae. Perbedaan komposisi jenis pohon ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kisaran ketinggian tempat dalam pengambilan data dan dari hasil penelitian ini menunjukkan Gunung Klabat memiliki keragaman vegetasi yang tinggi.

Tabel 2. Nilai indeks keanekaragaman, kekayaan dan pemerataan jenis pohon di TKKD

Indeks	Nilai	Kategori
Keanekaragaman (H')	5,563	tinggi
Kekayaan (R)	12,358	tinggi
Kemerataan (e)	1,309	Komunitas stabil

Beberapa jenis pohon yang tumbuh di TKKD diketahui memiliki manfaat penting tidak hanya sebagai penunjang kehidupan satwa liar namun juga bagi kehidupan manusia diantaranya pemanfaatan bagian tumbuhan sebagai bahan baku obat-obatan, biodiesel, pewarna pakaian dan sebagainya. Berdasarkan status konservasi IUCN, dari 70 jenis

pohon di TKKD terdapat dua jenis pohon yang statusnya rentan (*vulnerable*) yaitu *Anisoptera thurifera* dan *Swietenia macrophylla*. Suatu takson dinyatakan dalam status rentan jika populasi diperkirakan kurang dari 1.000 individu dewasa atau memiliki jumlah dan luas area habitat yang sangat terbatas. Keberadaan spesies tumbuhan terancam punah yang dijumpai di TKKD menunjukkan bahwa kawasan ini penting untuk dijaga kelestariannya dan juga perlunya upaya konservasi untuk jenis jenis terancam punah baik secara *in-situ* maupun *ex-situ*.

3.2. Nilai Serapan Karbon

Kompleksitas berbagai tipe vegetasi yang tumbuh mampu memberikan dampak kehati tidak hanya kehadiran berbagai jenis fauna namun juga sebagai penghasil oksigen, mencegah longsor, penyimpanan air, pengendali iklim mikro (Azmi *et al.*, 2018) dan bentuk simpanan karbon (Heriyanto & Gunawan, 2020). Perubahan iklim sudah menjadi bencana baru bagi umat manusia. Pemanasan global adalah salah satu bentuk perubahan iklim yang terjadi karena peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) seperti CO₂ di atmosfer. Mengurangi pelepasan CO₂ ke udara adalah salah satu upaya untuk menurunkan konsentrasi GRK (emisi) di atmosfer sehingga, jumlah CO₂ di udara harus dikendalikan dengan meningkatkan jumlah serapan CO₂ oleh tanaman sebanyak mungkin dan menekan pelepasan emisi serendah mungkin.

Penilaian cadangan karbon di suatu kawasan hutan selain untuk menentukan nilai ekonomi cadangan karbon yang terdapat di kawasan hutan itu, juga berkaitan dengan mekanisme REDD+ yang merupakan kesepakatan internasional dalam pengurangan emisi atau deforestasi, jumlah kredit karbon yang didapat dalam waktu tertentu bisa dijual di pasar karbon internasional (CIFOR, 2010). Mekanisme REDD+ dipilih sebagai opsi yang menawarkan konsep baru upaya konservasi hutan dengan adanya insentif ekonomi atas besarnya karbon yang mampu dijaga searah dengan lestariannya hutan atau lahan gambut (Wicaksono, 2013).

Pengukuran biomassa dan kandungan karbon dapat dilakukan di tingkat global atau kawasan untuk semua yang hidup diatas dan dibawah permukaan pohon seperti semak, palem, tumbuhan menjalar, liana dan epipit. Jumlah karbon pada ekosistem dapat

dilakukan pada tiga komponen pokok yaitu biomassa, nekromassa, dan bahan organik tanah. Potensi karbon TKKD dihitung menggunakan data diameter dan tinggi diperoleh dari data lapangan dan data berat jenis pohon diperoleh dari data sekunder melalui website ICRAF <http://db.worldagroforestry.org//wd>.

Hasil penghitungan menunjukkan jenis pohon yang menghasilkan serapan karbon terbesar adalah jenis *Trema orientalis* sebesar 8,9 ton C dengan jumlah pohon sebanyak 17 pohon, kemudian *Bischofia javanica* sebesar 8,7 ton C dengan jumlah pohon sebanyak 18 pohon. Besarnya nilai karbon sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kerapatan (Arianasari *et al.*, 2018), umur, dimensi (tinggi dan diameter) dan berat jenis kayu.

Nilai total biomassa dan kandungan karbon di TKKD diperoleh sebesar 152,57 ton dan 76,29 ton C. Potensi biomassa dan karbon sebesar 42,38 ton/ha atau 21,20 ton C/ha. Potensi ini akan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan pohon dan jika setiap tingkatan pohon maupun vegetasi lainnya termasuk jenis-jenis pohon rehabilitasi yang ditanam dimasukkan dalam perhitungan potensi karbon tentu akan menghasilkan potensi karbon yang lebih besar. Perbandingan potensi karbon TKKD dengan beberapa taman kehati atau ruang terbuka hijau di Indonesia diantaranya Taman Kehati Bumi Patra Indramayu Jawa Barat dengan luasan 19,30 ha menghasilkan serapan karbon sebesar 3,2 ton C/ha (Heriyanto & Gunawan, 2020), Taman Patih Galung PT. Perta-Samtan Gas seluas 4,6 ha memiliki simpanan total biomassa sebesar 106,284 ton/ha, sedangkan kandungan karbon sebesar 48,891 ton C/ha untuk tingkat pohon dan tiang (Trisakti Sustainability Center, 2019).

World Bank Group (2020) mengestimasi bahwa di tahun 2030 harga karbon di pasar Internasional diproyeksikan mencapai US\$ 50-100/ ton C, harga ini merupakan harga efektif di dalam perdagangan karbon guna menurunkan emisi gas rumah kaca secara global, namun World Bank Group (2020) menyatakan bahwa hingga saat ini harga rata-rata karbon di seluruh dunia hanya US\$ 2/ ton C. Harga karbon di setiap negara ditentukan kondisi lokal di masing-masing negara seperti kebijakan mengenai penanganan iklim dan juga kemajuan teknologi.

Merujuk pada harga rata-rata karbon dunia saat ini yakni US\$ 2/ton C maka dapat dikatakan potensi nilai ekonomi karbon yang ada di TKKD dari hasil perhitungan berdasarkan data pohon berdiameter diatas 20 cm adalah sebesar USD 152,52 (dari 76,29 ton C), sedangkan potensi per hektar nilai karbon dari total nilai karbon per hektar adalah USD 42,4 (dari 21,20 ton C/ha). Nilai ekonomi dari cadangan karbon di TKKD ini masih berpotensi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan nilai karbon yang diestimasi oleh World Bank Group (2020) yakni US\$ 50-100/ ton C di 2030. Kenaikan nilai ekonomi cadangan karbon juga diprediksi meningkat seiring dengan peningkatan cadangan karbon di TKKD itu sendiri.

428

4. Kesimpulan

Keragaman pohon di Taman Kehati Kaki Dian (TKKD) menunjukkan keragaman jenis yang tinggi. Pohon yang memiliki kerapatan tertinggi adalah spesies *B. Javanica*. Berdasarkan famili, Moraceae memiliki jumlah spesies tertinggi yang dijumpai di lokasi penelitian yaitu sebanyak sembilan spesies. Keberadaan dan keragaman berbagai jenis pohon ini selain memiliki nilai dan manfaat juga mampu menghasilkan serapan karbon sebesar 76,29 ton C atau sebesar US\$ 42,4 per ha. Penghitungan nilai stok karbon di TKKD perlu dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih akurat sehingga sangat dibutuhkan penelitian lebih lanjut guna diperolehnya nilai valuasi karbon yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinortey, M.B., Galyuon, I., and Asamoah, N.O., 2013. *Trema orientalis* Linn. Blume: A potential for prospecting for drugs for various uses. *Pharmacognosy Reviews* 7(13):67–72. DOI: 10.4103/0973-7847.112852.
- Al Muqarrabun, L.M.R., Ahmat, N., Ruzaina, S.A.S., Ismail, N.H., dan Sahidin, I., 2013. Medicinal uses, phytochemistry and pharmacology of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre: A review. *Journal of Ethnopharmacology* 150:395–420. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jep.2013.08.041.
- Aminah, A., Supriyanto., Siregar, I., dan Suryani, A., 2017. Kandungan minyak malapari (*Pongamia pinnata*) dari Pulau Jawa sebagai bahan baku biodiesel. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 35(4):255–262.
- Arianasari, V., Safe'i, R., Darmawan, A., dan Kaskoyo, H., 2021. Estimasi simpanan karbon di atas permukaan tanah pada hutan rakyat di kawasan perkotaan, Kota bandar Lampung, Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 15(2):174–184. DOI: 10.22146/jik.v15i2.1537.
- Arini, D.I.D., Kinho, J., Halawane, J., Matitaputty, D.R., dan Mokodompit, H. 2021. Keanekaragaman hayati taman kehati Kaki Dian Airmadidi. Cetakan I. IPB Press, Bogor.
- Azmi, M.N., Rushayati, S.B., dan Gunawan, H., 2018. Peran taman kehati Mekarsari dalam mengantisipasi kenaikan suhu permukaan di Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 15(2):111–124.
- Christita, M., Arini, D.I.D., Kinho, J., Halawane, J.E., Kafiar, J., dan Diwi, M.S., 2017. Keragaman dan Potensi Makrofungi di Obyek Ekowisata Kaki Dian, Gunung Klabat-Minahasa Utara. *Jurnal Mikologi* 1(2):28–37.
- Direktorat Bina Pengelolaan Ekosistem Esensial., 2015. Profil Lokasi Taman Kehati. Direktorat Bina Pengelolaan Ekosistem Esensial, Dirjen Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistem, KLHK, Jakarta.
- Erly, H., Wulandari, C., Safe'i, R., Kaskoyo, H., dan Winarno, G.D., 2019. Species Diversity of Trees and Carbon Stock in Resort Pemerihan, Bukit Barisan Selatan National Park. *Jurnal Sylva Lestari* 7:139.
- Gunawan, H., dan Sugiarti., 2015. Keanekaragaman fauna Taman Kehati Mekarsari , Sukabumi , Jawa Barat. Pages 1821–1827 in Setyawan AD *et al.*, editors. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat*

- Arini, D. I. D., Kinho, J., Amru, K., Damanik, M., Tumoka, E., Matitaputty, D. R., dan Kafiar, Y. (2024). Keragaman Pohon dan Nilai Ekonomi Potensi Karbon Taman Kehati Kaki Dian, Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 421-430, doi:10.14710/jil.22.2.421-430
- Biodiversitas Indonesia. Masyarakat Biodiversitas Indonesia.
- Gunawan, H., Sugiarti, Wardani, M., dan Mindawati, N., 2019. 100 Spesies Pohon Nusantara: Target Konservasi Ex Situ Taman Keanekaragaman Hayati. Page (Partomiharjo T, editor), 1st edition. IPB Press, Bogor.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R., dan Rahayu, S., 2011. Pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang lahan. World Agroforestry Center, ICRAF Sea Regional Office and Universitas Brawijaya, Bogor.
- Heriyanto, N.M., dan Samsodin, I., 2019. Struktur Tegakan dan Stok Karbon di Ruang Terbuka Hijau PT Toyota Motor Manufacturing di Sunter dan Karawang. *Buletin Kebun Raya* 22:59-66.
- Heriyanto, N.M., Samsodin, I., dan Bismark, M., 2019. Keanekaragaman Hayati Flora dan Fauna di Kawasan Hutan Bukit Datuk Dumai Provinsi Riau Biodiversity Flora and Fauna in the Region Forest Bukit Datuk Dumai Riau Province. *Jurnal Sylva Lestari* ISSN 7:82-94.
- Heriyanto, N., dan Gunawan, H., 2020. Keanekaragaman Jenis Pohon Dan Potensi Serapan Karbon Taman Kehati Bumi Patra, Indramayu, Jawa Barat. *Buletin Kebun Raya* 23(2):210-219.
- Hidayah, H.N., Irawan, A., dan Anggraini, I., 2017. Serangan Ulat Jengkal (*Hyposidra talaca* Wlk.) Pada Bibit Pakoba (*Syzygium luzonense* (Merr.) Merr.) Di Persemaian. *Agrologia* 6(1):37-43.
- Lengkong, H.J., 2011. Laju degradasi habitat monyet hitam sulawesi (*Macaca nigra*) di Cagar Alam gunung Duasudara Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Sains* 11(1):31-35.
- Lepcha, L., Roy, S., Basistha, B., Sharma, N., Subba, K., and Gurung, R., 2013. Medicinal value and microbial VAM incidence analysis of *Bischifia javanica* Blume in Sikkim Himalaya, India. *The Journal of Ethnobiology and Traditional Medicine* 120:650-655.
- Ludwig, J., and Reynolds, J., 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub, New York.
- Mantouw, M., Saroyo., Rumende, R.R.H., dan Koneri, R., 2015. Densitas Tangkasi (*Tarsius spectrum*) pada Elevasi yang Berbeda di Gunung Klabat, Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Sains* 15(1):66-69.
- Margalef, R., 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton. Page Parasitology of Fishes. Available from <https://sci-hub.tw/10.1002/jroh.19620470121>.
- Mashudi, S.M. 2016. Evaluasi keturunan pulai darat (*Alstonia angustiloba* Miq.) umur tiga tahun di Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* 10(2):83-94.
- Nur'aini., Syamsuardi., and Arbain, A., 2013. *Ficus* L. plants (Moraceae) in the forest conservation Prof. Soemitro Djojohadikusumo, PT. Tidar Kerinci Agung (TKA), West Sumatera. *Jurnal Biologi Universitas Andalas* 2:235-241.
- Pamungkas, D., Eiichiro, N., Ohta, S., Kurniawan, H., Yuana, R., Prasetyo, N.A, dan Umroni, A. 2015. Daya Adaptasi Spesies Tanaman Rehabilitasi Terhadap Kebakaran Di Kabupaten Kupang. Pages 234-245 *Biodiversitas Savana Nusa Tenggara*. Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kupang, Kupang.
- Pangemanan, E.F.S., Tasirin, J.S., dan Saroinsong, F.B., 2019. Keragaman genetik pakoba: Studi pendahuluan keanekaragaman pakoba Pakoba genetic diversity. Pages 286-293 *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*.
- Pontoh, G.B.A., 2010. Analisis Vegetasi Tingkat Pohon di Hutan Lindung Gunung Klabat Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Available from <http://geonalpontoh.blogspot.com/2010/12/analisis-vegetasi-tingkat-pohon-di.html#comments> (accessed January 15, 2022).
- Rahul, D.Y., Jain, S., Alok, S., Prajapati, S., and Verma A., 2011. *Pongamia Pinnata*: An Overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 2:494-500.
- Rai, I., Bachheti, R.K., and Joshi, A., 2013. Chemical composition, mineral and nutritional value of wild *Bischofia javanica* seed. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 4:1747-1751.
- Rajbongshi, P., Zaman, M.K., Boruah, S., and Das S. 2014. A review on traditional use and phytopharmacological potential of *Bischofia javanica* blume. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 24:24-29.
- Sandalayuk, D., Simarankir, B.D.A., Lahajie, A., dan Ruslim, Y., 2018. Analisis pertumbuhan *Gmelina (Gmelina arborea)* dan Mahoni (*Swietenia macrophylla*) di Gorontalo. *Gorontalo Journal of Forestry Research* 1(1):1-7
- Santoso, P., Rusmana., dan Yuwati, T., 2015. Persiapan Lahan Dan Pola Pertumbuhan pada Tanaman Pulau (*Alstonia angustiloba* Miq). *Galam* 1(2):37-46.
- Soegiarto, A., 1994. *Metode Analisis Populasi dan Komunitas, Ekologi Kuantitatif*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Soenarno, S.M., 2014. Pembelajaran materi jasa lingkungan. *Jurnal Formatif* 4:150-156.
- Sunil, N., Kumar, V., Sivaraj, N., Abraham, B., Panwar, N.S., and Varaprasad, K.S., 2012. Identification of areas of diversity and distribution of *Pongamia* based on altitude and seed traits. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 82:489-493.
- Suryana, S., Parikesit, P.P., dan Iskandar, J.I., 2018. Struktur Vegetasi Kawasan Hutan Pada Zona Ketinggian Berbeda di Kawasan Gunung Galunggung Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 16(2):130-135.
- Suryandri, P., Astiani, D., dan Dewantara, I., 2019. Pendugaan karbon tersimpan pada tegakan di Kawasan Arboretum Sylva Universitas Tanjungpura. *Jurnal Hutan Lestari* 7:114-122.
- Sutoyo. 2010. Keanekaragaman hayati Indonesia Suatu Tinjauan : Masalah dan Pemecahannya. *Buana Sains* 10:101-106.
- Trisakti Sustainability Center. 2019. Laporan monitoring dan evaluasi program perlindungan keanekaragaman hayati Indonesia Suatu Tinjauan : Masalah dan Pemecahannya. Buana Sains 10:101-106.
- Widjaja, E., Rahayuningsih, Y., Rahajoe, J., Ubaidillah R, Maryanto, I., Walujo, E., dan Semiadi, G., 2014. *Kekinian Keanekaragaman Hayati Indonesia 2014*. LIPI Press.
- World Bank Group. 2020. *State and Trends of Carbon Pricing 2020*. Page State and Trends of Carbon Pricing 2021. Publishing and Knowledge Divison, The World Bank, Washington DC.

Yonas, A., dan Suwardikun, D.W., 2018. Media kampanye pelestarian hutan lindung gunung klabat. E-Proceedings of Art & Design 5:1956-1968.

Yuliantoro, D., dan Frianto, D., 2019. Analisis Vegetasi Tumbuhan di Sekitar Mata Air Pada Dataran Tinggi dan Rendah Sebagai Upaya Konservasi Mata Air di

Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Dinamika Lingkungan Indonesia* 6(1):1-7.

Zulkifli., Ismail., dan Kamarubayan, L., 2017. Studi Pengendalian Kebakaran Hutan Di Wilayah Kelurahan Merdeka Kecamatan Samboja Kalimantan Timur. *Agrifor* 16(1):141-141-150.